

CATEGORIA 3

INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL EM MANUTENÇÃO DETECTIVA DOS METROCARROS

INTRODUÇÃO

O crescimento da urbanização, que tem acompanhado o desenvolvimento econômico na maioria dos países, sujeita a infraestrutura urbana à uma situação de permanente carência em relação a serviços de transporte público, o acréscimo da taxa de motorização agrava ainda mais esse problema no setor de transporte. E São Paulo não ficou a margem desse fenômeno, com isso chegava-se à conclusão de que os problemas de trânsito só poderiam ser mitigados com a implantação da modernização e ampliação do sistema do Metrô assim como aumentar a responsabilidade da manutenção de elevar os índices de MKBO (Mean Kilometer Between Occurrence - Média de Quilômetros entre Ocorrências), -e MKBF (Mean Kilometer Between Fail - Média Quilômetro entre Falhas) e erradicar o reboque de composições na operação comercial. Em consequência, houve por bem o Governo do Estado de São Paulo adquirir novos trens, modernizar as frotas antigas e ampliar o sistema metro ferroviário.

Com o compromisso na melhora da disponibilidade de trens e na redução da interferência na operação comercial por falha (MKBO) foi inevitável pensar em novas formas de fazer manutenção nos metro-carros do Metrô de SP, atualmente nos trens são realizados dois tipos de manutenção; corretiva e a preventiva.

A manutenção corretiva é efetuada após a ocorrência de uma pane, destinada a recolocar um item em condições de executar uma função requerida e a preventiva é a manutenção efetuada em intervalos pré-determinados, ou de acordo com critérios prescritos, destinada a reduzir a probabilidade de falha ou a degradação do funcionamento de um item.

A modernização do sistema disponibilizou novos recursos para detecção e análise de falhas, entre esses recursos estão os registros de eventos, LOG, gerado e armazenado pelo sistema de controle e monitoramento do trem (TCMS – Train Control and Management System). E o avanço tecnológico na área de tecnologia da informação disponibilizou novos recursos de processamento, análise, organização, visualização de dados. Novas ferramentas como Power Query, uma tecnologia de conexão, transformação e combinação de dados para dar suporte a análise, Power Pivot, uma tecnologia que permite criar modelos de dados, estabelecer relações e criar cálculos, e por último, o Power BI, um serviço de análise de dados que fornece insights para permitir decisões análise rápidas e precisas.

Junto com a modernização, avanço tecnológico, novas ferramentas e à medida que nosso mundo se torna cada vez mais digitalizado, se torna maior a nossa capacidade de conectar o mundo digital com o mundo físico para ajudar a torná-los mais seguros, protegidos e produtivos. Imagine se você pudesse constatar automaticamente desvios no funcionamento de um equipamento da mesma maneira que você constata ao inspecioná-lo. Usando os registros de eventos existentes e avanços em IA, agora podemos diagnosticar desvios em equipamentos, antes dele apresentar falha e tomar medidas para melhorar o desempenho e disponibilidade do sistema. Quando um relé interno a um módulo começa a degradar, o sistema já começa a registrar eventos de inconsistência de estado registrando informações sobre o módulo, que serão analisadas periodicamente por técnicos. Permitindo que eles

atuem no equipamento antes dele apresentar falha e o sistema esteja disponível o maior tempo possível.

Segundo a Microsoft, a Inteligência Artificial é um software inteligente que colabora com as pessoas para melhorar a eficiência de um trabalho, é uma tecnologia que pode aprender com a vasta quantidade de dados que estão disponíveis no mundo moderno e que pode entender o nosso tipo de linguagem e responder apropriadamente, ou seja, uma tecnologia que pode ver e interpretar o mundo da maneira que fazemos.

Essa tecnologia também pode ajudar a gestão na manutenção. Gestores podem ter indicadores de equipamentos que estão em fase de degradação com iminência de dar falha. Quando algum equipamento excede o nível do normal, um alerta é disparado para área de manutenção onde é realizado a estratégia para o reparo, disponibilizando mão de obra e material minimizando o transtorno operacional.

