4º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

CATEGORIA 3

SINAPOT - SISTEMA DE INIBIÇÃO DA ABERTURA DAS PORTAS DO TREM

INTRODUÇÃO

O Metrô de São Paulo transporta 3,7 milhões de pessoas por dia (2016) com um recorde de 4,2 milhões transportados em 2013 e para garantir a segurança dos usuários foram adicionados ao sistema dispositivos de segurança nas plataformas como os direcionadores de fluxo e portas de plataformas.

Trabalhos de grande relevância foram feitos para a melhoria da precisão do ponto de parada dos trens com uma precisão + ou – 15 cm do ponto ideal, mas com alteração de qualquer uma das variáveis de controle do sistema responsável pela parada programada do trem no modo automático, faz com que o ponto de parada se altere, causando transtornos principalmente em estações onde foram instaladas portas de plataforma.

As PSDs (Portas de Plataforma) que foram instaladas nas plataformas das estações do Metrô, em sua concepção original trabalhariam de forma integrada com o novo sistema de sinalização que está sendo instalado para controle dos trens, o CBTC, garantindo a total compatibilidade entre os sistemas e o perfeito alinhamento das portas do trem e a PSD.

O sistema de controle antigo (ATC), presente nas linhas 1-Azul e 3-Vermelha do Metrô, não foi concebido em sua originalidade para interagir o com o sistema de controle da PSD, assim os sistemas trabalham de forma independente ficando a critério do sistema da PSD detectar o perfeito alinhamento e a abertura ou fechamento das portas do trem e a partir desses parâmetros executar a abertura ou fechamento das portas de plataforma, esta detecção na PSD é feita pelo sistema de detecção secundária o Coppilot, que atuaria na PSD na ocorrência de uma falha de comunicação entre o CBTC e a PSD.

O Coppilot consiste em dois Lasers Scan posicionados nas primeiras portas das cabeceiras do trem e associado a um sistema de contador de eixos para a detecção do trem na plataforma.

O sistema ATC dos trens não recebe nenhuma informação da PSD, ou seja, não há interação entre os sistemas e no processo de Parada Programa e abertura automática de portas, precisamente quando trem está dentro da região da plataforma, o trem poderá abrir as portas em uma posição que esteja desalinhada com a PSD, por sua vez o sistema da PSD constata que as portas do trem estão fora do alinhamento e não comandará a abertura das portas da estação, gerando uma condição insegura ao usuário que por diversas vezes nesta condição saíram pelas portas de emergência da PSD, gerando um transtorno operacional.

Com o foco de monitorar o ponto de parada do trem, começaram os estudos da Engenharia de Material Rodante para elaborar um sistema que permitisse a abertura das portas do trem quando estivesse dentro dos limites de detecção do Coppilot, este dispositivo foi denominado SINAPOT “Sistema de Inibição da Abertura das Portas do Trem”.

DIAGNÓSTICO

DESCRIÇÃO

Aqui será descrito os principais itens que compõem o cenário que motivaram a criação do sistema SINAPOT, a Parada Programada, Abertura Automática das Portas do Trem e as Portas de Plataformas das estações.

PARADA PROGRAMADA

O ATC é o equipamento responsável pela movimentação segura do trem no modo automático, também na mesma modalidade é responsável pela parada, abertura e fechamento das portas do trem nas estações. Dois ATCs embarcados são instalados nas cabines dos trens operando de forma independente como ativo ou redundantes, salvo nas funções de abertura e fechamento de portas em que ambos trabalham em conjunto checando as informações recebidas do ATO de estação.

A Parada Programada (PP) do trem em uma estação é uma das funções ATC embarcado, sendo responsável pela parada do trem nas estações na modalidade de operação automática. O processo de PP começa a 576m, onde temos uma antena de 1.20m denominada marcadora que transmite um sinal de frequência para o trem e invertendo a fase do sinal a cada 30 cm com o movimento do trem, o ATC do trem identificando este sinal se prepara para fazer uma parada programada em uma estação seguindo um perfil de frenagem e reduzindo a velocidade do trem. Quando o trem entra estação temos a mesma

antena instalada ao longo de toda a extensão da plataforma e com as mesmas inversões de fase do sinal a cada 30 cm, a cada inversão o trem atualiza sua velocidade e posição com relação à plataforma, com uma precisão de parada ao final da plataforma de + ou - 15 cm.

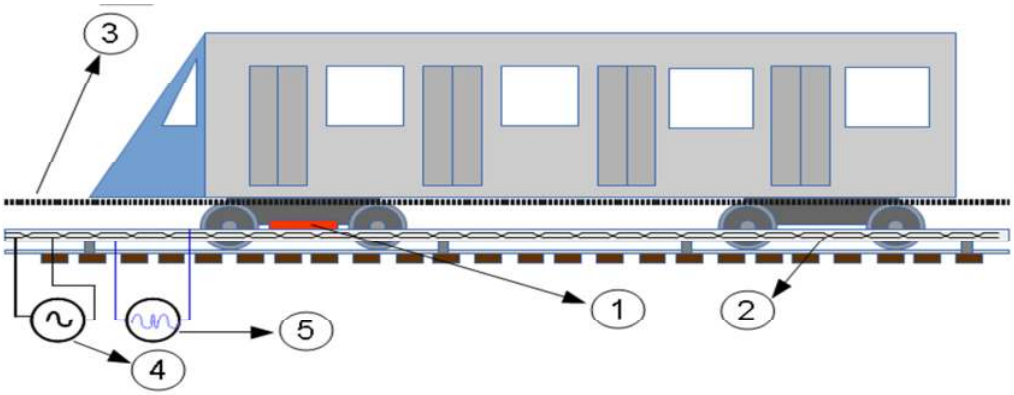


Figura 1 – Trem na plataforma, detalhes da antena de parada programada/abertura e fechamento de portas.

1- Antena de Parada Programada / Portas do trem.

2 – Antena de Parada Programada / Portas da estação.

3 – Plataforma da estação.

4 – Sinal da estação de parada programada da estação.

5 – Sinal da estação de abertura e fechamento de portas

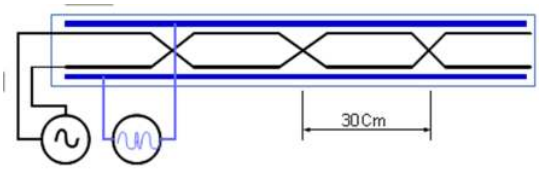


Figura 2 - Detalhe antena da estação de PP/Portas, a mesma antena transmite e recebe sinais de identificação do trem aqui não representado, instalada em toda extensão da plataforma.

