



AEAMESP



APLICAÇÃO DE METODOLOGIA DE INSTRUMENTAÇÃO PARA ANÁLISE, DETECÇÃO E PREDIÇÃO DE FALHAS EM EQUIPAMENTOS FIXOS DE SINALIZAÇÃO.

Fernando Nishimura de Macedo

Vinícius Felipe Gomes

Diego de Almeida Joaquim



AEAMESP



20ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

CATEGORIA: TECNOLOGIAS DE IMPLANTAÇÃO, OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO DE SISTEMAS DE TRANSPORTE.

TÍTULO DO TRABALHO: APLICAÇÃO DE METODOLOGIA DE INSTRUMENTAÇÃO PARA ANÁLISE, DETECÇÃO E PREDIÇÃO DE FALHAS EM EQUIPAMENTOS FIXOS DE SINALIZAÇÃO.

ARTIGO TÉCNICO

INTRODUÇÃO

O Metrô de São Paulo atualmente transporta cerca de 4,5 milhões de usuários por dia. O bom funcionamento do sistema está atrelado a equipamentos de sinalização confiáveis e com pouca ou quase nenhuma incidência de falhas. Falhas no sistema de sinalização e controle de tráfego trazem grandes transtornos operacionais e se propagam rapidamente ao longo de outras linhas e aos demais sistemas de transporte da cidade. Processos de manutenção preventiva e o uso de metodologias preditivas tornam-se necessárias, pois reduzem drasticamente a incidência de falhas e o impacto causado por elas à população.

A metodologia empregada propõe a análise dos principais sinais de controle dos equipamentos que compõem o sistema de sinalização, através de um registrador multicanais de alto desempenho possibilitando visualizar, analisar, identificar e prever potenciais falhas e desvios funcionais. O objetivo deste trabalho é apresentar os resultados da aplicação de uma nova metodologia de monitoramento de sinais para análise, detecção e predição de falhas no

equipamento Multiplex, que faz parte do sistema de sinalização e controle de tráfego de trens.

Os equipamentos que compõem o sistema de sinalização possuem uma grande quantidade de variáveis e sinais vitais que possibilitam o controle de tráfego e movimentação de trens, em destaque o sistema de detecção de ocupação e geração de códigos de velocidade (Multiplex). A Figura 1 apresenta um diagrama simplificado do sistema Multiplex.

DIAGRAMA DE BLOCOS DO SISTEMA MULTIPLEX

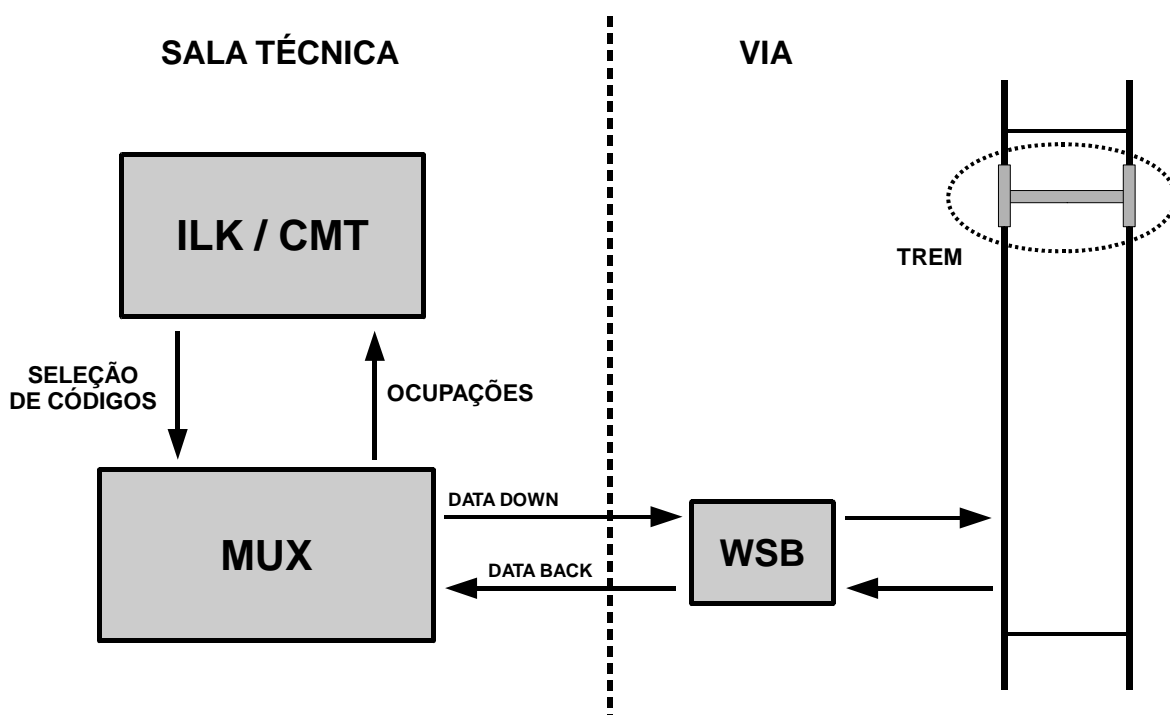


Figura 1 – Diagrama de blocos do sistema Multiplex

O Multiplex (MUX) é um equipamento totalmente eletrônico formado por circuitos lógicos e analógicos em configuração “Fail Safe” (Falha Segura) acondicionados em um armário localizado nas estações mestras. Toda estação mestra possui equipamentos de sinalização e controle e possui ainda uma ou mais estações satélites atreladas a esta. A funções básicas do MUX:



AEAMESP



- Geração de códigos de velocidade.
- Transmissão e recepção de dados.
- Detecção de ocupação.

Falhas nesse equipamento têm grande impacto no sistema de sinalização e geralmente demandam grandes períodos de atuação, visto a grande quantidade de sinais a serem monitorados.

Em geral, determinados tipos de falhas nesse equipamento, por sua intermitência e ou complexidade, tornam-se um grande e oneroso desafio para a manutenção corretiva, quanto esta se utiliza dos métodos tradicionais de instrumentação e análise que normalmente dispõe. Quanto maior a dificuldade em se chegar ao ponto de desvio de funcionamento do equipamento, maior será o ônus para a operacionalidade do sistema.

DESENVOLVIMENTO

Grande parte dos sistemas de sinalização do Metrô de São Paulo (ATP) consiste em seções de via com comprimentos determinados, denominados circuitos de via. O processo de detecção de ocupação é realizado através de códigos de velocidade, em forma de sinais elétricos, que são induzidos nos trilhos através de uma antena transmissora e coletados através de uma antena receptora. Esses sinais são comparados através do Multiplex que é responsável pela geração desses códigos de velocidade e a detecção de ocupação.

