



AEAMESP



# IMPLEMENTAÇÕES PARA MELHORIA DO DESEMPENHO DO SISTEMA DE PORTAS DE PLATAFORMA DO METRÔ DE SÃO PAULO

Marcos Alessandro Diniz

Cesar Augusto Lopes Casquel

Claudio Fernando Rebollo Silva

Mauro Becker

Jose Marcelo da Silva



AEAMESP



**“20° SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA”  
“PÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS”**

**CATEGORIA 3**

**MONITORAMENTO DO SISTEMA DE PORTAS DE PLATAFORMA**



**IMPLEMENTAÇÕES PARA MELHORIA DO DESEMPENHO DO SISTEMA DE  
PORTAS DE PLATAFORMA DO METRÔ DE SÃO PAULO.**



AEAMESP



## RESUMO

O mérito deste trabalho se materializa em agregar ao Metrô de São Paulo recursos de qualidade, segurança e tecnologia na manutenção do Sistema de Portas de Plataformas.

Tendo em vista que o Sistema é completamente novo na Companhia e que já faz parte do processo de modernização e implantação de novas estações, criou-se um grupo de trabalho para monitorar o desempenho do equipamento, corrigir os desvios de projeto e montagem com o objetivo de aperfeiçoar diagnósticos de falhas antecipando ações de manutenção principalmente para garantir a interoperabilidade do sistema e fazer a gestão dos planos de manutenção baseado na metodologia RCM (Manutenção centrada em confiabilidade).

Com a implementação destas melhorias, foi possível baixar o número de falhas que no início das operações eram em torno de 100 falhas/mês para uma média de 30 falhas/mês.

Após a implantação das mesmas em definitivo, o grupo de trabalho realizará novos estudos, baseados nos históricos de falhas, com o objetivo de reavaliar a periodicidade das atividades de manutenção preventiva nos planos de manutenção.



AEAMESP



## Sumário

|  |    |
|--|----|
| RESUMO .....   | i  |
| INTRODUÇÃO .....                                       | 1  |
| SISTEMA DE PORTAS DE PLATAFORMA .....                  | 1  |
| FUNÇÃO .....   | 1  |
| VANTAGENS DO SISTEMA .....                             | 1  |
| COMPOSIÇÃO DO SISTEMA PSD - PORTAS DE PLATAFORMA. .... | 2  |
| PORTA DESLIZANTE MOTORIZADA (PDM) .....                | 4  |
| CARACTERIZAÇÃO DO DESVIO FUNCIONAL .....               | 6  |
| MODOS DE FALHA CRÍTICOS ESTUDADOS.....                 | 7  |
| CONJUNTO DA TRAVA ELÉTRICA .....                       | 7  |
| FUNÇÃO .....   | 7  |
| FALHA FUNCIONAL .....                                  | 8  |
| CAUSA .....  | 8  |
| EFEITO E CONSEQUÊNCIA.....                             | 8  |
| AÇÕES .....  | 8  |
| RESULTADOS OBTIDOS .....                               | 9  |
| AÇÕES FUTURAS .....                                    | 9  |
| TRINCO DA TRAVA ELÉTRICA.....                          | 9  |
| FUNÇÃO .....   | 9  |
| FALHA FUNCIONAL .....                                  | 9  |
| CAUSA .....  | 10 |
| EFEITOS E CONSEQUÊNCIAS .....                          | 10 |
| AÇÕES .....  | 13 |
| RESULTADOS OBTIDOS .....                               | 14 |
| AÇÕES FUTURAS .....                                    | 15 |
| TROLES .....   | 15 |
| FUNÇÃO .....   | 15 |
| FALHA FUNCIONAL .....                                  | 15 |
| CAUSA .....  | 16 |
| EFEITO E CONSEQUÊNCIA.....                             | 16 |
| AÇÕES .....  | 16 |
| RESULTADOS OBTIDOS .....                               | 17 |
| AÇÕES FUTURAS .....                                    | 18 |
| SENSOR DE PORTA FECHADA .....                          | 18 |



AEAMESP



|                                   |           |
|-----------------------------------|-----------|
| <b>FUNÇÃO .....</b>               | <b>18</b> |
| <b>FALHA FUNCIONAL .....</b>      | <b>18</b> |
| <b>CAUSA .....</b>                | <b>19</b> |
| <b>EFEITO E CONSEQUÊNCIA.....</b> | <b>19</b> |
| <b>AÇÕES .....</b>                | <b>19</b> |
| <b>RESULTADOS OBTIDOS .....</b>   | <b>19</b> |
| <b>AÇÕES FUTURAS .....</b>        | <b>20</b> |
| <b>CONCLUSÕES .....</b>           | <b>20</b> |
| <b>REFERÊNCIAS .....</b>          | <b>21</b> |



AEAMESP



## **INTRODUÇÃO**

A Modernização dos sistemas de Sinalização e Telecomunicações consiste na substituição de todos os sistemas responsáveis pela movimentação automática e segura dos trens e todos os sistemas de controle de fluxo de passageiro, segurança operacional e apoio às operações de tráfego.

A instalação de portas de plataforma tem sido a solução mais adotada pelos sistemas metroviários para incrementar a segurança na interface entre a plataforma e a via. Os principais problemas enfrentados são as quedas involuntárias de usuários e objetos na via, entrada de usuários no túnel, tentativas de suicídio e riscos causados pela superlotação das plataformas.