O controle da parada programada é demostrado no gráfico 1, onde é possível visualizar todo o processo de parada do trem. O ATC do trem controla a velocidade

incrementando um contador de inversões do sinal da antena de PP, que decrementa a velocidade do trem até o ponto ideal de parada com a uma precisão de + ou – 15 cm.

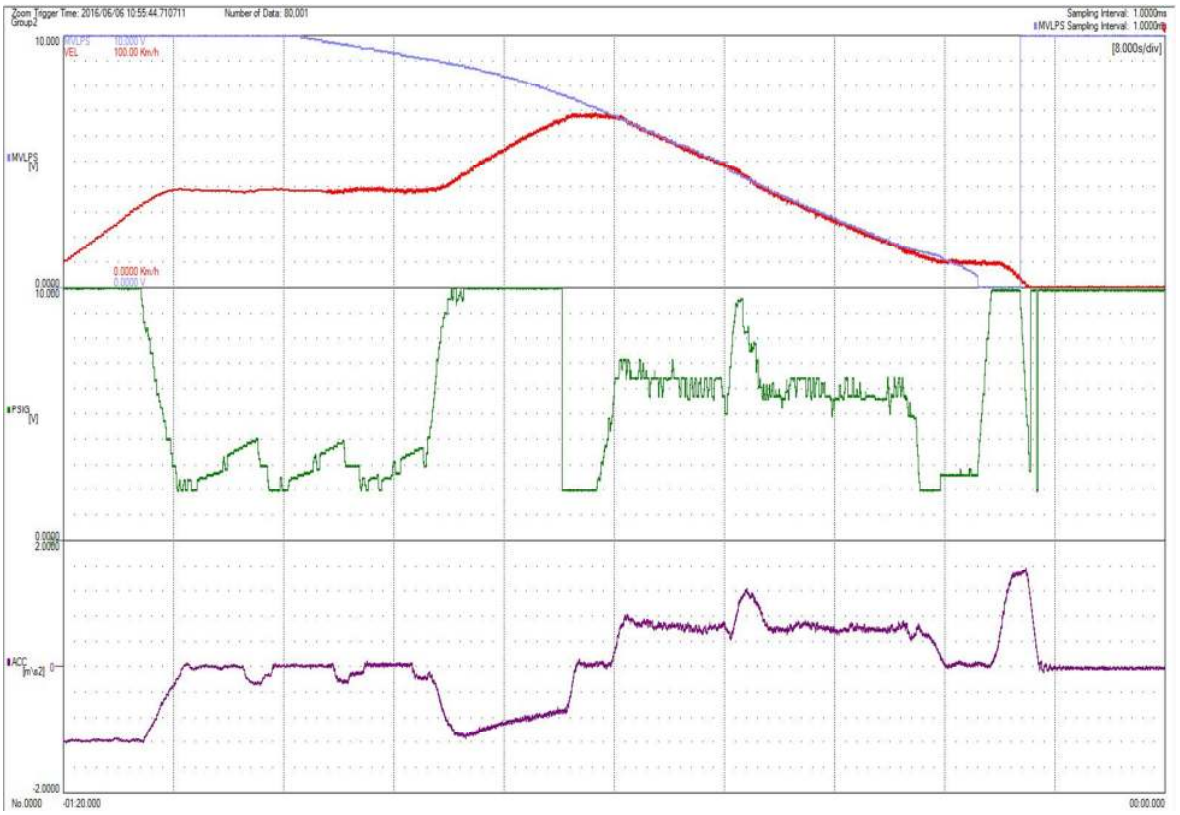


Grafico 1 – Registro de uma Parada Programada de um trem em plataforma da linha de testes.

- Sinal MVPLS – referencia de velocidade de Parada Programada obtido a partir do contador de inversões da antena de PP.

- Velocidade real do trem em Km/h

- PSIG – Controle de demanda do ATC: < 5 = freio ; > 5 Tração;

- Aceleração do trem : < 0 = Tração; > 0 = Freio; durante a PP a taxa de freio de 0,67 a 0,85m/s² dependendo do nível de desempenho que foi carregado na estação anterior.

Em condições normais o trem mantém o ponto parada dentro dos limites de + ou - 15 cm, mas em algumas situações as condições como baixa aderência na via, falha de equipamento de freio durante o processo de PP, etc... , podem influenciar no controle do ATC e fazer com que o ponto de parada do trem se altere.

O gráfico 2 temos a dispersão das paradas programadas das frotas I, J, K e L. Os gráficos à esquerda são os resultado do trabalho da melhoria da precisão da parada programa, os gráficos à direita de como os trens paravam antes da melhoria.