Condições de segurança são implícitas no conceito do sistema, sendo que para todo circuito de via ocupado o circuito anterior a este recebe código de velocidade de 0 Km/h. Cada equipamento Multiplex controla uma quantidade determinada de circuitos de via. A figura 2 exemplifica o conceito apresentado.

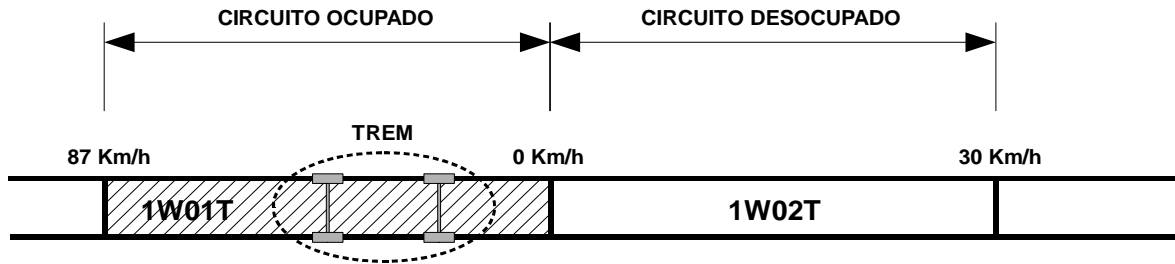


Figura 2 – Detecção de ocupação e imposição de código de velocidade 0 Km/h

Uma falha no sistema de sinalização foi utilizada como base para a elaboração da metodologia e será analisada de forma superficial a fim de explicar melhor e dar embasamento técnico para melhor compreensão da metodologia. Na figura 3 mostra os diversos circuitos de via no domínio do Multiplex da estação mestra Bresser (tela do Visualizador de Eventos do MUX – software de utilização interna da Companhia do Metropolitano de São Paulo).

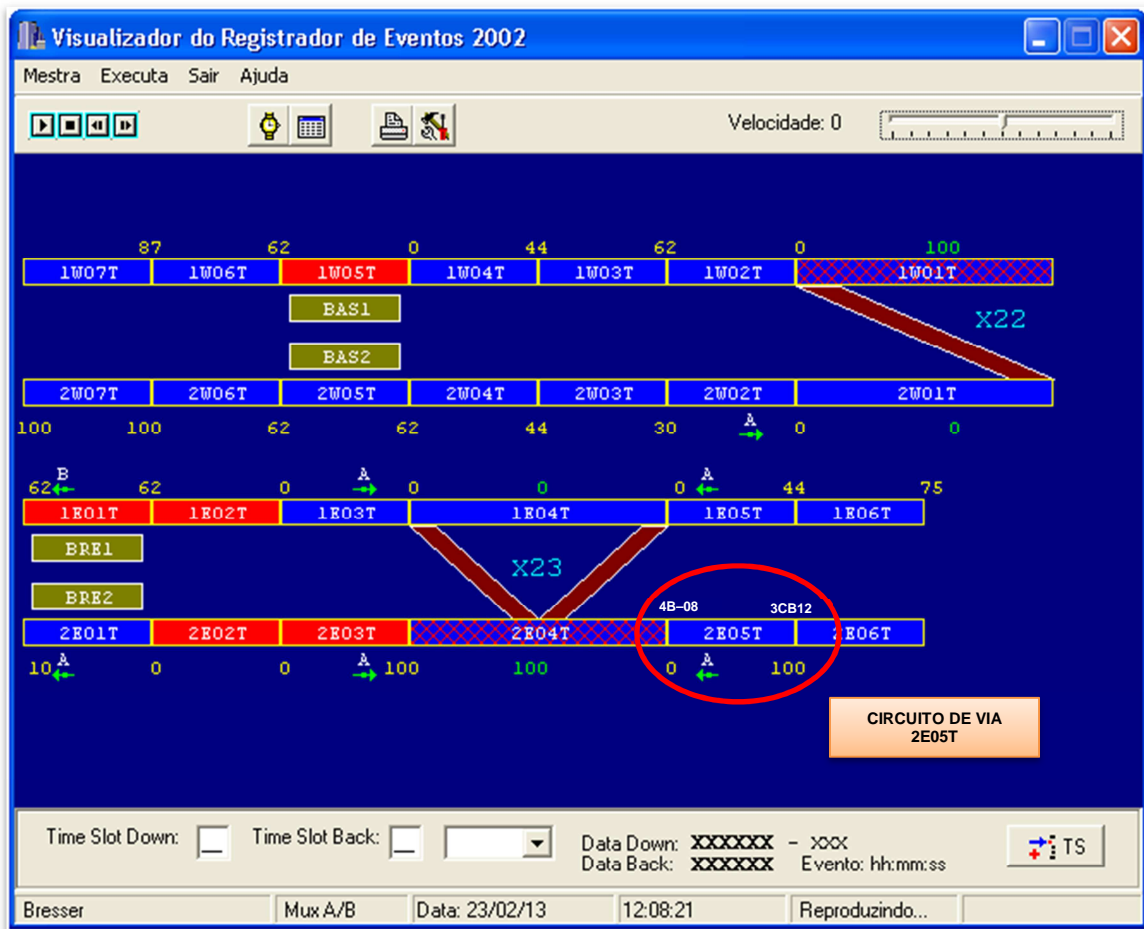


Figura 3 – Região da falha de falsa ocupação no circuito de via 2E05T

A falsa ocupação no circuito 2E05T ocorria de forma intermitente, dependendo de condições climáticas (temperatura ambiente alta) e cenários específicos na sinalização para sua ocorrência.

A falha possuía diversos efeitos desvios dispersos, sendo assim não era possível num primeiro momento, a correlação destes efeitos, a fim de chegar ao elemento gerador da falha. A figura 4 ilustra os sinais de controle do Multiplex e em destaque os sinais que são comparados a fim de detectar ocupações no circuito de via e o desvio em destaque gerando a falsa ocupação no circuito de via 2E05T.