## **SISTEMA DE PORTAS DE PLATAFORMA**

### **FUNÇÃO**

O Sistema de Portas de Plataforma foi concebido para diminuir a interferência na circulação das composições, organizar o fluxo na plataforma e proporcionar um embarque e desembarque mais seguro, agilizando a operação e garantindo a prática de intervalos menores entre trens além de trazer maior tranquilidade e segurança para o usuário.

### **VANTAGENS DO SISTEMA**

As vantagens técnicas e operacionais das portas de plataforma são:

- Redução do número de vezes que a via é desenergizada.
- Organização do embarque nas plataformas.
- Impedimento de ocorrências com entradas indevidas no túnel.
- Limitação do efeito pistão criado pelo movimento dos trens, melhorando o conforto para o usuário na plataforma.



AEAMESP



- Redução do custo operacional com a otimização de postos de serviço.
- Redução dos níveis de ruído na plataforma.
- Redução do custo de limpeza da via.
- Redução do risco de incêndio e transtornos causados por objetos caídos na via.
- Otimização da movimentação de trens na região de plataforma.
- Redução da interferência do usuário no fechamento de portas do trem.
- Possibilidade de melhoria da comunicação com o usuário nas áreas de embarque (mapa de embarque, sinalização visual e sonora de fechamento de portas etc.).
- Aumento da segurança para pessoas com deficiência ou mobilidade reduzida.
- Possibilidade de aumento da receita não tarifária em função da exploração da fachada das portas com propaganda e marketing.

### **COMPOSIÇÃO DO SISTEMA PSD - PORTAS DE PLATAFORMA.**

O sistema automático de portas de plataforma é modular, composto basicamente de painéis fixos que se estendem por todo o comprimento da plataforma, com portas deslizantes automáticas de vidro especial de alta resistência, portas de emergência, portas de final de plataforma, suportados por uma estrutura metálica. Na figura a seguir temos a representação de um módulo PSD.

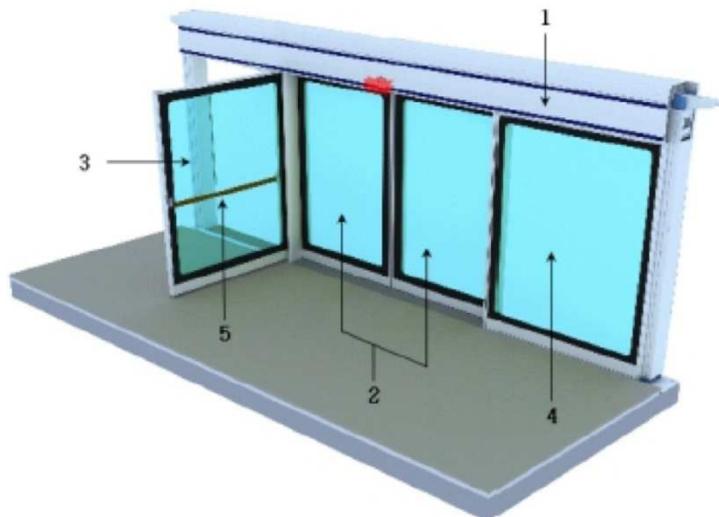


FIG.1 – Modulo PSD (Plataform Screen Door).

**Componentes:**

1. Header Box
2. PDM (Porta Deslizante Motorizada)
3. PEE (Porta de Emergência)
4. PFX (Painel Fixo)
5. Barra Anti-Pânico

Para o caso será utilizado como fonte de estudo alguns equipamentos que se encontram dentro do módulo PDM (Porta Deslizante Motorizada).

## PORTA DESLIZANTE MOTORIZADA (PDM)

A Porta Deslizante Motorizada (PDM) é composta por duas folhas deslizantes que abrem e fecham em sincronia com a abertura e fechamento das portas do Trem.

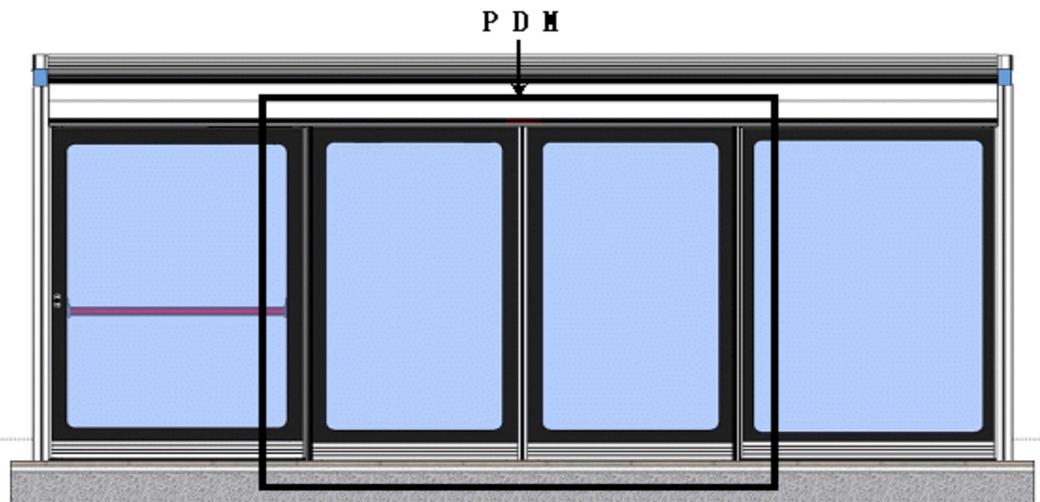


FIG.2 - PDM (Porta Deslizante Motorizada).

Acima da Porta deslizante Motorizada (PDM), encontra-se o painel Header Box localizado na parte superior de cada do Módulo PSD.