Esse trabalho apresenta uma inovação na forma de se realizar manutenção de trens, utilizando novos recursos, novas tecnologia e apoio computacional, não só a preventiva e corretiva, mas sim em uma manutenção detectiva e preditiva, não ser dependente apenas do técnico para realizar a análise e diagnóstico e utilizar a tecnologia da informação junto com inteligência artificial para realizar tal tarefa.

1. Manutenção do Metrô-SP

a. Organização da manutenção

A manutenção dos trens do Metrô-SP é baseada no conceito de manutenção preventiva e manutenção corretiva.

- A manutenção preventiva é realizada com base na norma técnica da ABNT NBR 5462-1994 que tem a seguinte definição:

“Manutenção efetuada em intervalos pré-determinados, ou de acordo com critérios prescritos, destinada a reduzir a probabilidade de falha ou a degradação do funcionamento de um item”

O setor de engenharia realiza os estudos para determinar o tempo de vida útil de cada equipamento. São realizadas trocas programadas de equipamentos quando sua vida útil atinge os 90%. São utilizados dois tipos de parâmetros para determinar sua vida útil: Quilômetros rodados e tempo de uso. Em equipamentos que apresentam vida útil mais heterogêneos são realizadas inspeções periódicas.

- A manutenção corretiva também é baseada na norma técnica da ABNT NBR 5462-1994 que tem a seguinte definição:

“Manutenção efetuada após a ocorrência de uma pane, destinada a recolocar um item em condições de executar uma função requerida”

Este é o tipo de manutenção em que não há tempo para a preparação de componentes e ferramentas nem de planejamento. Todo desvio encontrado é classificado por sistema e nível de severidade, que dependendo do seu nível impacta na disponibilidade de trens para os passageiros.

Com a chegada das novas tecnologias embarcadas, está sendo implantado o conceito de manutenção detectiva que visa identificar os desvios não perceptíveis a manutenção e operação. Assim, sendo possível identificar o desvio antes que este evolua e cause uma ocorrência.

b. Ocorrência

Ocorrência é todo desvio ou falha que causa uma interferência na operação comercial. São classificados nos níveis A, B e C, obedecendo aos seguintes critérios: Segurança do sistema, conforto e requisitos dos usuários e restrições de movimentação e disponibilidade.

Nível “A” - O trem não tem condições de movimentação com segurança sem a atuação da manutenção.

Nível “B” - O trem possui algum tipo de restrição que gera transtorno na circulação de trens na Operação comercial.

Nível “C” - O trem tem condições de movimentação com segurança, com todos os carros prestando serviço, sem restrição à sua velocidade e funções de ATO.

c. Índices de Confiabilidade

Para mensurar a confiabilidade do sistema, são utilizados quatro índices:

- **MKBF** (Mean Kilometer Between Failure - Média de Quilometragem entre falhas) - O cálculo é realizado da seguinte forma:

$$MKBF = \frac{(\sum km \text{ rodados}) \times 6}{\sum N^{\circ} \text{ de falhas}}$$

- **MKBFvB** (É uma derivação do MKBF, trata-se de uma média de quilômetros entre falhas nível B na via) - O cálculo é realizado da seguinte forma:

$$MKBFvB = \frac{(\sum km \text{ rodados}) \times 6}{\sum N^{\circ} \text{ de falhas nível B}}$$

- **MKBO** (Mean Kilometer Between Occurrence - Média de Quilometragem entre Ocorrências) - O cálculo é realizado da seguinte forma:

$$MKBO = \frac{(\sum km \text{ rodados}) \times 6}{\sum N^{\circ} \text{ de ocorrências}}$$

- **MKB05** (Mean Kilometer Between Occurrence greater than 5 minutes - Média de Quilometragem entre Ocorrências maior que 5 minutos) - O cálculo é realizado da seguinte forma:

$$MKB05 = \frac{(\sum km \text{ rodados}) \times 6}{\sum N^{\circ} \text{ de ocorrências que causaram interferências com duração de 5 minutos ou mais}}$$

d. Sistemas do Trem

Para facilitar a manutenção e tornar a comunicação entre operação e manutenção mais eficiente o trem é dividido em vários sistemas:

- Propulsão/Tração
- Freio
- Comunicação
- Portas
- Ventilação/Ar condicionado
- Controle automático do trem (ATC)
- Controle automático do trem via wireless (CBTC)
- Engate
- Truque
- Suprimento de ar comprimido
- Suprimento elétrico
- Sinalização e iluminação
- Caixa

e. Implantação da Manutenção detectiva

Os eventos gerados nos logs são oriundos de todos os sistemas do trem. Para verificar a eficácia da aplicação do conceito de manutenção detectiva aliada à inteligência artificial, foi eleito o sistema de portas pneumáticas como ponto de partida, pois são responsáveis por mais de 27% do total de falhas de 29 trens da linha 1, consequentemente a curto prazo será possível notar o efeito de sua aplicação.

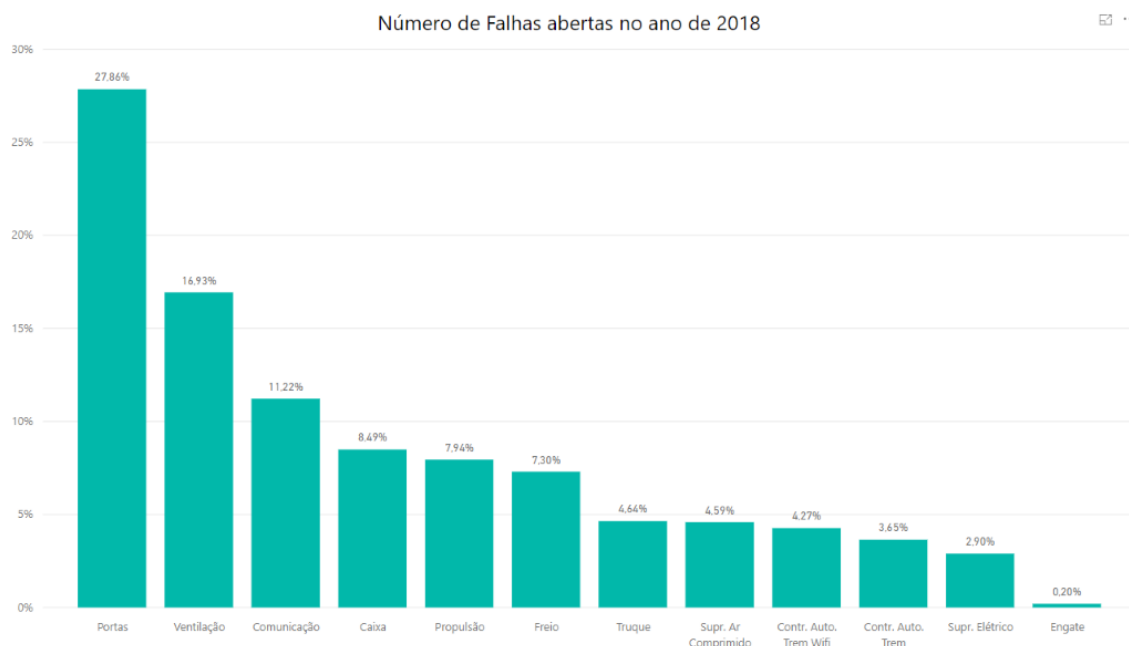


Figura 1: Número de falhas abertas em 2018

f. Sistema de portas

As composições do Metrô-SP possuem 6 carros e cada carro possui 8 portas. Os Carros líderes são chamados de carros “A” e os carros intermediários são chamados de carros “B”. Cada porta possui seu próprio Controlador local de portas (CLP) e todos os CLPs são comandados por um Controlador geral de portas (CGP) localizado um em cada carro líder:

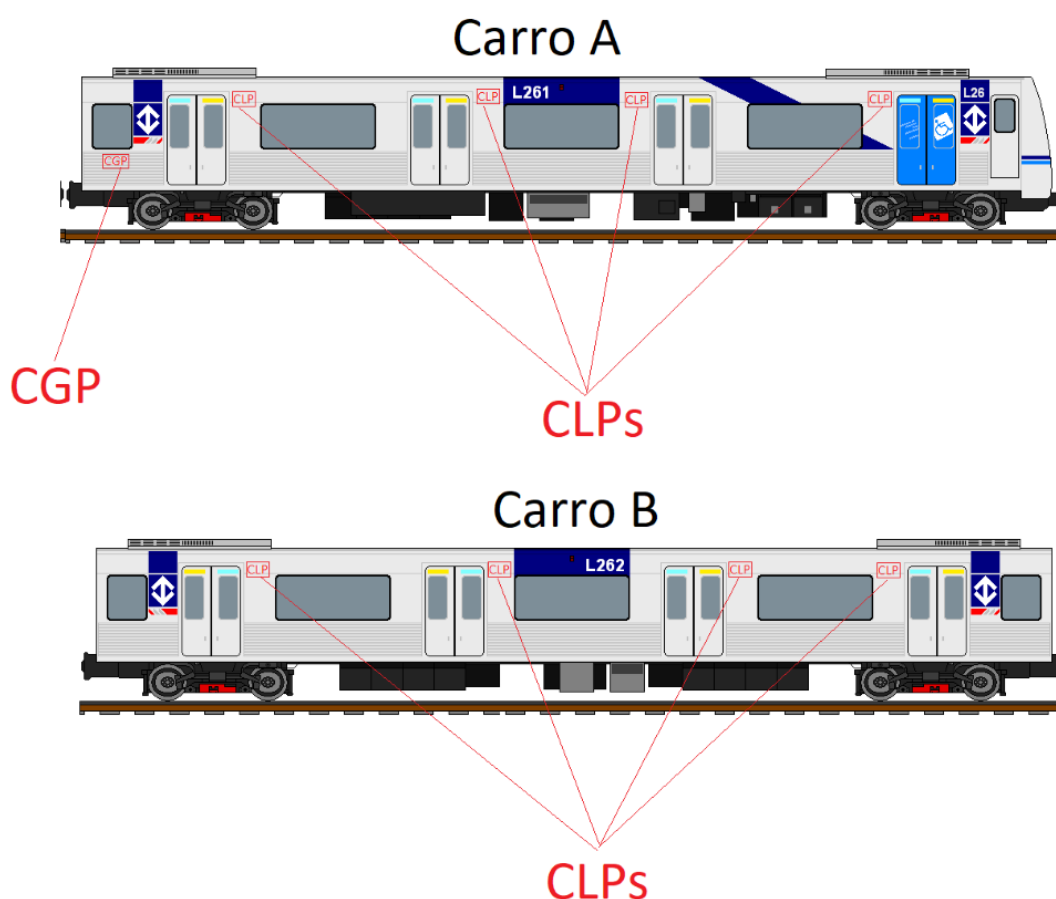


Figura 2: Localização dos componentes do sistema de portas

g. Registros do TCMS (LOG)

Os dados de entrada do sistema são fornecidos pelos trens através dos LOG's do TCMS, são coletados, atualmente, manualmente conectando um notebook na rede ETHERNET do trem, os arquivos coletados são no formato CSV e exportados para o POWER BI. Os LOG's são registros de eventos e falhas gravados pelo TCMS, através de uma relação lógica das variáveis de entrada.

Exemplo de condição de falha no comando de abertura de portas:

Dependendo da velocidade, em caso de conflito entre o comando de abertura de porta e o train line de velocidade, a seguinte falha deve ser enviada à IHM (Interface Homem Máquina) para ser mostrada na lista de falhas do operador:

F_DrsNotReleaA=VB_CGP_IDORA AND (VB_BRK_Over6VR_1 OR VB_BRK_Over6VR_2)

F_DrsNotReleaB=VB_CGP_IDORB AND (VB_BRK_Over6VR_1 OR VB_BRK_Over6VR_2)

Tabela 1: Falha no comando de abertura de portas - Variáveis de entrada

Variável	Estado
VB_CGP_IDORA	= 1 se a abertura do lado A do trem for pedido
VB_CGP_IDORB	= 1 se a abertura do lado B do trem for pedido
VB_BRK_Over6VR_<car>	1 = velocidade > 6 km/h

h. Inteligência Artificial

"A IA é um dos campos mais recentes em ciências e engenharia. O trabalho começou logo após a Segunda Guerra Mundial, e o próprio nome foi cunhado em 1956. Juntamente com a biologia molecular, a IA é citada regularmente como “o campo em que eu mais gostaria de estar” por cientistas de outras disciplinas. Um aluno de física pode argumentar, com boa dose de razão, que todas as boas ideias já foram desenvolvidas por Galileu, Newton, Einstein e o resto. IA, por outro lado, ainda tem espaço para vários Einsteins e Edisons em tempo integral."