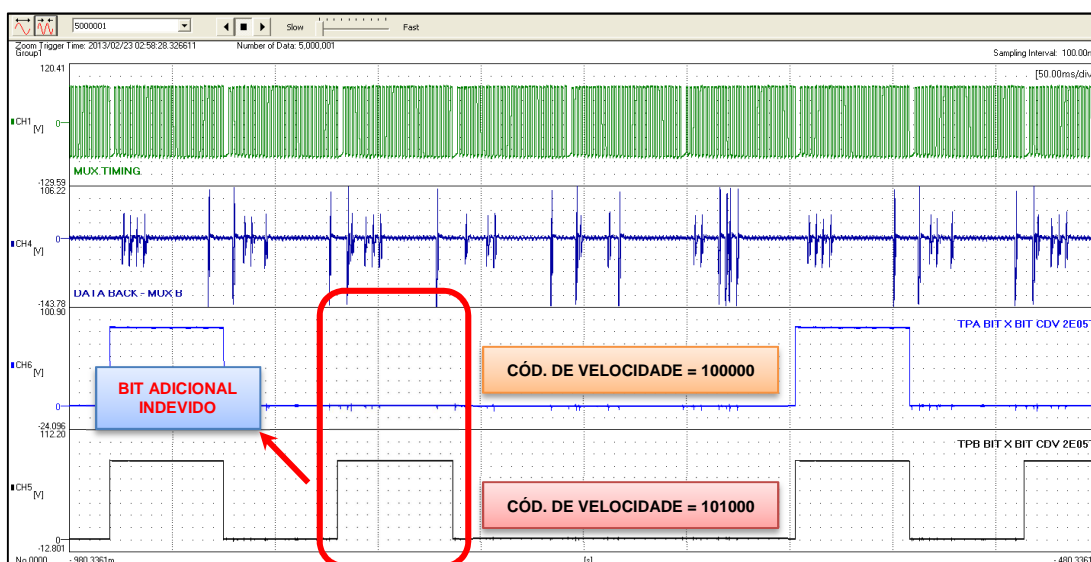


Figura 4 – Bit indevido gerando incoerência na comparação. MUX interpreta como falsa ocupação

Com a utilização de um aquisitador digital, foi possível o monitoramento de todas as etapas de composição, variáveis necessárias para geração dos sinais de controle em tempo real e com interferência mínima no equipamento,

Desta forma possibilitou-se a determinação da provável causa da falha, um sinal digital que era gerado indevidamente, com período muito curto, na ordem de nano segundos. Os sinais monitorados e o sinal gerador da falha são apresentados na figura 5.

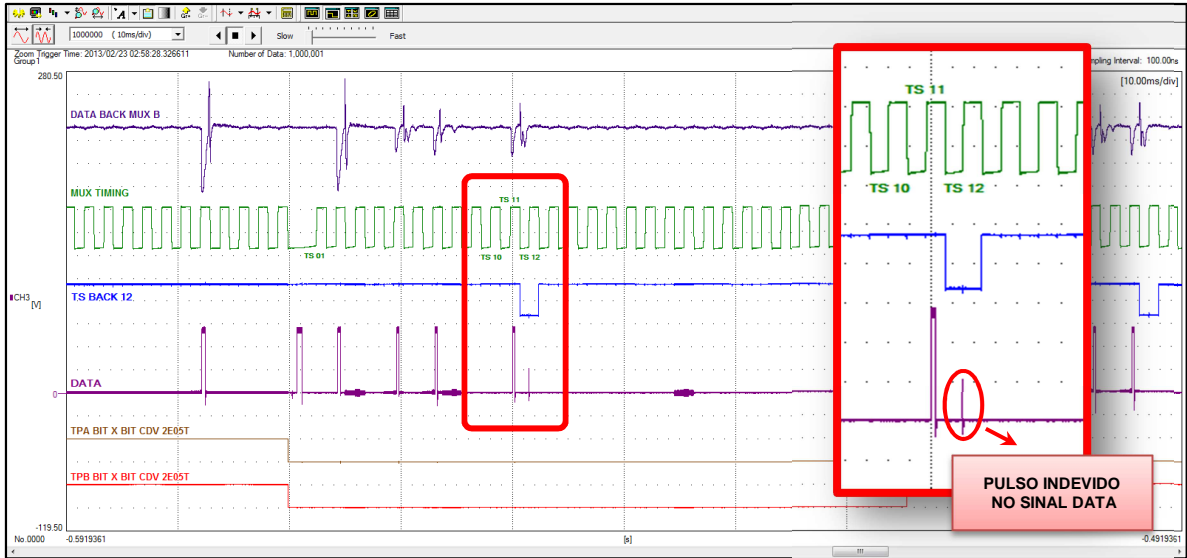


Figura 5 - Sinais de controle do Multiplex

Na atuação foram registrados diversos sinais e, em análises posteriores, verificou-se que a deformação do sinal de controle de retorno de dados da via gerava o sinal digital indevido.

Em pesquisa de falha na caixa a margem de via constatou-se que um cartão eletrônico defeituoso estava deformando o sinal de retorno de dados da via, sensibilizado com o aumento da temperatura ambiente. A figura 6 mostra o sinal de retorno da via no padrão em amplitude e frequências corretas. O sinal em desvio é apresentado na figura 7.

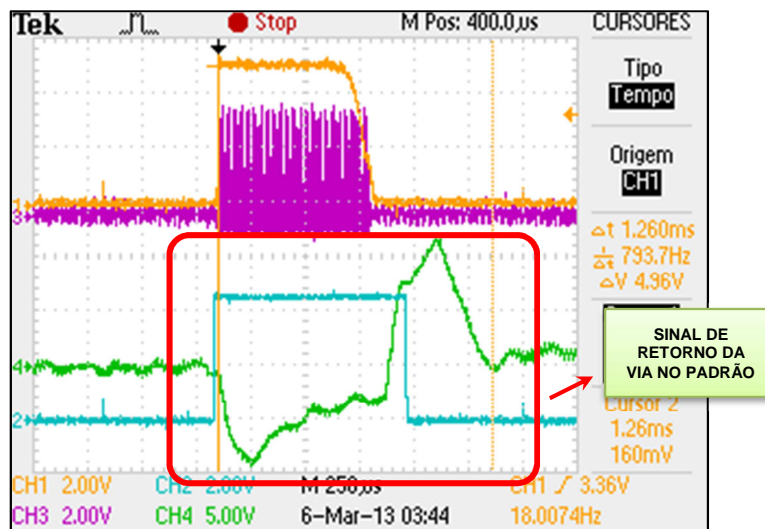


Figura 6 – Sinal de retorno da via sem deformação

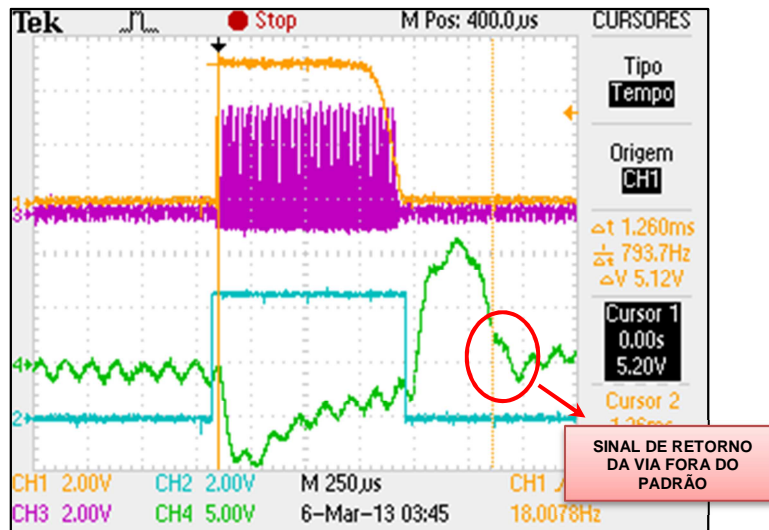


Figura 7 – Sinal de retorno da via em desvio

Todo o monitoramento e estudo do sinal de retorno de dados da via foi realizado com auxílio de software de análise de sinais que possibilitou identificar detalhes específicos, além de desenvolver funções matemáticas no intuito de facilitar a análise dos dados adquiridos.