FIG.3 – Painel Header Box

Neste módulo estão acondicionados:

- Dispositivos de Abertura Local da porta PDM pelo lado da plataforma
- Sinalizadores áudio/visuais
- Mecanismos de segurança
- Módulo de controle
- Motor elétrico e mecanismo de transmissão e travamento

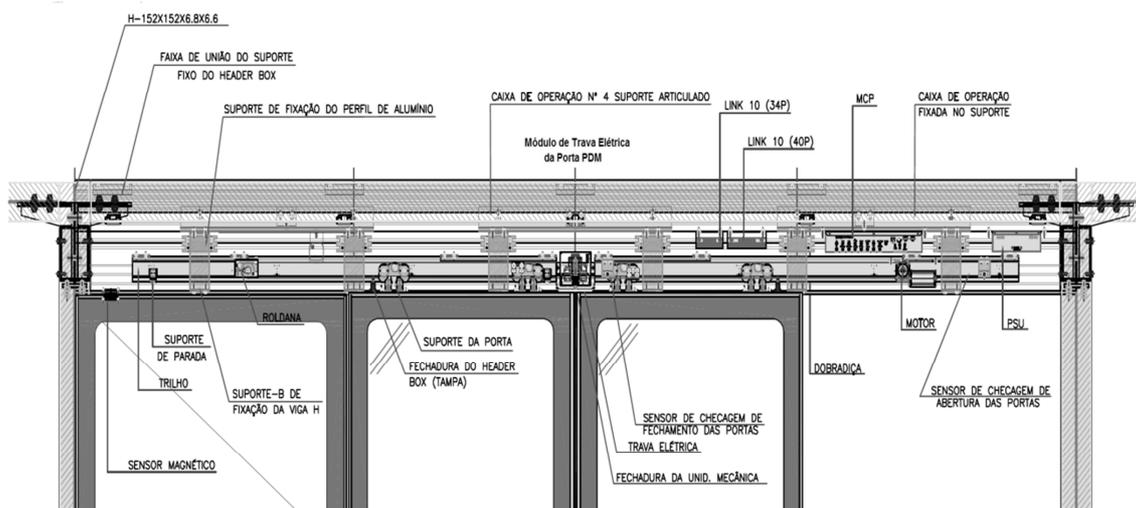


FIG.4 – Detalhes Panel Header Box

Na figura abaixo podemos encontrar os módulos que compõem um painel de porta deslizante motorizada (PDM).

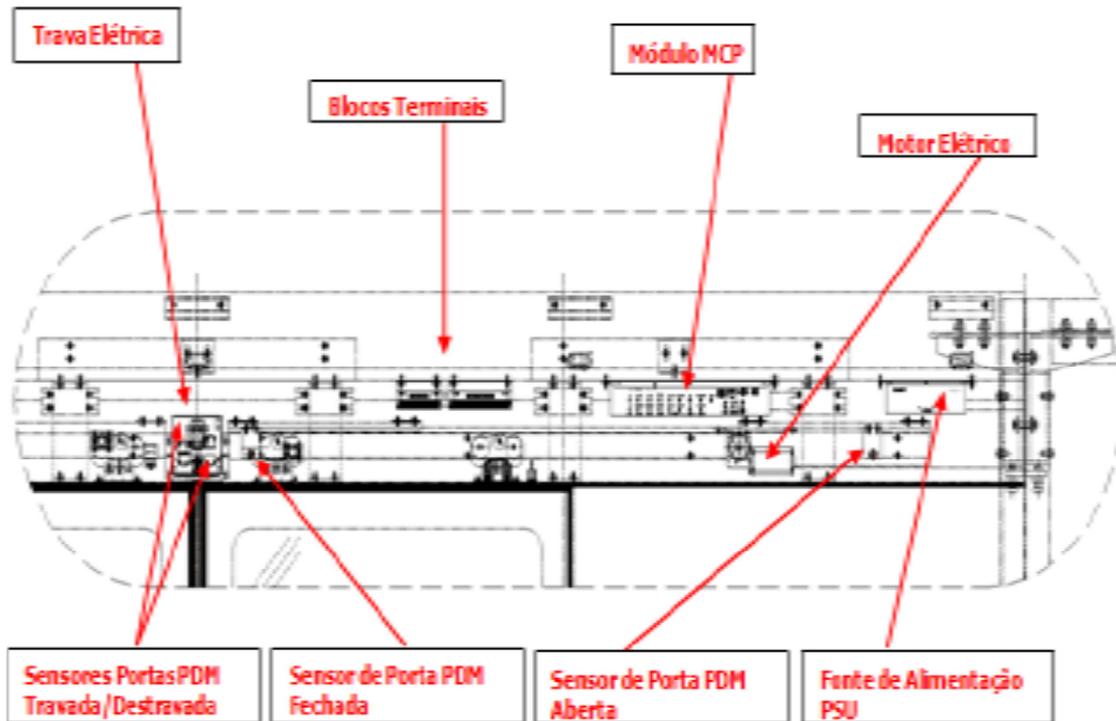


FIG.5 – Equipamentos Que Compõem O Painel Header Box

## CARACTERIZAÇÃO DO DESVIO FUNCIONAL

Devido a alguns desvios identificados em relação ao projeto e de montagem do sistema, no início da operação, o mesmo apresentou um elevado índice de falhas (média de 100 falhas/mês) prejudicando consideravelmente a operação comercial.