Fonte: -Inteligência Artificial, 1. Introdução/ Russell, Stuart; Norvig, Peter, <https://evolution.com.br/epubreader/inteligencia-artificial-3ed>

Algumas definições de IA:

Pensando como um humano

- “O novo e interessante esforço para fazer os computadores pensarem (...) máquinas com mentes, no sentido total e literal.” (Haugeland, 1985)
- “[Automatização de] atividades que associamos ao pensamento humano, atividades como a tomada de decisões, a resolução de problemas, o aprendizado...” (Bellman, 1978)"

Agindo com seres humanos

- “A arte de criar máquinas que executam funções que exigem inteligência quando executadas por pessoas.” (Kurzweil, 1990)

- “O estudo de como os computadores podem fazer tarefas que hoje são melhor desempenhadas pelas pessoas.” (Rich and Knight, 1991)"

Pensando racionalmente

- “O estudo das faculdades mentais pelo uso de modelos computacionais.”
(Charniak e McDermott, 1985)
- “O estudo das computações que tornam possível perceber, raciocinar e agir.”
(Winston, 1992)

Agindo racionalmente

- “Inteligência Computacional é o estudo do projeto de agentes inteligentes.” (Poole et al., 1998)
- “AI... está relacionada a um desempenho inteligente de artefatos.” (Nilsson, 1998)

Um sistema é racional se “faz a coisa certa”, dado o que ele sabe.

Em nossa aplicação utilizamos IA como “Pensando como um humano” onde inserimos como entrada do sistema os dados junto com nossas experiências, permitindo ao sistema tomar decisões autônomas.

2. Diagnóstico

a. Coleta e Análise de dados no Power BI

A coleta de logs é feita manualmente com o auxílio de um Notebook. O arquivo gerado é colocado em uma pasta específica que contém todos os logs e o software busca os dados para análise. No caso da frota em questão, todos os arquivos obtidos são do formato de tabela armazenado na extensão de arquivo .CSV

falha de c	falha de comunicação com porta	0 dfm	2 orgmpu_r	1	28/12/2018 10:31	28/12/2018 10:31
falha de c	falha de comunicação com porta	0 dfm	2 orgmpu_r	1	28/12/2018 10:31	28/12/2018 10:31
Disjuntor	Disjuntor CCP aberto	0 dfm	2 orgmpu_r	1	28/12/2018 10:31	28/12/2018 10:31
falha de c	falha de comunicação com porta	0 dfm	2 orgmpu_r	1	28/12/2018 10:31	28/12/2018 10:31
falha de c	falha de comunicação com porta	0 dfm	2 orgmpu_r	1	28/12/2018 10:31	28/12/2018 10:31
Porta isol	Porta isolada pneumaticamente	0 dfm	2 orgmpu_r	1	28/12/2018 10:31	28/12/2018 10:31
falha de c	falha de comunicação com porta	0 dfm	2 orgmpu_r	1	28/12/2018 10:31	28/12/2018 10:31
falha de c	falha de comunicação com porta	0 dfm	2 orgmpu_r	1	28/12/2018 10:31	28/12/2018 10:31
falha de c	falha de comunicação com porta	0 dfm	2 orgmpu_r	1	28/12/2018 10:31	28/12/2018 10:31
falha de c	falha de comunicação com porta	0 dfm	2 orgmpu_r	1	28/12/2018 10:31	28/12/2018 10:31
Botão-soc	Botão-soco acionado	0 dfm	2 orgmpu_r	1	28/12/2018 10:31	28/12/2018 10:31
falha de c	falha de comunicação com porta	0 dfm	2 orgmpu_r	1	28/12/2018 10:31	28/12/2018 10:31
falha de c	falha de comunicação com porta	0 dfm	2 orgmpu_r	1	28/12/2018 10:31	28/12/2018 10:31
Botão-soc	Botão-soco acionado	0 dfm	2 orgmpu_r	1	28/12/2018 10:31	28/12/2018 10:31
Botão-soc	Botão-soco acionado	0 dfm	2 orgmpu_r	1	28/12/2018 10:31	28/12/2018 10:31
Botão-soc	Botão-soco acionado	0 dfm	2 orgmpu_r	1	28/12/2018 10:31	28/12/2018 10:31
Botão-soc	Botão-soco acionado	0 dfm	2 orgmpu_r	1	28/12/2018 10:31	28/12/2018 10:31
Botão-soc	Botão-soco acionado	0 dfm	2 orgmpu_r	1	28/12/2018 10:31	28/12/2018 10:31
Porta isol	Porta isolada pneumaticamente	0 dfm	2 orgmpu_r	1	28/12/2018 10:32	28/12/2018 10:32
Botão-soc	Botão-soco acionado	0 dfm	2 orgmpu_r	1	28/12/2018 10:32	28/12/2018 10:32
Botão-soc	Botão-soco acionado	0 dfm	2 orgmpu_r	1	28/12/2018 10:32	28/12/2018 10:32
Porta isol	Porta isolada pneumaticamente	0 dfm	2 orgmpu_r	1	28/12/2018 10:32	28/12/2018 10:32
Porta isol	Porta isolada pneumaticamente	0 dfm	2 orgmpu_r	1	28/12/2018 10:33	28/12/2018 10:33
Botão-soc	Botão-soco acionado	0 dfm	2 orgmpu_r	1	28/12/2018 10:33	28/12/2018 10:33