Utilizando-se de premissas de manutenção preditiva, que visam a antecipação à possíveis falhas e intervenções corretivas no equipamentos, concluiu-se que o uso de métodos de monitoramento fazem-se extremamente necessários, visto o grande transtorno operacional que falhas no Multiplex geram no sistema.

As atuações na falha relatada serviram de base para a elaboração da metodologia, visto que a partir dos sinais adquiridos e analisados posteriormente, foi possível identificar o comportamento dos sinais e desvios atrelados à esses na iminência de gerar falhas.

A metodologia prevê que sejam monitorados e adquiridos no armário de conexões das estações mestras, os principais sinais de controle do Multiplex e que estes sejam analisados e comparados com sinais padrões a fim de identificar e detectar de forma preditiva potenciais de falhas no equipamento.

As aquisições dos sinais de controle no armário de conexão não interferem no funcionamento do Multiplex, portanto tornam-se transparente ao sistema de sinalização.

Os 3 principais sinais de controle do Multiplex fazem a interligação do equipamento na sala técnica da estação mestra e as caixas a margem de via. São estes:

- MUX TIMING: sinal de sincronismo entre as caixas a margem de via e o Multiplex;
- DATA DOWN (Sinal de ida dos dados à via): este sinal envia efetivamente os códigos de velocidade para as respectivas caixas a margem de via;
- DATA BACK (Sinal de retorno de dados da via): este sinal traz os códigos de velocidade recebidos pelas caixas a margem de via para detecção da ocupação do respectivo circuito.

A figura 8 apresenta os 3 sinais monitorados:

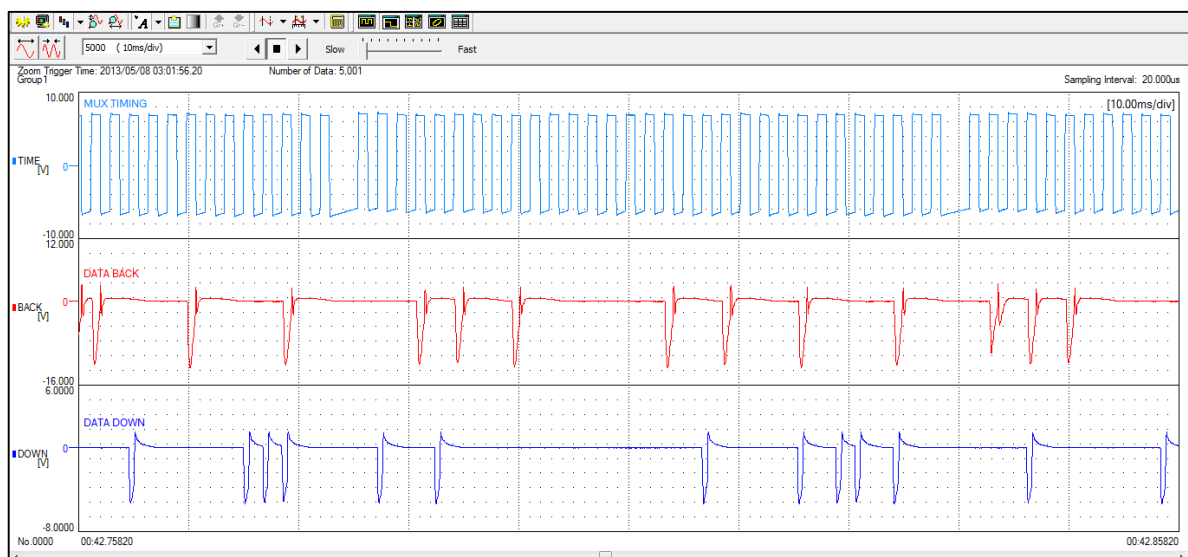


Figura 8 – Sinais de controle monitorados

Desta forma para estes 3 principais sinais de controle, foram identificados padrões em condições normais de operação e listados os efeitos desvios vinculados às características dos mesmos e as suas respectivas consequências para o funcionamento do equipamento.

Amplitude do sinal, frequência e características elétricas de formação dos sinais foram analisadas para obter os padrões de cada sinal. Ruídos, deformação das características de formação dos mesmos foram os desvios listados.

Além disso, foi possível listar e identificar os desvios funcionais e as prováveis causas, antecipando-se a ocorrência e obtenção dos diagnósticos da falha.

Com intuito de obter os sinais de controle padrões de cada equipamento, foi efetuado um mapeamento destes sinais em todos os equipamentos Multiplex instalados no sistema. Assim as equipes de manutenção preventiva obtiveram para cada um dos equipamentos, uma espécie de “assinatura”, permitindo a análise preditiva e identificação de eventuais degradações ou desvios nestes sinais.

No caso da identificação de um potencial de falha, as atuações corretivas ocorrem de forma a eliminar tais desvios quando da não circulação de trens. Assim as intervenções corretivas das equipes de manutenção no sistema durante a operação comercial são quase nulas.

ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os resultados da implementação da metodologia foram alcançados logo após a sua elaboração. Com as assinaturas dos sinais de controle foi possível a aplicação da mesma. Abaixo seguem 3 casos em que a metodologia mostrou-se eficiente e os conceitos de manutenção preditiva atingidos de forma satisfatória.

Falsa ocupação intermitente no circuito de via 2W07T de Bresser (BRE): A falha ocorria de forma intermitente com intervalo muito curto (menor que 1 segundo). No entanto não havia variação do código de velocidade do circuito de via posterior.