Tendo em vista que este sistema interage diretamente na operação, através de um laço de segurança vital, inserindo na via código de velocidade zero para garantir que o trem não saia da estação com as portas de plataforma abertas (a fim de garantir a segurança do usuário), este equipamento pode vir a se tornar em caso de falha, um “ruído” no sistema, interferindo diretamente na circulação de trens, ou seja, na regulação determinada pelo CCO – Centro de Controle Operacional.

## MODOS DE FALHA CRÍTICOS ESTUDADOS

Dentre os equipamentos instalados no sistema, alguns serão abordados como objetos de estudos de modos de falha tais como:

- Conjunto da Trava Elétrica.
- Trinco da Trava Elétrica.
- Trole.
- Sensor de Porta PDM fechada.

A partir do estudo de cada um dos casos apresentados, vamos abordar algumas ações que foram implementadas na busca de melhoria do desempenho do Sistema e consequentemente diminuição do número de falhas.

## CONJUNTO DA TRAVA ELÉTRICA

### FUNÇÃO

A Trava elétrica, quando desenergizada, garante o travamento da PDM na posição fechada da PDM. Em caso de emergência ou falta de energia, a mesma poderá ser destravada manualmente pela chave octogonal padrão metrô.

Este módulo contém dois sensores eletromagnéticos acionados por um eletroímã que está inserido no sistema através do laço vital fazendo interface com a circulação dos trens para garantir a segurança do usuário.

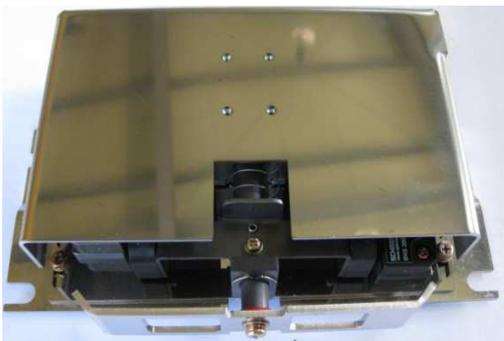


FIG.6 – Módulo Da Trava Elétrica

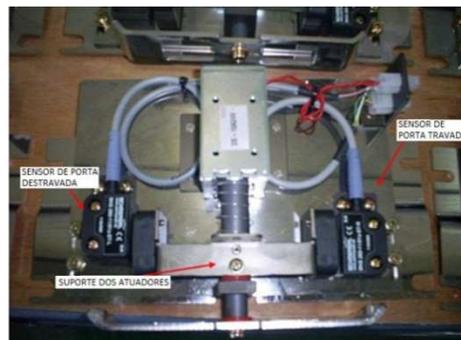


FIG.7–Detalhe interno dos sensores.



AEAMESP



## **FALHA FUNCIONAL**

A Trava elétrica, quando desenergizada, não garante o travamento da PDM na posição fechada.

## **CAUSA**

Perda de torque do sistema de fixação do sensor na presença de vibração devido ao número de ciclos de operação elevado causando o desalinhamento dos sensores eletromagnéticos em relação ao seu atuador.

## **EFEITO E CONSEQUÊNCIA**

A falha dos sensores vai interferir diretamente na circulação dos trens impossibilitando gerar código de velocidade na via para liberação do trem.

Com isso o trem ficará retido na plataforma impactando diretamente na operação comercial.

## **AÇÕES**

Iniciou-se através da equipe de campo, uma análise mais detalhada no comportamento do sistema.

Percebeu-se um desalinhamento nos sensores internos ao módulo do conjunto de trava elétrica devido perda de torque da fixação por causa das vibrações provocadas pela entrada dos trens na estação.

Através desta análise pode-se constatar também que o elemento passivo de acionamento do sensor estava com seu posicionamento máximo numa condição crítica (+/- 5 mm de distância entre o sensor e o atuador) gerando falhas, pois o laço vital mantinha-se aberto.

Para este modo de falha, propôs-se então, um aumento no comprimento da haste de fixação (brackets) do elemento passivo do sensor (cerca de 6 mm) diminuindo assim a



AEAMESP



distância entre eles e conseqüentemente garantindo a estabilidade do sistema. Com isso, a distância entre o sensor e o atuador diminuiu para 2 mm.

Foi desenvolvido um protótipo e instalado em uma porta, com alto índice de falha deste tipo, na estação Sacomã.

## **RESULTADOS OBTIDOS**

O protótipo foi monitorado por 60 dias onde, neste período, nenhuma falha foi observada comparando-se com a ocorrência de falhas no mesmo período de tempo antes da modificação. Este processo encontra-se atualmente em monitoramento contínuo para aquisição de dados e monitoramento de falha por este motivo

## **AÇÕES FUTURAS**

Após o término da instalação dos brackets em todos os módulos de trava, dar-se-á início a um trabalho de estudo de degradação com a metodologia LDA (Life Data Analysis) buscando assim determinar o melhor momento de ações preventivas e consolidá-las nos procedimentos de manutenção do sistema.

## **TRINCO DA TRAVA ELÉTRICA**

### **FUNÇÃO**

Fixado na parte da estrutura superior da PDM, tem a função de manter a porta travada juntamente com o conjunto do módulo da trava elétrica para garantir a segurança do usuário quando o trem não estiver parado na plataforma.

### **FALHA FUNCIONAL**

Não mantem a porta travada juntamente com o conjunto do módulo da trava elétrica para garantir a segurança do usuário quando o trem não estiver parado na plataforma.

Mantem o laço vital aberto.

Provoca o atrito com as escovas guarda pó do sistema deslizante das folhas de portas.

Cisalhamento na fixação do trinco junto à porta.

Desalinhamento entre trinco e o modulo da trava elétrica.