Resultados da melhoria da PP Antes da melhoria

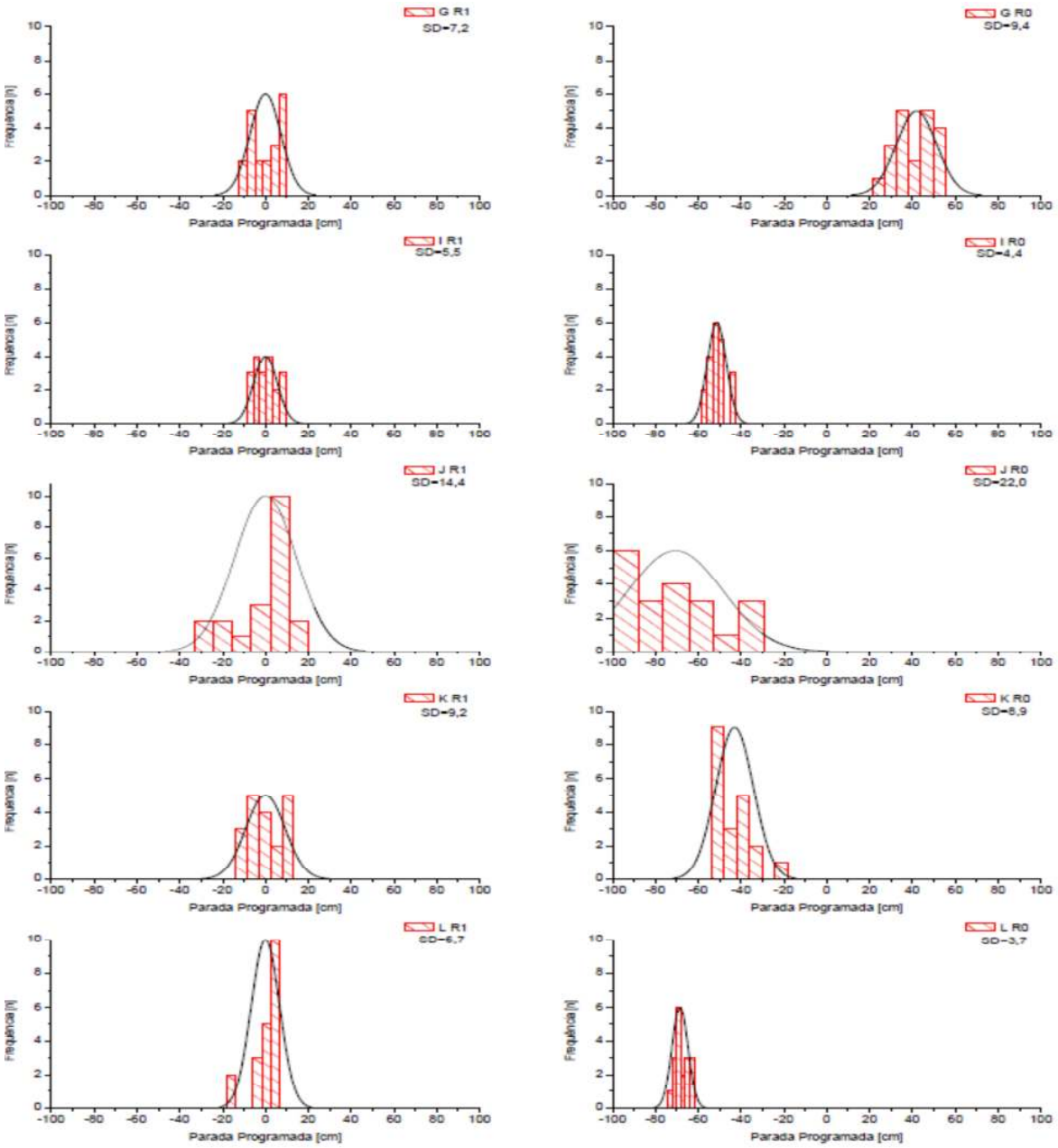


Grafico 2 – Paradas programadas frotas I,J,K e L (Paulo Sérgio S. Carvalho / Regis Peleggis ,AEAMESP 2014).

ABERTURA AUTOMÁTICA DAS PORTAS DO TREM

A todo instante o sinal de abertura de portas é transmitido pelo ATO da estação, é um sinal modulado em FSK e transmitindo para o trem uma codificação de abertura ou uma codificação de fechamento de portas, este sinal é processado pelo ATC de ambas as cabeceiras e dependendo do código recebido abrir ou fechar as portas do trem na modalidade automática.

Ao final do processo de parada programada com o trem parado e ocupando totalmente a plataforma, as duas cabeceiras do trem estarão recebendo o sinal de abertura de portas do ATO de estação, o ATC do trem processa os sinais em ambas as cabines e em acordo com as informações, o ATC que estiver ativo* comandará a abertura de portas do trem. Note que independente do ponto de parada do trem, com ambas as cabeceiras dentro da região de plataforma, o ATC comandará a abertura de portas, figura 3.

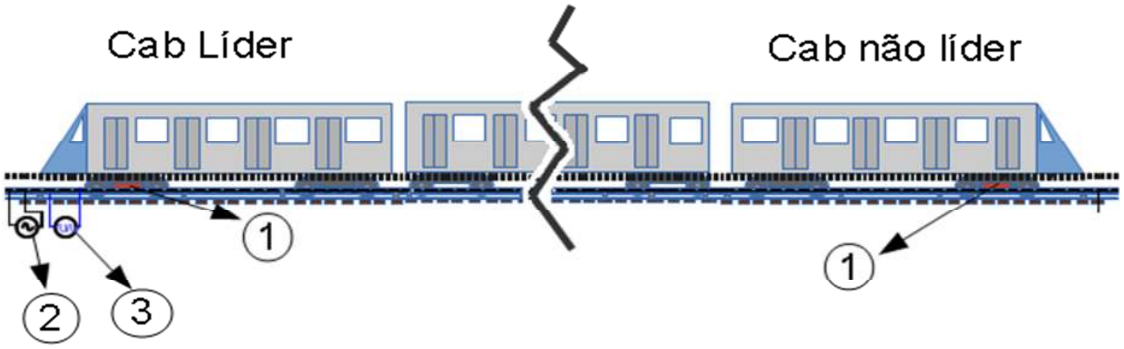


Figura 3 – Trem parado na plataforma, ambas cabines recebendo sinal de abertura de portas.

1- Antena de Parada Programada e Portas, instalada em toda a extensão da plataforma.

2 – Sinal de Parada Programada

3 - Sinal de abertura ou fechamento de portas.

Com a abertura das portas do trem, o ATO de estação dispara um temporizador e ao final do tempo comanda a troca do sinal codificado de abertura pelo sinal codificado de fechamento de portas, este sinal é processado pelo ATC ativo* que comanda o fechamento das portas do trem, em seguida o ATO de estação retira o sinal de parada programada, liberando a partida do trem da estação.

*Nota: O ATC ativo geralmente é o que está na cabeceira com liderança, mas em uma condição de falha, as funções do ATC ativo podem ser transferidas para ATC da cabeceira oposta mediante comando do operador do trem, modo de condução ATC redundante.

FUNCIONAMENTO DAS PORTAS DE PLATAFORMA

As portas de plataforma (PSD) que são instaladas em linhas que não operam com o CBTB, funcionam com o sistema de detecção secundária da PSD que basicamente é composto por um contador de eixos na entrada da plataforma que válida a presença do trem após a contagem dos 24 eixos dos seis carros e o estado das portas do trem que é identificado por um par de lasers scan do sistema Coppilot, instalados de forma a detectar o estado da primeira e a ultima porta do trem.

A figura 4 demonstra o alinhamento do trem com portas fechadas em relação às portas da plataforma também fechadas, esta é a condição ideal para a detecção dos lasers scan instalados na caixa superior da PSD.