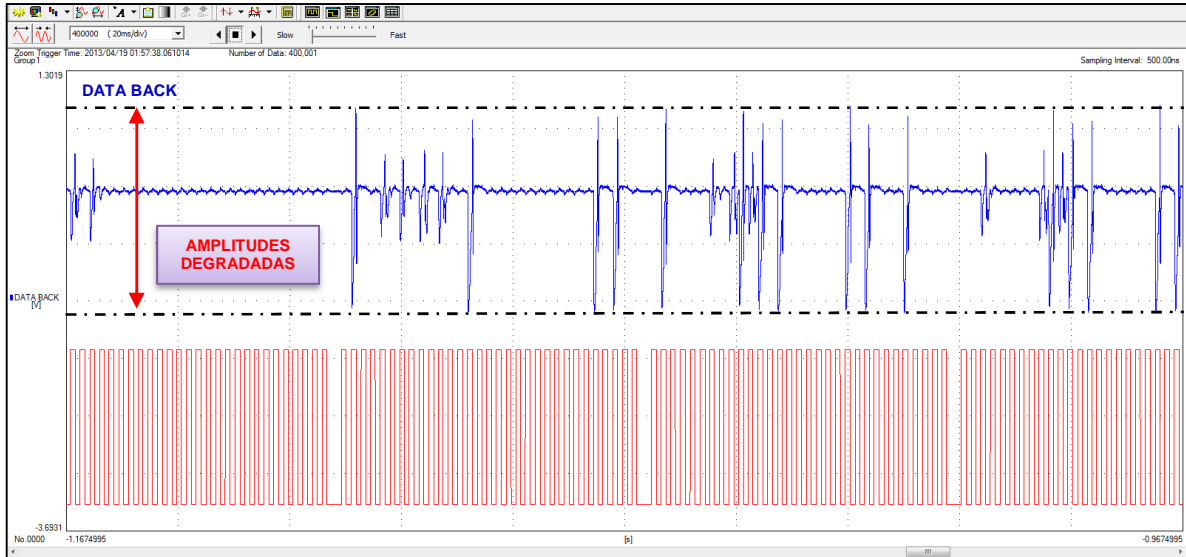


Figura 9 – DATA BACK degradado

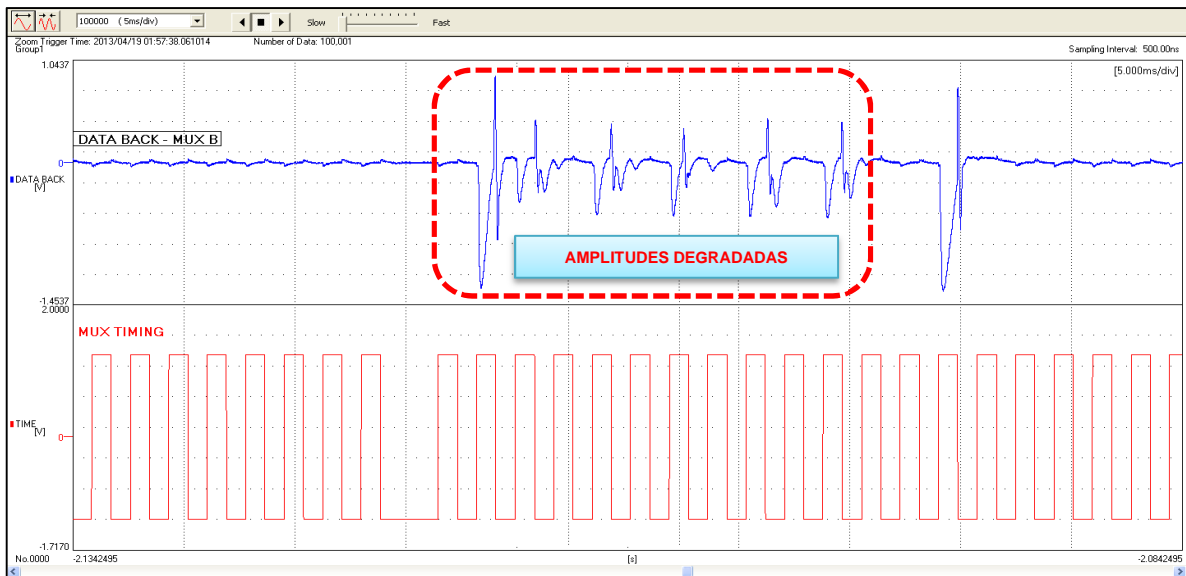


Figura 10 – Detalhe do DATA BACK degradado

As figuras 9 e 10 mostra o sinal DATA BACK que ao ser comparado com a assinatura padrão, apresentou em alguns dados de retorno da via, amplitude e características de formação degradadas. Após análise foi identificado e eliminado um ruído causado por um defeito em

uma conexão elétrica em uma caixa a margem de via sem correlação com a falsa ocupação, conforme cenário apresentado na figura 11.