## CAUSA

Desalinhamento devido às características geométricas construtivas do trinco da trava elétrica.

No projeto original o trinco não é simétrico.

O trinco é fixado apenas por dois parafusos sofrendo um esforço excessivo.

## EFEITOS E CONSEQUÊNCIAS

Devido o desalinhamento entre o trinco e o módulo da trava elétrica ocorrerá o não travamento da PDM mantendo com isso o laço vital aberto.

Consequentemente não haverá a liberação do código de via e para o trem.

Com o trinco fora de dimensões, ele oferece oposição ao desliz dos pinos e as portas ficam mais “pesadas”, ocasionando assim um arrasto maior.

Se a porta estiver desalinhada, a trava elétrica não trava o trinco da porta.

Isto provoca um desgaste excessivo das cerdas guarda pó devido atrito do trinco.



FIG.11–Detalhe Atrito da escova com o trinco

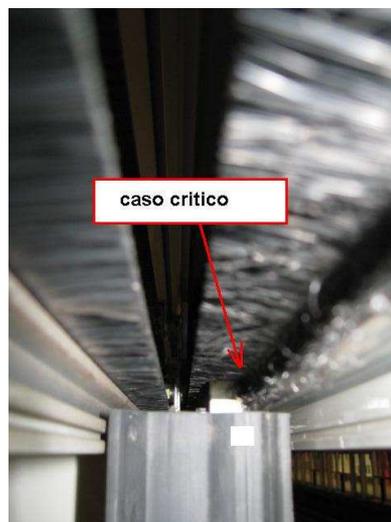


FIG.12 – Trinco desalinhado.

Além disso, o trinco está fixado na estrutura da folha de porta por apenas dois parafusos causando no sistema uma má distribuição do carregamento das folhas de portas.

Sendo assim quando há um desalinhamento das folhas de portas, os trincos ficam desalinhados em relação ao módulo de trava elétrica, causando assim um esforço maior no trinco e consequentemente o cisalhamento da estrutura da folha de porta deslizante conforme figura abaixo:

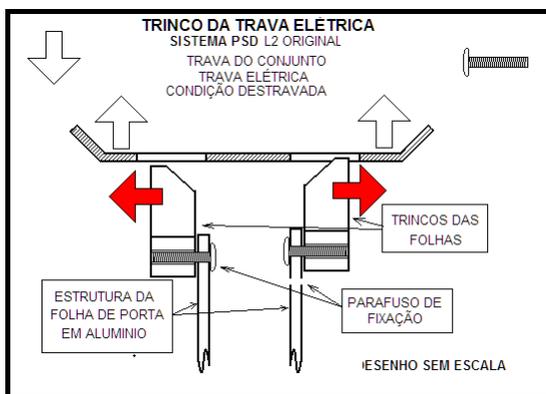


FIG.13A – Condição Destravada.

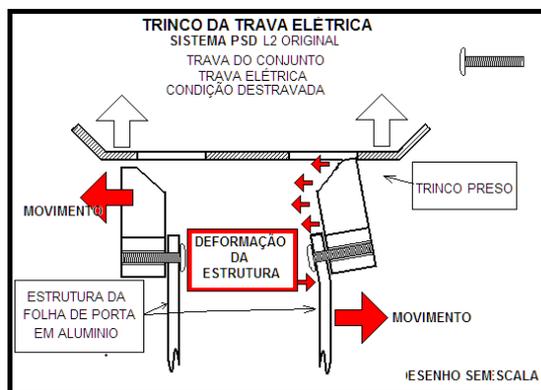


FIG.13B – Condição Destravada.

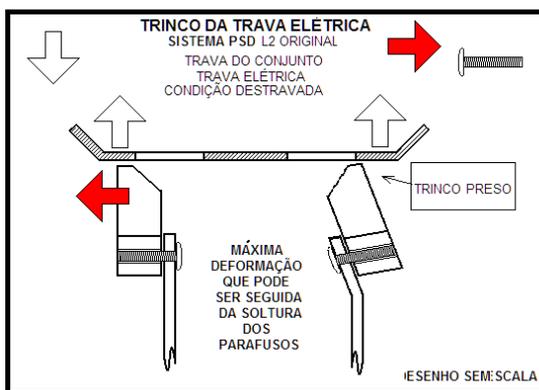


FIG.13C – Condição Destravada.

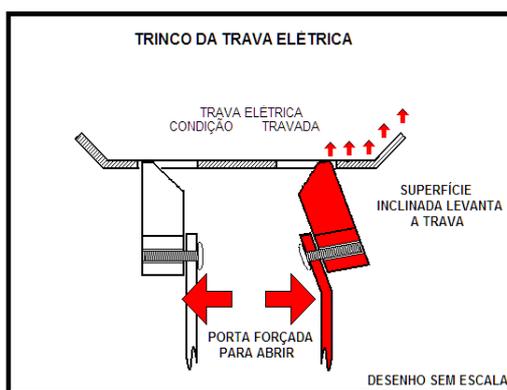


FIG.13D – Condição Travada.



AEAMESP

20ª Semana de  
Tecnologia  
Metroferroviária  
2014

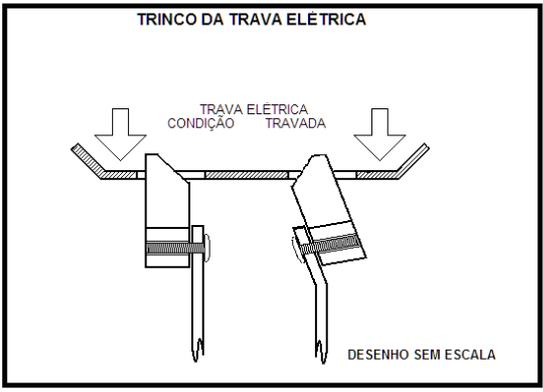


FIG.13E – Condição Travada.