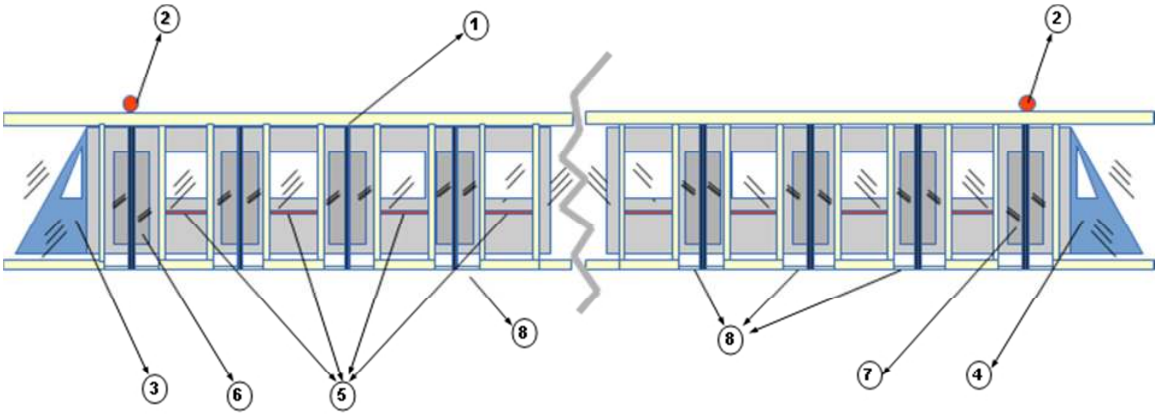


Figura 4 – Trem com portas fechadas alinhado corretamente com portas de plataforma também fechadas, condição ideal para a operação da porta de plataforma..

1- PSD Porta de plataforma da estação.

2- Sensor Scan Laser do Coppilot responsável pela detecção do estado das portas do trem, instalados nas primeiras portas das cabeceiras do trem.

3- Cabeceira líder, sentido do movimento.

4 - Cabeceira não líder.

5 - Portas de emergência da PSD, barra vermelha é o destravamento da porta.

6 - Primeira portas carro líder.

7 - Primeira porta carro não líder.

8 - Portas da plataforma.

Os limites para o Coppilot detectar o estado das portas do trem em relação as PSD é de + ou – 500 mm, ou seja, o centro das portas do trem devem estar + ou -500 mm alinhadas ao centro das portas da PSD, acima destes limites não há garantia de que o Coppilot identifique a abertura das portas do trem.

SEQUENCIA DE EVENTOS DAS PORTAS DO TREM E A PSD

Na figura 5 temos a parada do trem e suas das portas em perfeito alinhamento com as portas de plataforma, portas do trem fechadas e portas da PSD fechadas.

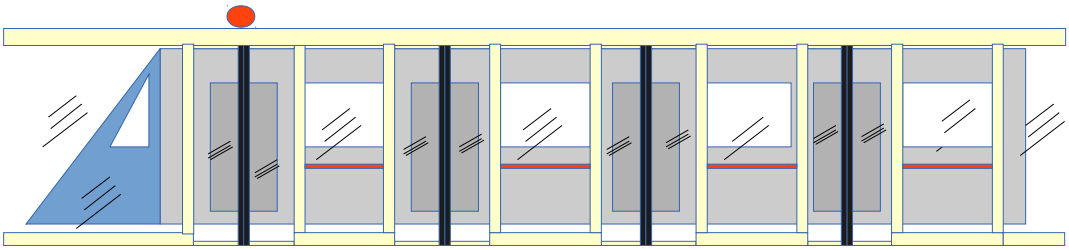


Figura 5 – Parada do trem alinhamento dentro dos limites de + ou -500mm com a PSD.

Com a parada do trem dentro dos limites, o coppilot copiará o estado das portas do trem, se aberta o coppilot abrirá as portas da PSD, se as portas do trem se fecharem o coppilot comandará o fechamento das portas da PSD.

A figura 6 demonstra a abertura das portas do trem em seguida na figura 4 temos a abertura das portas da PSD.

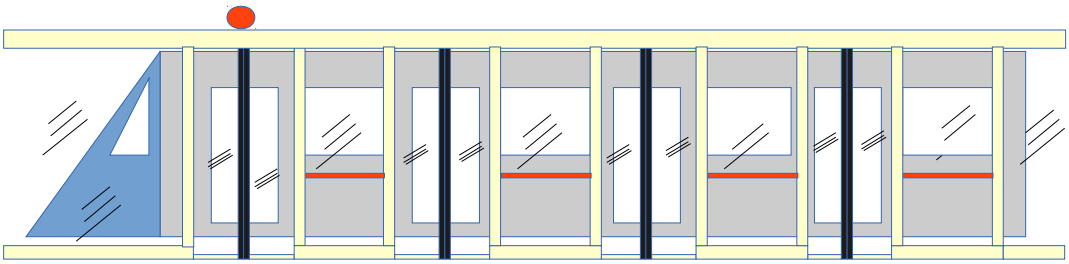


Figura 6 – Trem abre portas após comando do ATO de estação.

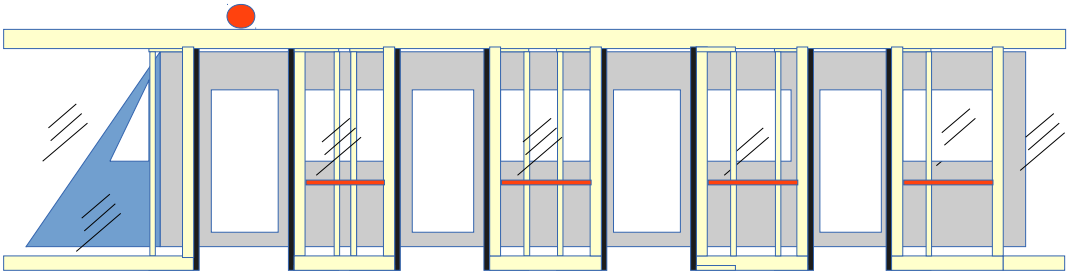


Figura 7 – Após a identificação da abertura da primeira e a ultima porta do trem, o coppilot comanda a abertura das portas de plataforma.

Com as portas da PSD abertas será imposto um código de velocidade de 0Km/h na via, impedindo a movimentação do trem, o código de via que normalmente na plataforma é de 60Km/h somente será normalizado quando as portas do trem e da PSD estiverem fechadas, lembrando que as portas da plataforma só fecharão quando o Coppilot identificar o fechamento das portas do trem.