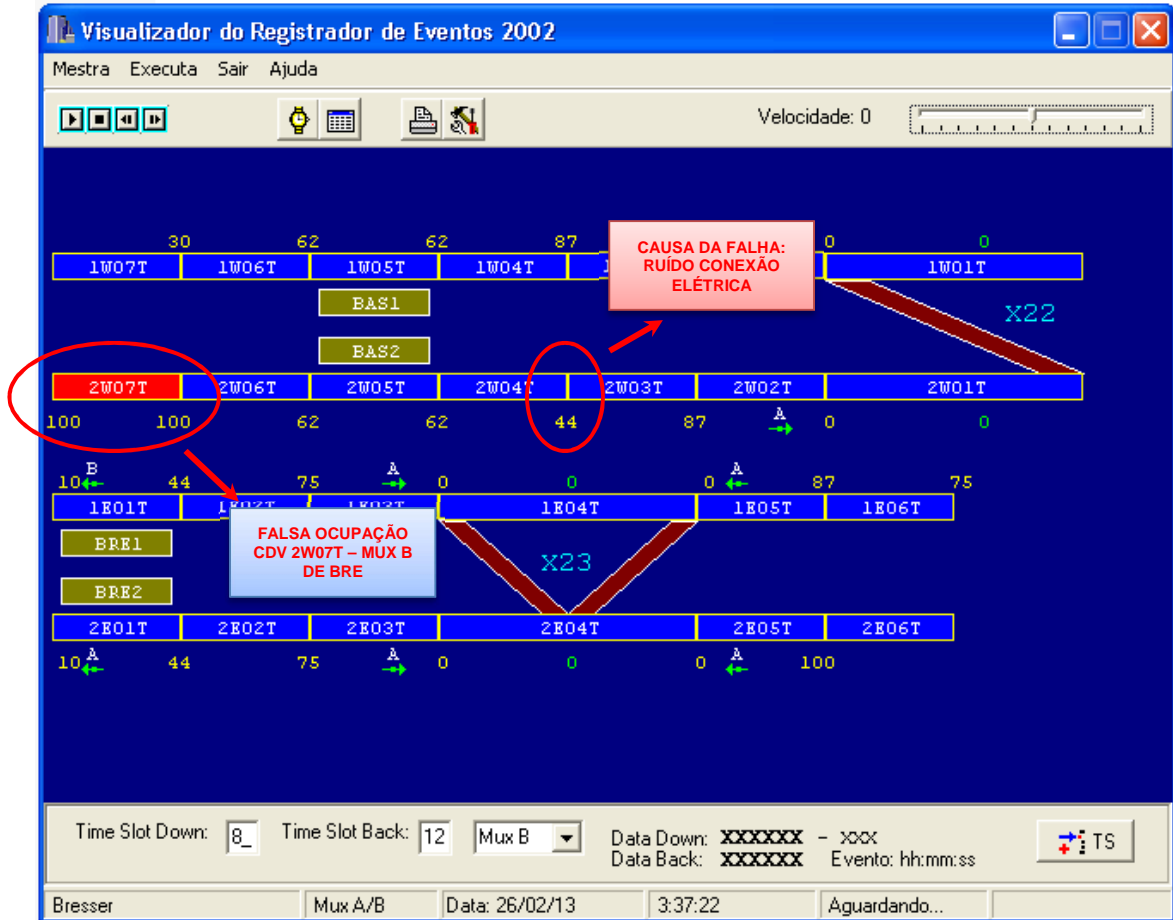


Figura 11 – Cenário da falha no circuito de via 2W07T

Após normalização da falha foi efetuado uma nova aquisição dos sinais de controle. As figuras 12 e 13 apresenta o sinal DATA BACK (dados de retorno da via) normalizado.

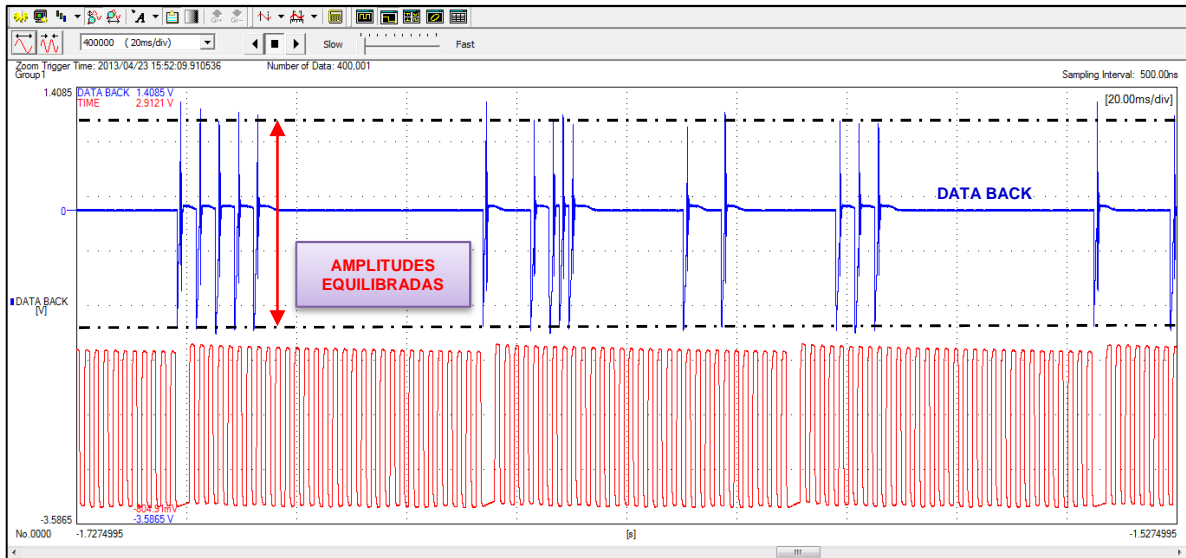


Figura 12 – DATA BACK normalizado

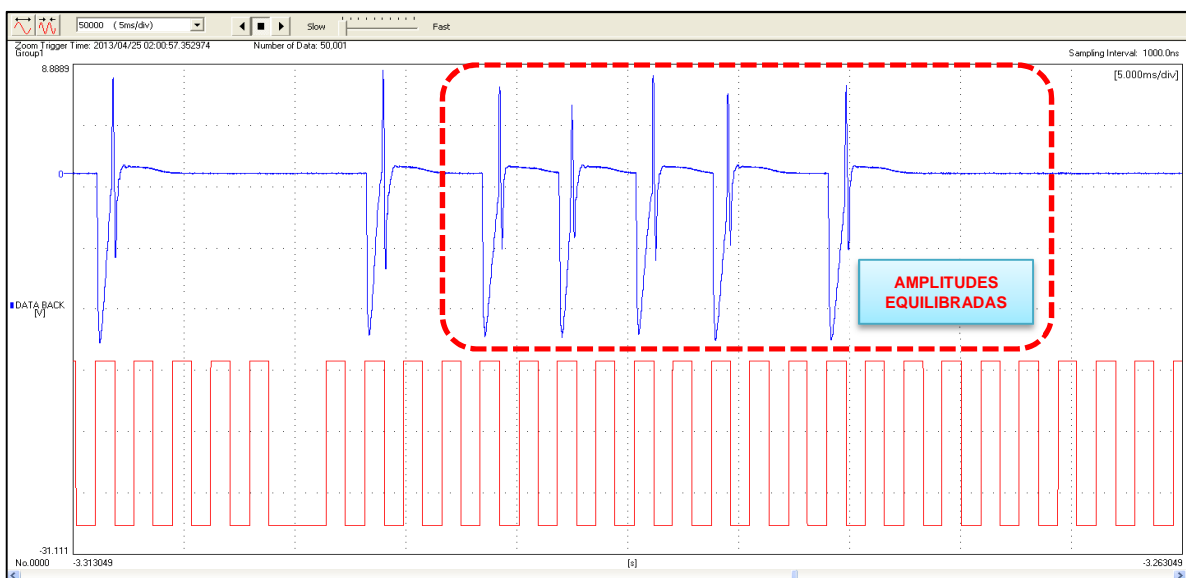


Figura 13 – Detalhe do DATA BACK normalizado

Potencial de Falha no Multiplex A de Tatuapé (TAT): A partir do mapeamento periódico dos sinais de controle do MUX A de TAT pela equipe de manutenção preventiva, verificou-se que o sinal DATA DOWN (ida de dados à via) apresentava um ruído que o deformava. Esse ruído ainda não interferia diretamente no funcionamento do MUX, porém, de acordo com os sintomas listados e diagnósticos relacionados a este tipo de ruído, levantados para a aplicação da metodologia, poderia gerar falsas ocupações intermitentes ao longo do domínio do MUX.

As figuras 14 e 15 mostram os sinais de controle do Multiplex adquiridos, em destaque o ruído na linha de DATA DOWN.