Figura

4: Exemplo de log no formato .CSV

A cada coleta de dados é salvo mais de 7000 eventos, o que torna a análise muito mais complexa. Para isso, foi utilizado o software Power BI, onde podemos organizar, relacionar e tratar cada dado.

O Power BI é configurado e programado para analisar todos os logs e exibir um relatório de atuações necessárias para normalizar o trem sob o conceito de Inteligência Artificial (IA).

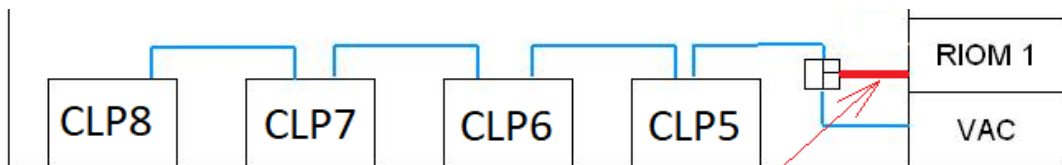
111 Trem	18/03/19 Data da coleta	6215 Nº de Ocorrência	13/05/2019 07:03:36 Ultima Atualização
Ocorrencia	Carro	Posição	Relatorio
falha de comunicação com porta	5	7	Substituir CLP

Figura 5: Exemplo de layout do relatório gerado pelo Power BI

b. Implementação de Inteligência Artificial no Power BI

O Power BI foi alimentado com informações de experiência de manutenção para criar um relatório de atuação mais preciso. Pois, existem informações no log que podem ser desprezadas ou informações que levam a mais de um equipamento dentro de um mesmo sistema.

Assim, o relatório emitido já considera aspectos do esquema elétrico, como conexão com outros sistemas, por exemplo: Se aparecer no log que existe 4 controladores locais de porta e o controlador do sistema de ar condicionado com mesmo número de desvios ao mesmo tempo, o relatório indica que há um desvio na linha de comunicação. Um relatório simples sem a adição de experiência, apontaria para a troca dos 5 equipamentos erroneamente.



Falha nesse cabo de comunicação

Figura 6: Exemplo de possível causa de falha

Com o Power BI, pode-se gerar relatórios específicos para uma frota, um trem, apenas um sistema ou para um sintoma. Ao gerar um relatório para 2 frotas da linha 1-azul que utilizam o sistema de portas pneumático, foi notada a quantidade de 236 controladores de portas apresentando 4 tipos de desvios distintos com alto potencial para se tornarem uma ocorrência.