FALHA NA PARADA DO TREM

Durante o processo Parada Programa do trem nas estações, podem ocorrer desvios que afetem o controle do trem, o ATC fará as devidas correções, mas não há garantias de que o trem se alinhe corretamente à porta de plataforma, em alguns casos parando com limites superiores a detecção do Coppilot, ou seja, acima de + ou – 500mm, neste caso o trem na plataforma abrirá portas ao receber do ATO de estação o comando de abertura de portas, mas a PSD não abrirá as portas por que não haverá a detecção por parte do Coppilot, gerando condição é insegura, pois o trem com as portas abertas, qualquer usuário poderá

acionar os dispositivos de destravamento ou as saídas de emergência da PSD, figura 4 item 5, gerando um transtorno operacional visto que será imposto um código 0Km/h na via que imobilizará o trem até a atuação do agente de estação para verificar o estado das portas e se necessário comandar o fechamento manual de todas as portas da PSD, esta mesma condição se aplica quando o trem avança na parada mais que 500mm.

A figura 8 reproduz um caso em que o trem parou antes, mais que 500mm desalinhado em relação ao centro da PSD.

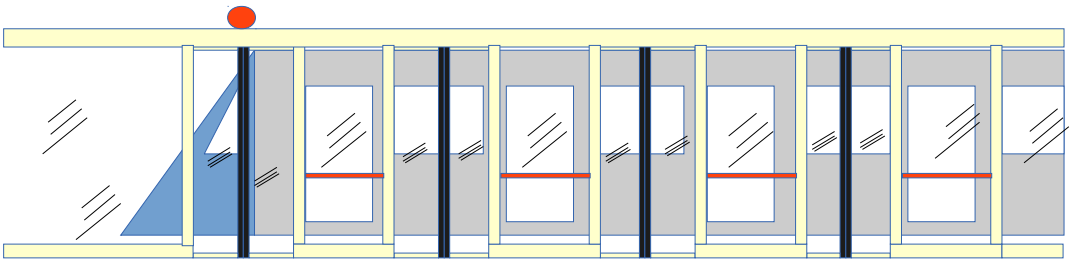


Figura 8 – Trem parou antes, desalinhado com a porta de plataforma da estação.

Após estudos da Engenharia de Material Rodante foi desenvolvido um dispositivo que inibe o sinal de abertura das portas do ATO de estação para o trem e também fornece uma indicação visual ao operador, caso o trem não esteja na região de identificação do Coppilot, eliminando assim as condições inseguras ao usuário, transtornos operacionais e interferências no Headway da via.

SINAPOT - SISTEMA DE INIBÇÃO DA ABERTURA DAS PORTAS DO TREM

O SINAPOT garante, através de sensores e um painel de controle processado (CLP), que o comando de abertura de portas do ATO de estação só será enviado quando o trem estiver dentro dos limites aceitáveis pelo Coppilot da PSD, desta forma quando o trem efetuar uma parada programada, o sinal de portas do ATO de estação só será conectado a antena da plataforma se a parada do trem (PP) estiver no intervalo entre -500mm e +500mm do ponto ideal de parada e assim garantindo os limites de atuação do Coppilot da PSD.

Hoje a frota de trens do metro é composta de vários fabricantes e com isso existem pequenas variações no comprimento dos trens, sendo que a referência do ponto ideal de parada para todas as frotas é o centro da plataforma, coincidindo com centro do engate dos carros 3 e 4. Outro fato é que em relação ao centro da plataforma as diferenças nos comprimentos dos trens são minimizadas.

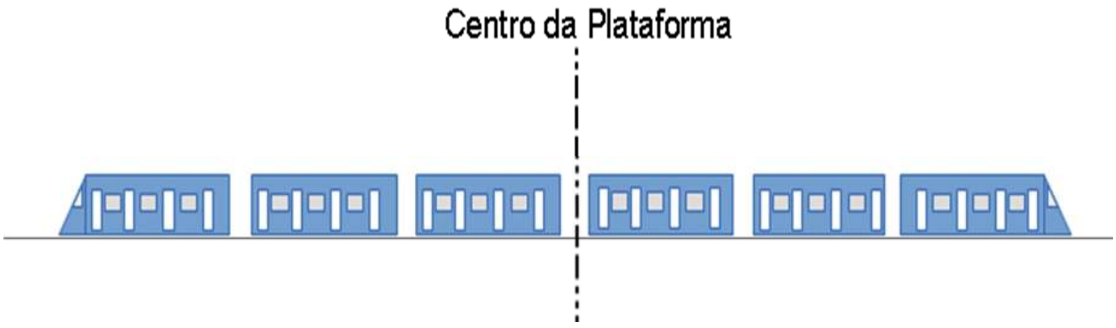


Figura 9 – Centro da plataforma é a referencia para o ponto de parada

Na figura 9 demonstra que o centro da plataforma é a referencia do ponto de parada e deste ponto podemos caracterizar se o trem parou antes ou depois.

As portas de plataforma também tem como referencia o centro da plataforma e o trem parando centralizado estará com suas portas alinhadas com as portas da PSD, e assim as primeiras portas das cabeceiras estarão dentro dos limites de detecção do Coppilot.

O SINAPOT utiliza sensores instalados na plataforma de forma detectar a posição de parada do trem e identificar se o trem parou mais que -500mm (antes), avançou mais de 500mm(depois), caso isto ocorra o SINAPOT bloqueará o sinal de abertura de portas da estação e trem não abrirá portas, mas se o trem estiver dentro dos + ou -500mm do ponto ideal, o SINAPOT irá liberar o sinal de abertura de portas da estação, com a garantia de que as primeiras portas das cabeceiras serão detectadas pelo Coppilot.

O painel do SINAPOT possui um display onde é possível monitorar as entradas dos 4 sensores instalados na plataforma da estação e as saídas responsáveis pelo bloqueio do sinal de portas da estação e o acionamento dos sinaleiros que indicam ao operador do trem o status da parada do trem, também temos contadores internos contabilizam as paradas do trem.

No painel do SINAPOT existem 3 sinaleiras, uma vermelha que indica que o sinal de portas do ATO de estação está bloqueado, ou seja, o trem não abrira portas no modo automático, um sinaleira amarela que indica que o trem efetuou uma parada curta, zona que o sinal de portas estará bloqueado, mas o operador conseguira fazer o alinhamento do trem em manual até o ponto de parada ideal e posteriormente o sinal de portas da estação

será liberado, e uma sinaleira verde indicando que indicando que o trem está na posição correta e o sinal de abertura de portas das estação estará disponível permitindo a abertura e fechamento das portas do trem no modo de condução automática. As da sinaleiras do painel são replicadas em um sinaleiro instalado ao final da plataforma, local de fácil visualização pelo o operador do trem. Também há no painel uma chave de liga/desliga e uma chave de isolação do sistema que quando atuada o SINAPOT continua monitorando as paradas, mas não sinaliza através dos sinaleiros e não bloqueia o sinal de abertura de portas da estação, figura 10 painel e sinaleiro de plataforma.