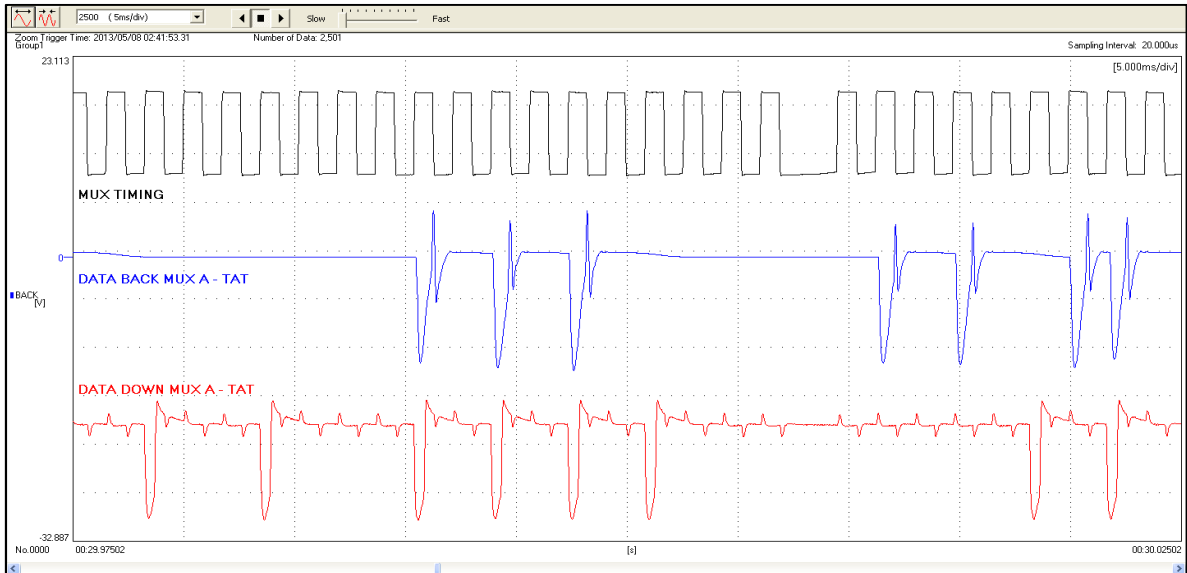


Figura 14 – Sinais de controle do MUX A de TAT

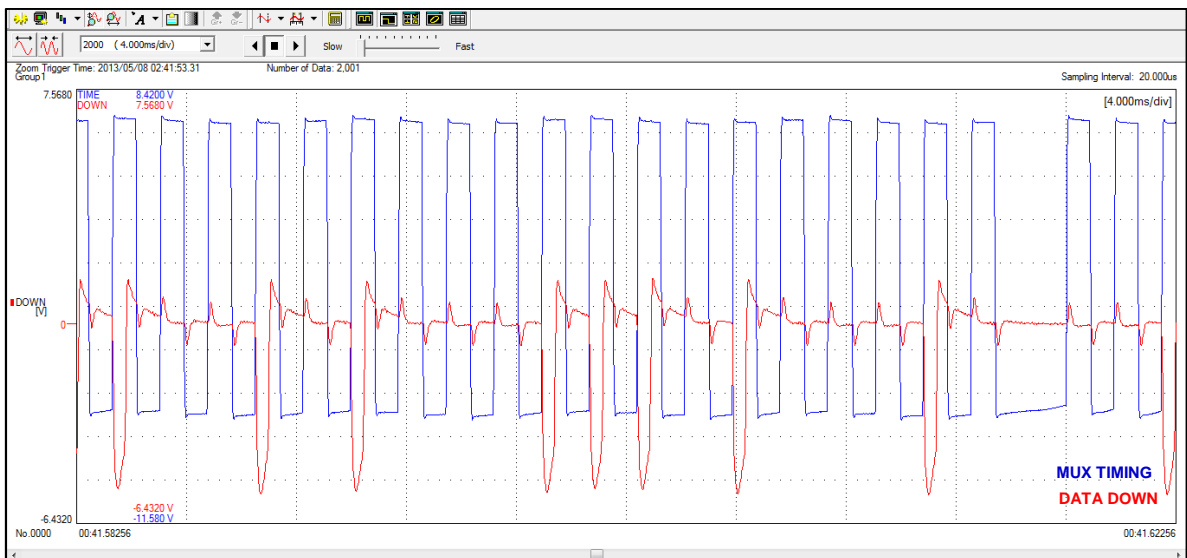


Figura 15 – Detalhe do ruído no sinal de DATA DOWN

É possível notar na figura 15, que o ruído no sinal DATA DOWN, correlaciona-se com o sinal de MUX TIMING, reforçando que a provável causa do desvio ser comum para os dois sinais de controle. Em pesquisa na via, foi constatado que o módulo de cartões eletrônicos de uma

caixa a margem de via possuía um curto-circuito entre os sinais de DATA DOWN e MUX TIMING.

A figura 16 mostra o sinal de DATA DOWN normalizado após a substituição do módulo de cartões eletrônicos.

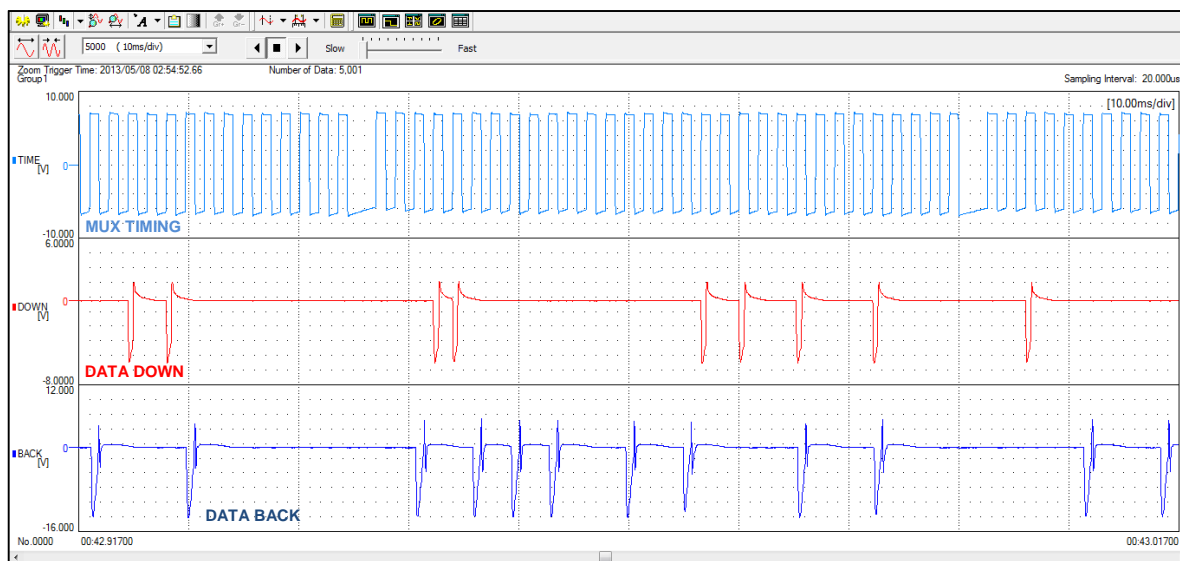


Figura 16 – Sinal DATA DOWN normalizado

Circuito de via com sinal de DATA BACK alargado: Em inspeção por parte da equipe de manutenção preventiva no MUX da estação Paraíso (PSO), foi identificado um sinal de DATA BACK com características de formação deformada (amortecimento do sinal) acima do período estabelecido em procedimento técnico. O sinal em desvio estava relacionado a apenas um circuito de via. A figura 17 mostra o sinal com período correto e o sinal em desvio.