Para normalizar os desvios encontrados foi elaborado um plano de ação em conjunto com outras áreas da manutenção. Foram definidas melhorias no processo de manutenção e de reparo da controladora:

- Novo método de teste dos relés
- Uso de componentes com desempenho superior
- Redimensionamento de resistores
- Aumento de giro para reposição

3. ANÁLISE DOS RESULTADOS

A aplicação desse plano de ação começou em março de 2019. Em 2 meses após sua aplicação pode-se notar uma redução nas falhas de CLPs :

Atualizado em 03-06-2019 as 11:21hs

Frota I na L1 - Intervenções em 2019
Contabiliza Intervenções por Finalidade 1PT - Somente Ocorrências

FN	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Tot	Desc
1PTI302	9	8	11	1	4	0	0	0	0	0	0	0	33	CONTROLADOR LOCAL DE PORTA DO CARRO-CLP

Figura 7: Intervenções no sistema de portas da frota I

Essa redução de falhas na CLP contribuiu para a melhora no índice de MKBF dessa frota:

Tabela 3: Quantidade de falhas por mês

Atualizado Falhas em 04 -06- 2019 as 10:35 hs Atualizado Km em 03 -06- 2019 MKBF (2019) - Frota I			
MÊS	Qtd Falhas	Km	MKBF
JAN	255	266342	6267
FEV	230	225184	5874
MAR	203	271070	8012
ABR	175	268539	9207
MAI	172	274923	9590
JUN	17	22913	8087
JUL	0	0	0
AGO	0	0	0
SET	0	0	0
OUT	0	0	0
NOV	0	0	0
DEZ	0	0	0

Se considerarmos que essa primeira intervenção reduziu em média 5 ocorrências por mês, a contribuição no aumento dos índices MKBF da frota foi de aproximadamente em 9,8% e no MKBF geral de todas as frotas em 1,4%.

Para aprimorar a experiência, foi testado um trem que gerava log de "Falha no comando da válvula eletromag", porém não sinalizava para o operador. Foi monitorada a CLP até o momento em que ocorresse falha, para conhecermos o período pré-falha. Assim:

No dia 21/02/19 a CLP não gerou registro de falha.

Nos dias 02/03/19, 13/03/19, 18/04/19 apresentou vários registros de falha.

No dia 15/06/19 a operação abriu falha "Sinaliza falha da porta", e a corretiva constatou o desvio na CLP monitorada.

Após a substituição da CLP foi baixado o LOG e desde então não apresentou mais falha.

Portanto conhecemos o período pré-falha da CLP e a eminência desse registro impactar em uma falha, justificando assim, a substituição antecipada da CLP e auxiliando uma atuação mais eficaz da oficina. Esse trabalho apresentou uma melhor exatidão e agilidade na atuação do laboratório, que ao indicar o evento que resultou a substituição da CLP, possibilitou a detecção do componente em falha que não era testado em bancada. Sem a análise e indicação do LOG a oficina revisava o componente por completo, agora com o LOG é possível segregar em três partes; comunicação, processamento interno e interface de entrada e saída.

4. Conclusão

Portanto, são reais os ganhos obtidos com o novo conceito de análise de dados experimentados no sistema de portas. Os resultados motivam a aplicação em outros sistemas e mostram que a manutenção detectiva auxilia na qualidade da manutenção corretiva e preventiva, podendo ser vista como um elo constante entre essas duas.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- http://wwwp.feb.unesp.br/jcandido/manutencao/Grupo_5.pdf
- <https://support.office.com/pt-br/article/power-query-vis%C3%A3o-geral-e-aprendizagem-ed614c81-4b00-4291-bd3a-55d80767f81d>
- <https://support.office.com/pt-br/article/power-pivot-vis%C3%A3o-geral-e-aprendizagem-f9001958-7901-4caa-ad80-028a6d2432ed>
- <http://ferroviadopaulinho.blogspot.com/2014/09/>
- Norma Técnica ABNT NBR 5462-1994
- Inteligência Artificial, 1. Introdução Russell, Stuart; Norvig, Peter, <https://evolution.com.br/epubreader/inteligencia-artificial-3ed>