## AÇÕES

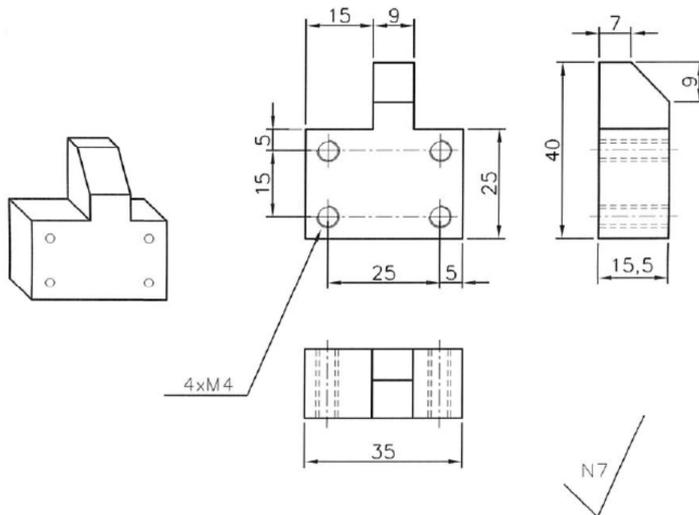
Analisando todas estas interferências, propuseram-se algumas modificações no trinco da trava elétrica tais como:

Diminuição da altura do trinco original sem comprometer a segurança de travamento do sistema.

Aumento da área de fixação do trinco melhorando assim a distribuição das cargas exercidas na estrutura da folha de porta.

Aumento dos pontos de fixação do trinco permitindo uma melhor distribuição das cargas exercidas no sistema.

Deste modo, internamente, desenvolveu-se um protótipo para testá-lo em campo. O mesmo foi instalado e monitorado por um prazo de 60 dias.



### NOTAS:

- 1- DIMENSÕES NÃO TOLERADAS CONF. NBR ISO 2768-mK
- 2- ELIMINAR CANTOS VIVOS
- 3- MATERIAL AÇO SAE 1020
- 4- ZINCAR COM ESPESSURA DE 7A12µm

FIG.16 – Protótipo desenvolvido internamente.

## RESULTADOS OBTIDOS

Com a diminuição na altura do trinco, elimina-se o atrito direto com as escovas guarda pó mitigando assim o desgaste das mesmas e do trinco.

Evita-se a deformação da estrutura de fixação do trinco da trava elétrica.

Elimina a possibilidade de afrouxamento do trinco devido à vibração causada por interferências externas.

Após análise dos testes constatou-se que nenhuma falha foi observada comparando-se com a ocorrência de falhas no mesmo período de tempo antes da modificação.

Este processo encontra-se atualmente em monitoramento contínuo para aquisição de dados e monitoramento de falha por este motivo.

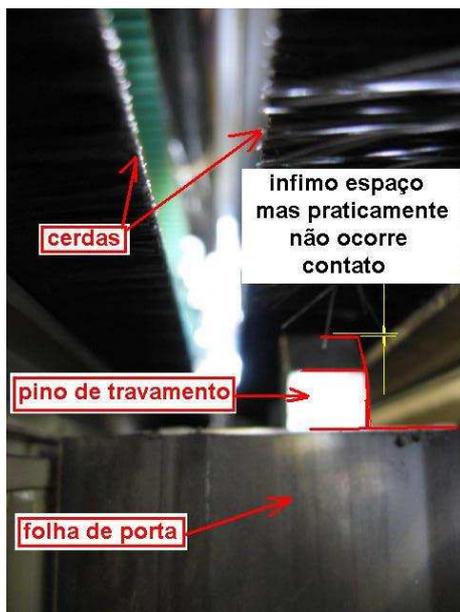


FIG.17 – Trinco retrabalhado.

O reprojeto do trinco da trava elétrica foi desenvolvido internamente e homologado junto ao fornecedor.

O fornecedor comprometeu-se em produzir as peças para realizar “recall” nos sistemas já instalados.

## AÇÕES FUTURAS

Após o término da instalação dos trincos em todos os módulos PDM's, dar-se-á início a um trabalho de estudo de degradação com a metodologia LDA (Life Data Analysis) buscando assim determinar o melhor momento de ações preventivas e consolidá-las nos procedimentos de manutenção do sistema.

## TROLES

Durante o desenvolvimento dos estudos de análise de falhas, foram encontrados também alguns problemas relacionados com os troles das portas deslizantes.

## FUNÇÃO

Transmitir força motriz para a movimentação da porta deslizante.

Tornar a operação da PDM segura através da transmissão da força motriz do motor à porta.

Ajuste de nível e altura da PDM de 15 mm a 20 mm, dependendo da condição local.

Prevenir descarrilamento da PDM por qualquer impacto ou mau funcionamento das folhas deslizantes, através da instalação de um rolo anti-descarrilamento.