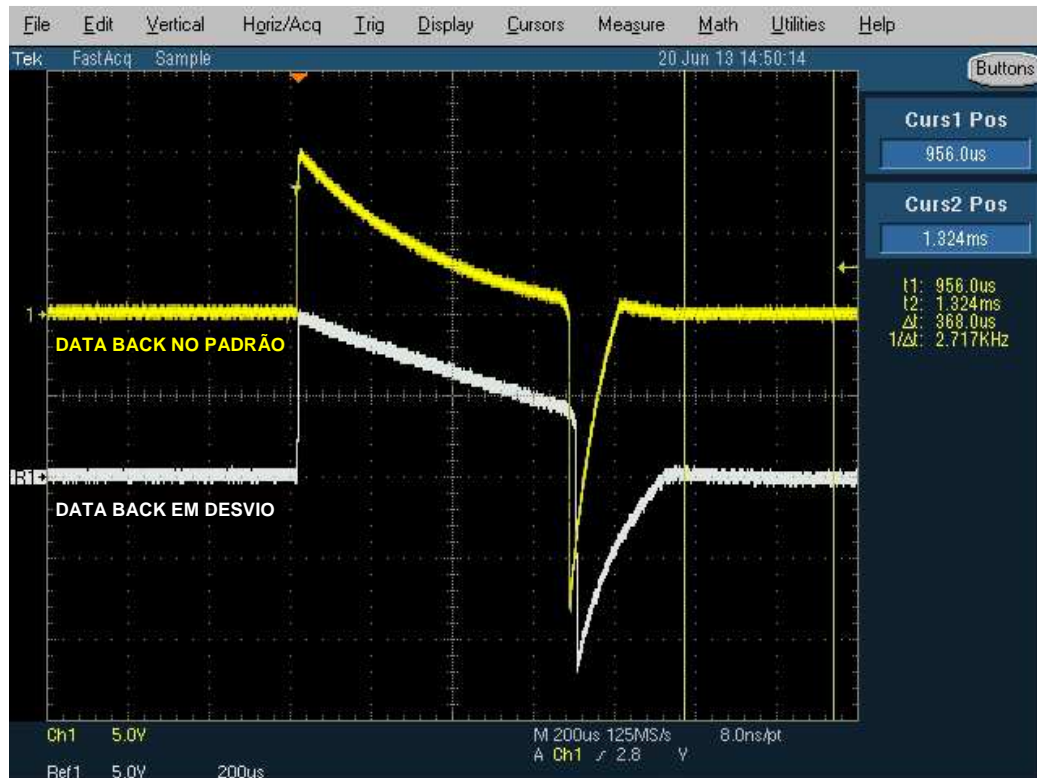


Figura 17 – DATA BACK no padrão comparado com o sinal em desvio

É possível notar que o sinal de DATA BACK em desvio possuía um alargamento indevido comparado com o sinal padrão. Em pesquisa na caixa a margem de via, identificou-se um cartão eletrônico defeituoso com impedância elétrica de um transformador de acoplamento fora do padrão estabelecido em procedimento. Após substituição do cartão o sinal voltou ao período padrão especificado.

Para os 3 casos, todo o processo de análise preditiva e as intervenções corretivas foram realizados após a operação comercial e antes da ocorrência da falha com mínima ou quase nula interferência com o sistema, atestando a validade e eficácia da aplicação da metodologia.

CONCLUSÕES

A metodologia foi elaborada, validada e esta sendo utilizada pelas equipes de manutenção preventiva desde maio de 2013.



AEAMESP



Os resultados da aplicação do método mostraram-se positivos e trouxe ganhos evidentes, pois utiliza conceitos de manutenção preditiva para detecção de falhas em potencial e sua aplicação diminuiu a incidência destas, além de agregar mais ferramentas e formas de atuação às equipes de manutenção.

Em resumo, além dos resultados satisfatórios nos casos relatados, a implementação da metodologia trouxe diversos benefícios:

- Mínima ou quase nenhuma interferência ao sistema durante o horário comercial;
- Otimização do processo de manutenção preventiva: Inserção de conceitos de manutenção preditiva nos equipamentos fixos de sinalização e controle;
- Listagem dos prováveis diagnósticos de falha: De acordo com o sintoma identificado na análise dos sinais de controle, é possível sugerir a provável causa do desvio do sinal;
- Monitoramento periódico dos sinais de controle (assinaturas padrão de sinais):
Todo o processo de coleta de assinaturas dos sinais de controle é realizado de forma periódica através de programação de inspeção e manutenção preventiva do Multiplex.

Às equipes de manutenção dos equipamentos fixos dos sistemas de sinalização:

- Acesso a novas tecnologias de instrumentação: Os instrumentos de aquisição e gravação de sinais utilizam novas tecnologias para medição de dados, o que proporciona uma nova ótica aos processos de instrumentação e controle;
- Ampliação dos conhecimentos de funcionamento do equipamento Multiplex: Para a realização do levantamento de desvios e diagnósticos de falhas, o equipa-



AEAMESP



mento teve de ser estudado profundamente, agregando mais conhecimento de seu funcionamento;

- “*Know-how*” e adaptabilidade da metodologia de análise de falhas em outros equipamentos com a mesma abordagem de manutenção preditiva: A aplicação da metodologia já está em execução, no intuito de mapear e prever falhas nos circuitos de via com detecção de ocupação através de corrente alternada (AC) na região de intertravamentos.

O grande número de usuários do Metrô de São Paulo faz deste o principal meio de transporte da cidade. Os equipamentos de sinalização e controle precisam ser confiáveis para a fluidez e o bom funcionamento do sistema. O trabalho apresentado evidencia a importância da aplicação da metodologia no equipamento Multiplex, visto sua relevância e seu caráter preditivo, visando a constante redução de falhas neste equipamento. Além disso, a adaptação deste tipo de metodologia para utilização nos outros equipamentos que compõe o sistema de sinalização apresenta um grande passo para a prevenção de falhas de média e grande interferência operacional.