Figura 10 – Painel de Comando SINAPOT e Sinaleiro da Plataforma

1 – Sinaleiro indicação do sinal de portas da estação bloqueado.

2 - Sinaleiro Indicação de parada antes do ponto.

3 – Sinaleiro indicação de parada dentro do limites de + ou – 500mm do ponto ideal e sinal de portas da estação habilitados.

4 – Acesso ao Display do CLP.

5 - Chave Liga/Desliga.

6 – Chave de isolação.

7 – Sinaleiro da Plataforma.

Na figura 11 mostra a disposição dos 4 sensores instalados na plataforma, os sensores S1 e S2 estão instalados no centro da plataforma/PSD equidistantes 500mm, o sensor S3 está instalado entre a terceira e quarta porta da PSD e o sensor S4 está instalado na saída da plataforma.

O sensor 1 em um primeiro instante detecta a presença do trem na plataforma e bloqueia o sinal de portas, em um segundo instante, que depende do sensor 3, atua em conjunto com o sensor 2 monitorando o ponto de parada do trem por meio da detecção do vão entre os carro 3 e 4 que tem em média 600mm. O sensor 3 é responsável pela detecção do carro1 do trem no inicio da plataforma e a liberação dos sensores 1 e 2 para o monitoramento do ponto de parada. O sensor 4 detecta a partida do trem e efetua a reinicialização no sistema.

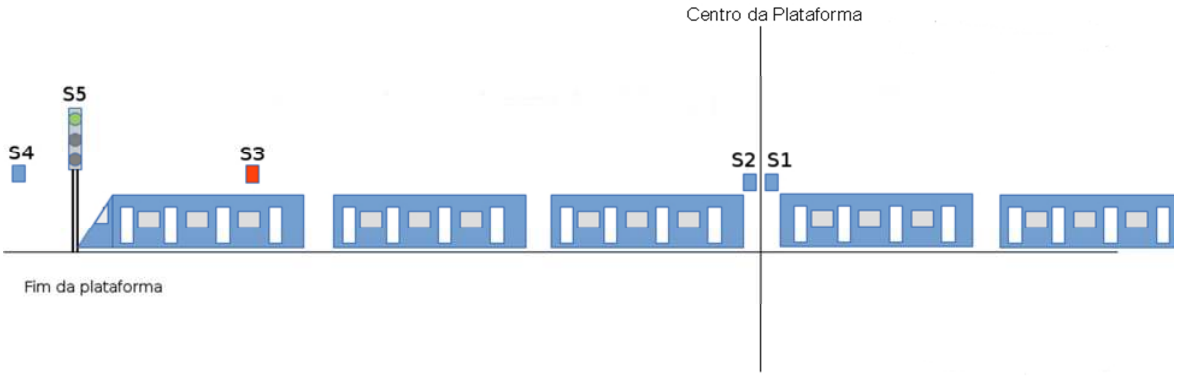


Figura 11 – disposição componentes do SINAPOT na plataforma da estação.

S1 – Sensor 1 instalado a – 250 mm do centro da plataforma

S2 –Sensor 2 instalado a +250mm do centro da plataforma

S3 – Sensor 3 detecta carro 1 do trem no inicio da plataforma

S4 – Sensor 4 instalado no fim da plataforma detecta a partida do trem.

S5 – Sinaleiro da plataforma, indicação visual para o operador do trem.

O SINAPOT atua diretamente no sinal de abertura de portas da estação, na figura 12 temos a representação do desligamento do sinal pelo SINAPOT, nesta condição o trem executará a parada programada normalmente e só abrirá as portas quando o SINAPOT ligar o sinal novamente.

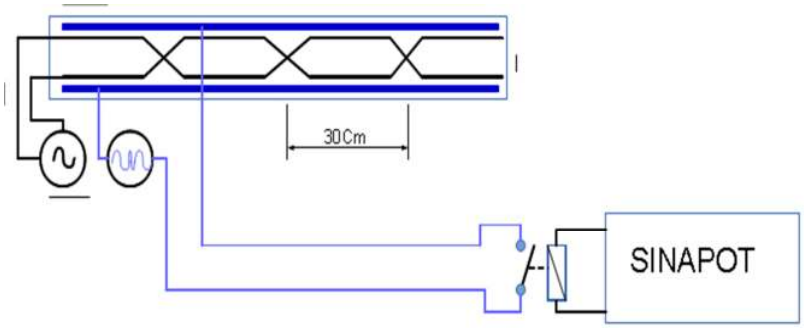
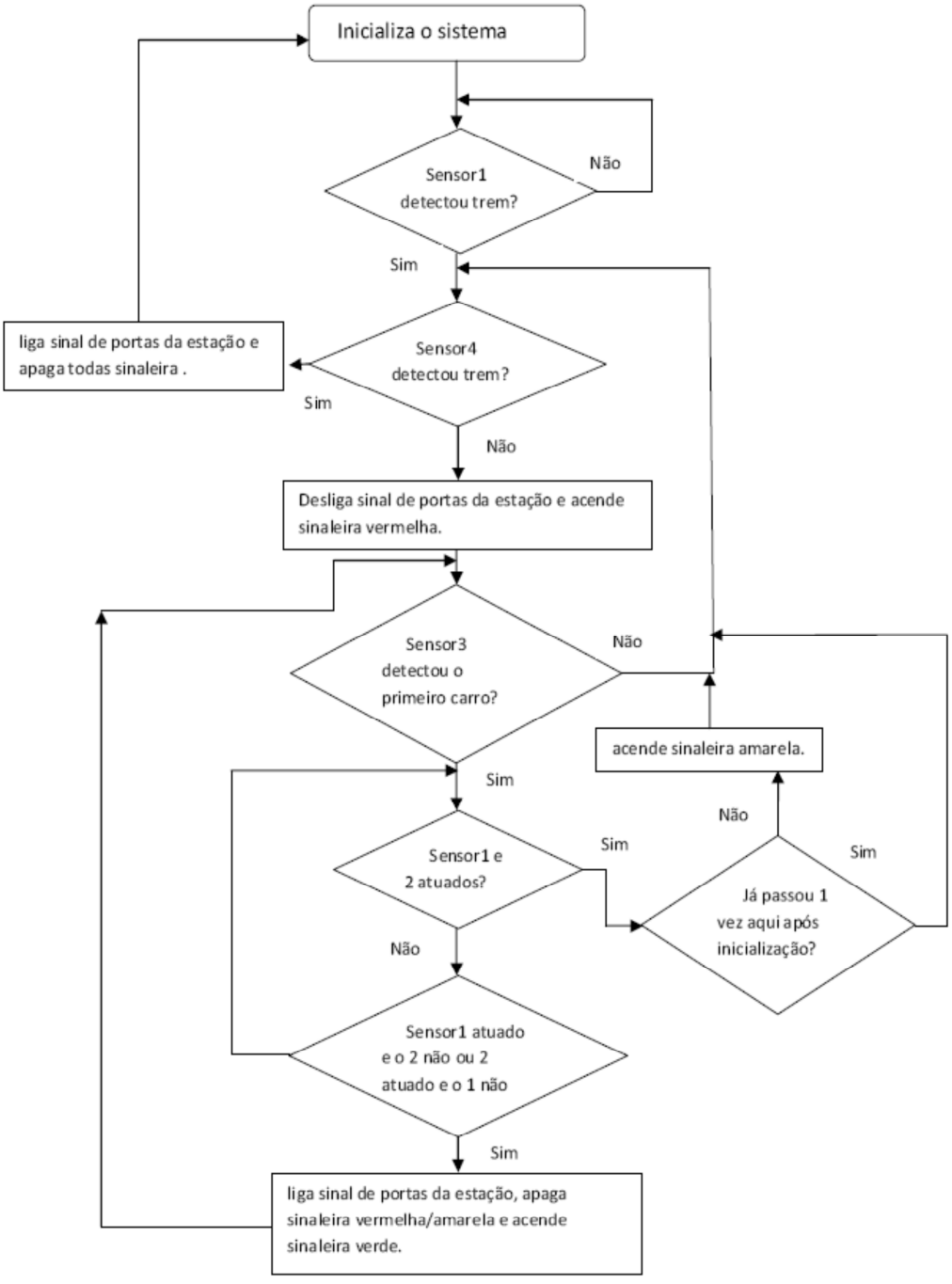