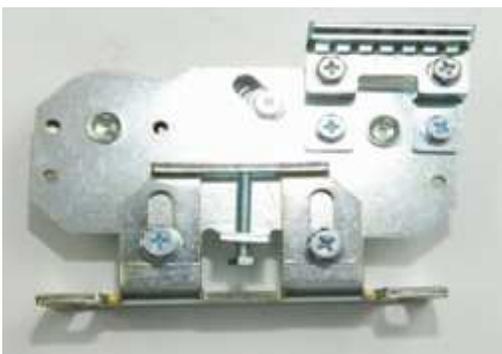


FIG.18A – Traseira do Trole

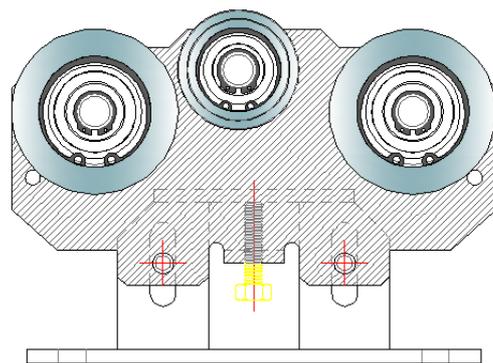


FIG.18B – Frente do Trole.

## FALHA FUNCIONAL

Não transmitir força motriz para a movimentação da porta deslizante.



AEAMESP



Tornar a operação da PDM insegura através da transmissão da força motriz do motor à porta.

Desajuste de nível e altura da PDM de 15 mm a 20 mm, dependendo da condição local.

Descarrilamento da PDM por qualquer impacto ou mau funcionamento das folhas deslizantes, através da instalação de um rolo anti-descarrilamento.

## **CAUSA**

Esforço excessivo na movimentação da porta e eventual descarrilamento devido ao desalinhamento do suporte por perda de torque na fixação por conta do número excessivo de ciclos de operações.

## **EFEITO E CONSEQUÊNCIA**

Desalinhamento das portas sobrecarregando os troles provocando o desgaste excessivo dos rolamentos e o excesso de peso das folhas de portas e danos às roscas do suporte de fixação das PDM's.

Não movimentação das folhas de porta provocando a não liberação do trem.

## **AÇÕES**

Através de um grupo de estudos interno à Companhia, desenvolveu-se um reforço para os pontos de fixação do trole às folhas de portas.

A seguir, o projeto do protótipo que se encontra em produção no momento tendo sido instalado em alguns pontos para teste.

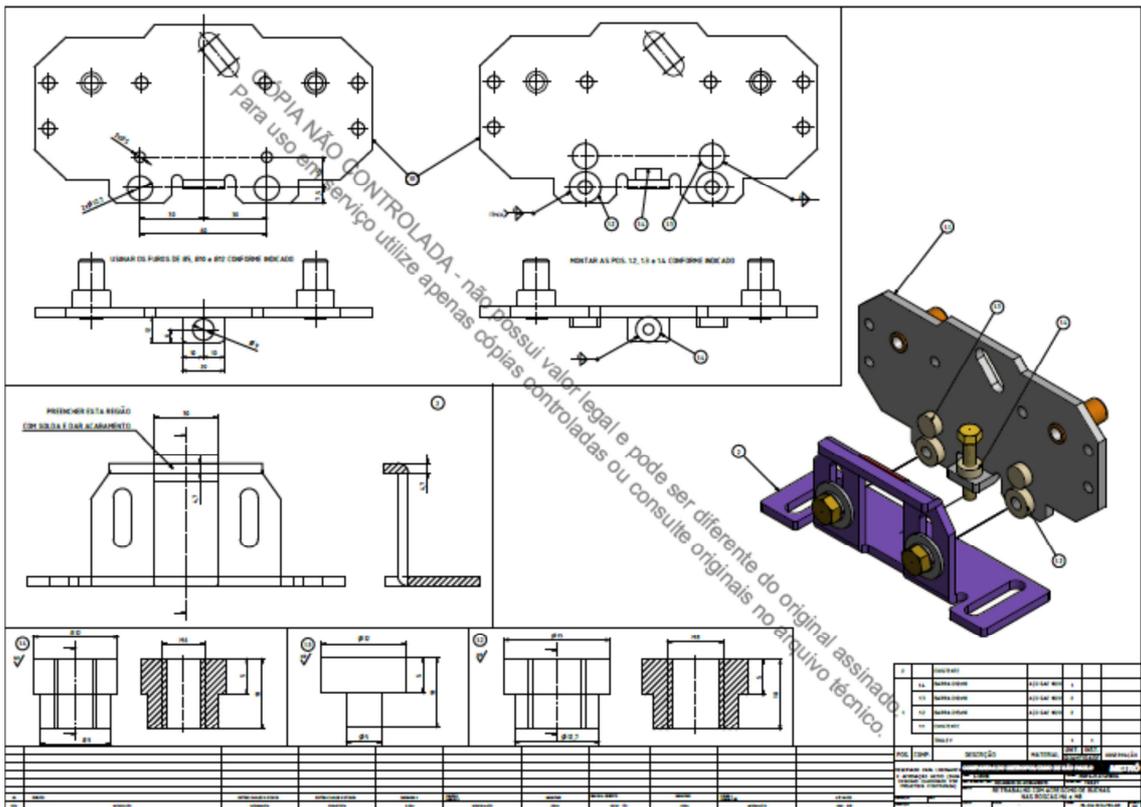


FIG.19 – Projeto do trole retrabalhado.