Figura 12 – Atuação do SINAPOT no sinal de abertura de portas do ATO de estação.

FLUXOGRAMA DO FUNCIONAMENTO BÁSICO DO SINAPOT



SEQUÊNCIA DE EVENTOS DO SINAPOT

As figuras abaixo apresentarão uma sequencia de eventos ilustrando uma parada do trem e a atuação do SINAPOT.

Na figura 14, o trem está no processo de parada programada, neste momento os sinaleiros estão apagados e o sinal de abertura de portas da estação está ligado.

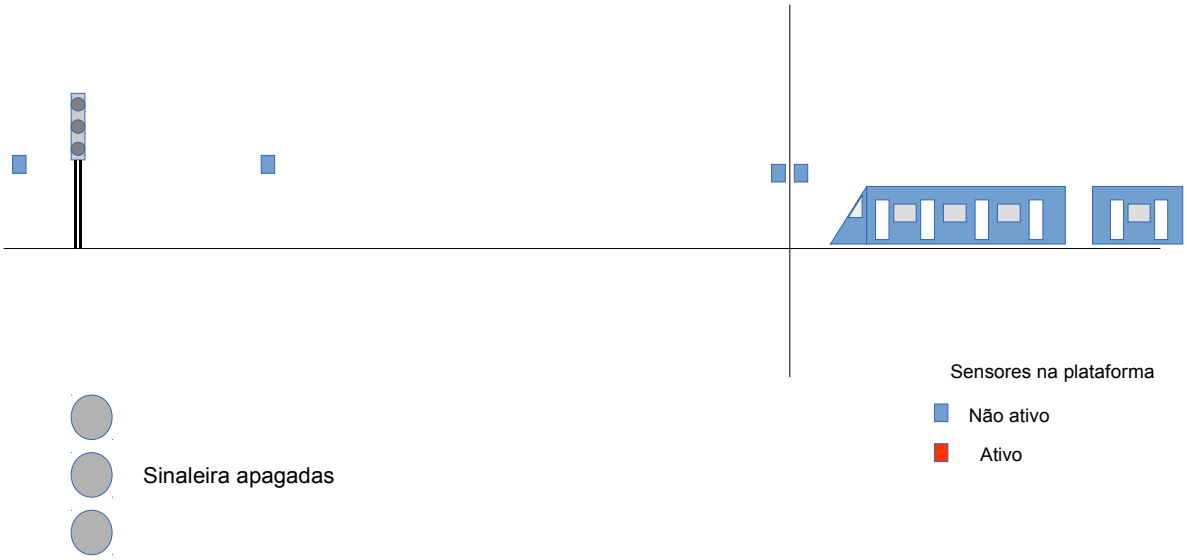


Figura – 14 – Trem entrando na plataforma da estação

Quando o trem passa pelo sensor 1, o sistema desliga o sinal de abertura de portas da estação e acende a sinaleira vermelha indicando ao operador do trem que o trem não abrirá portas na modalidade automática, figura 15.

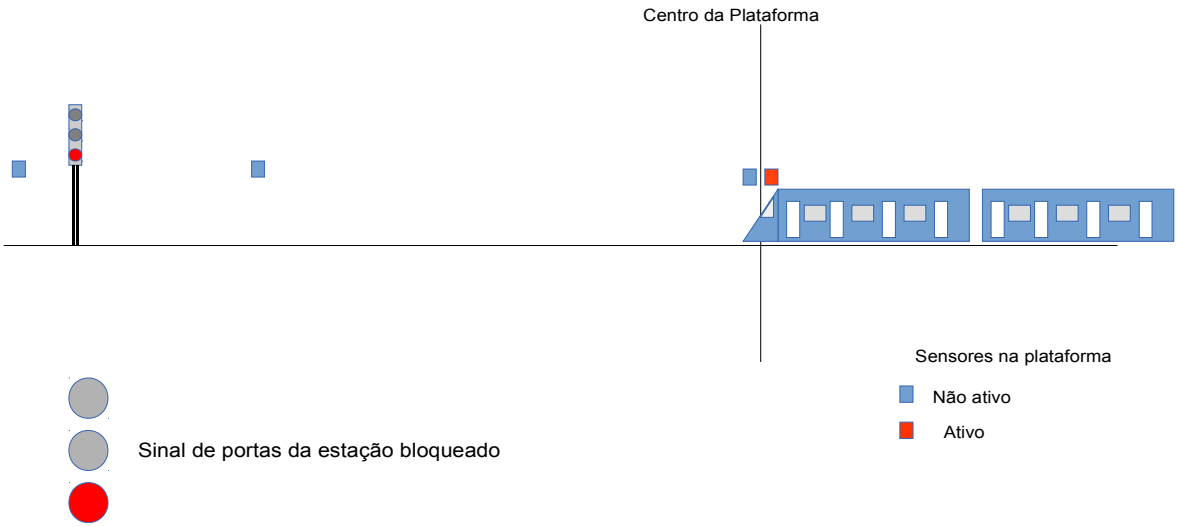


Figura 15 – Trem detectado pelo sensor S1.