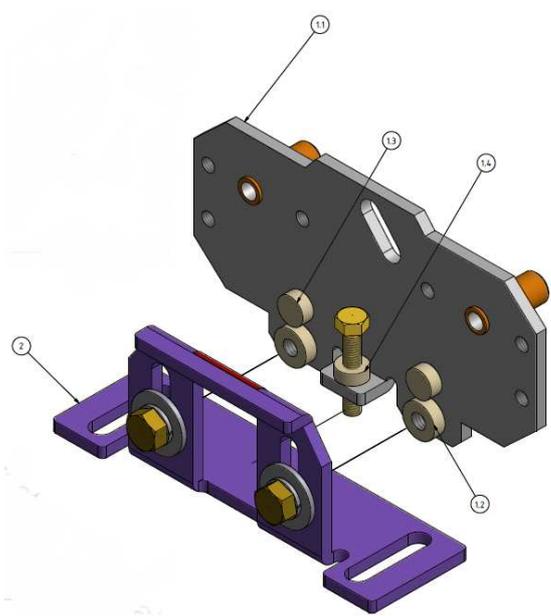


FIG.19 – Detalhe das buchas de reforço das roscas de fixação.

**RESULTADOS OBTIDOS**

Nos pontos onde o protótipo foi instalado, não observou-se ocorrência de falhas até o presente momento.

## AÇÕES FUTURAS

Após o término da instalação dos troles em todos os módulos PDM's, dar-se-á início a um trabalho de estudo de degradação com a metodologia LDA (Life Data Analysis) buscando assim determinar o melhor momento de ações preventivas e consolidá-las nos procedimentos de manutenção do sistema.

## SENSOR DE PORTA FECHADA

Outro equipamento que é responsável pelo índice de falhas é o sensor de porta fechada. Ele faz parte do laço de segurança vital do sistema PSD.

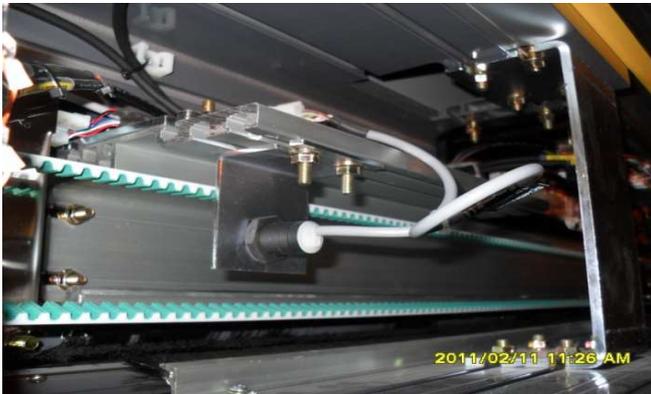


FIG.20 – Sensor de porta fechada.

## FUNÇÃO

Detectar os estados da PDM fechada e totalmente aberta através de dois sensores magnéticos distintos instalados dentro do Header Box, sendo um sensor para cada estado da porta.

NOTA: A movimentação é monitorada apenas pela porta direita da PDM, pois o sistema sendo sincronizado não há a necessidade de monitorar ambas as portas.

## FALHA FUNCIONAL

Não detectar os estados das PDM's fechada.

Dependendo da posição que ele for ajustado, pode não detectar os estados da PDM fechada. Com isso mantém o laço vital aberto impedindo a liberação do trem na plataforma.

## CAUSA

Perda de torque do sistema de fixação do sensor na presença de vibração devido ao número de ciclos de operação elevado causando o desalinhamento dos sensores eletromagnéticos em relação ao seu atuador.

## EFEITO E CONSEQUÊNCIA

### AÇÕES

Foi desenvolvido para este sensor um novo suporte de fixação que muda a maneira de acionamento do sensor, atendendo assim as orientações do datasheet do fabricante para uma maior eficiência de resposta do mesmo.



FIG.20B–Suporte de fixação modificado.

FIG.20C – Sensor de porta fechada.

## RESULTADOS OBTIDOS

Com esta modificação, é possível efetuar a unificação do suporte de fixação dos sensores de porta fechada e porta aberta, eliminando um dos elementos passivos de acionamento do sensor.

Esta modificação já foi testada em campo inclusive com o acompanhamento e a aprovação do fabricante do sistema.



AEAMESP



O protótipo encontra-se instalado na estação Sacomã a, aproximadamente, 90 dias e o mesmo não apresentou mais problemas relacionados a este tipo de falha.

## **AÇÕES FUTURAS**

Homologar o suporte junto ao fornecedor e providenciar a substituição dos mesmos.

Após o término da instalação dos suportes em todos os módulos PDM's, dar-se-á início a um trabalho de estudo com a metodologia LDA (Life Data Analysis) buscando assim determinar o melhor momento de ações preventivas e consolidá-las nos procedimentos de manutenção do sistema.

## **CONCLUSÕES**

Tendo em vista que o Sistema de Portas de Plataforma é um sistema completamente novo na Companhia e que já faz parte de todo o processo de modernização e implantação de novas estações, estes estudos tem o objetivo de corrigir possíveis desvios de projeto e montagem do sistema em campo, melhorando o desempenho dos equipamentos e conseqüentemente, melhorar a gestão dos planos de manutenção baseado na metodologia RCM (Manutenção Centrada em Confiabilidade).

Com a implementação destas melhorias parcialmente, foi possível baixar o número de falhas que no início das operações eram em torno de 100 falhas mês para uma média de 30 falhas/mês. Nossa expectativa é que o nível de falhas diminua ainda mais quando as melhorias estiverem implementadas em todo o sistema.

Após a implantação das mesmas em definitivo, o grupo de trabalho realizará novos estudos, baseados nos históricos de falhas, com o objetivo de reavaliar a periodicidade das atividades de preventiva nos planos de manutenção.



AEAMESP



## REFERÊNCIAS

Moubray, John. Reliability-Centered Maintenance. Industrial Press. New York, NY.

1997. ISBN 978-0-8311-3146-3

Relatório Operacional Metrô de São Paulo 2013.