O trem passa pelo sensor 2 e o SINAPOT continua atuando no desligamento do sinal de portas da estação, figura 16.

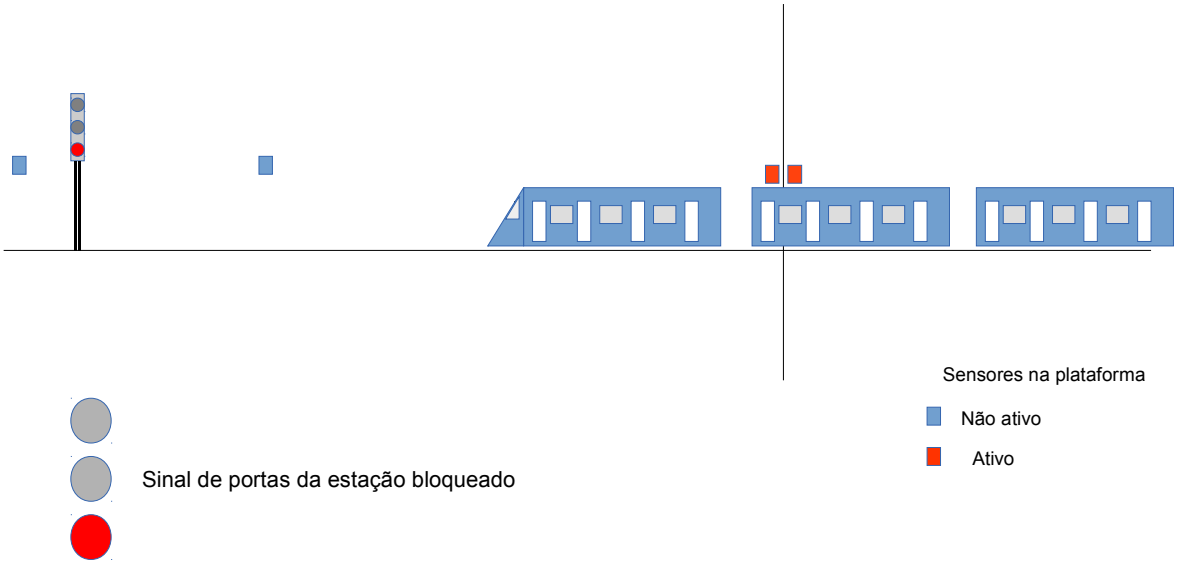
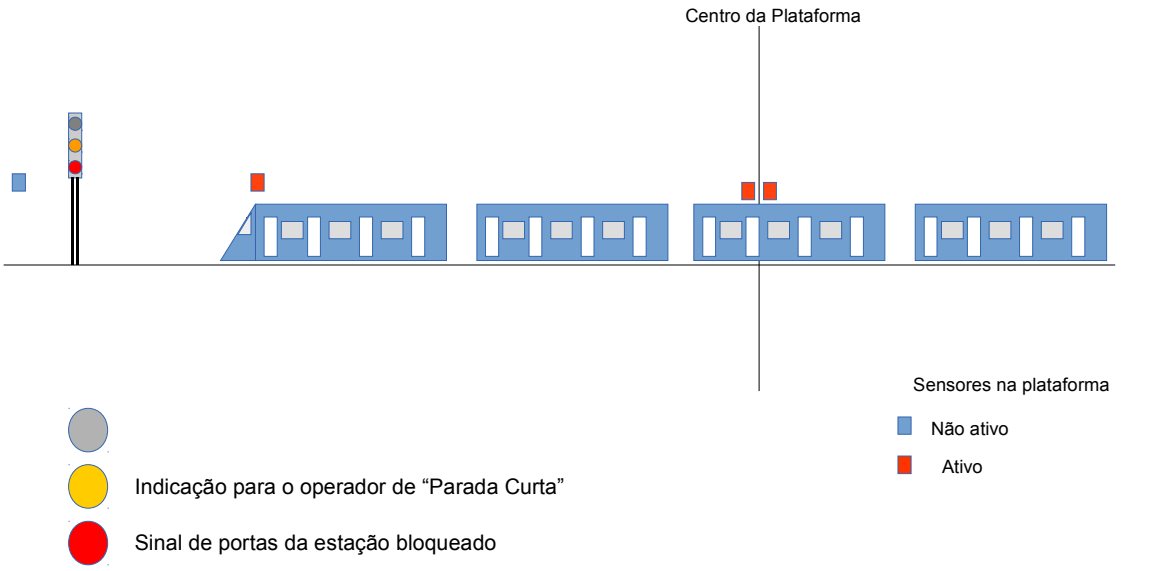


Figura 16 – O trem passa pelo sensor S2 e não há alteração do estado anterior.

Na figura 17, o sensor 3 detecta a presença do primeiro carro do trem e o sinaleiro amarelo acende indicando ao operador que o trem está em uma região antes do ponto ideal, ou seja, mais que 500mm antes do ponto de parada e as portas do trem não se abrirão caso o trem pare, neste caso o operador poderá fazer o alinhamento em manual até o ponto de parada. Os sensores S1 e S2 a partir deste instante irão detectar o vão entre os carros 3 e 4 em relação ao centro da plataforma.



7

Figura 17 – Sensor S3 detecta o primeiro carro do trem e habilita os sensores S1 e S2 para a detecção do vão entre os carros 3 e 4.

Na condição em que o trem para antes, mas dentro dos -500mm os sinaleiros vermelho e amarelos se apagam e o sinaleiro verde acende indicando ao operador do trem que o trem se encontra dentro da região de detecção do coppilot, o sinal de portas da estação é restabelecido e o trem abrirá portas na modalidade automática, figura 18.

Figura 18- Parada do trem dentro dos -500mm, sinal de abertura de portas da estação habilitado.

Na figura 19, temos uma parada do trem com um desvio de + ou – 100mm, sensores S1 e S2 no vão entre os carros 3 e 4, condição ideal de parada.

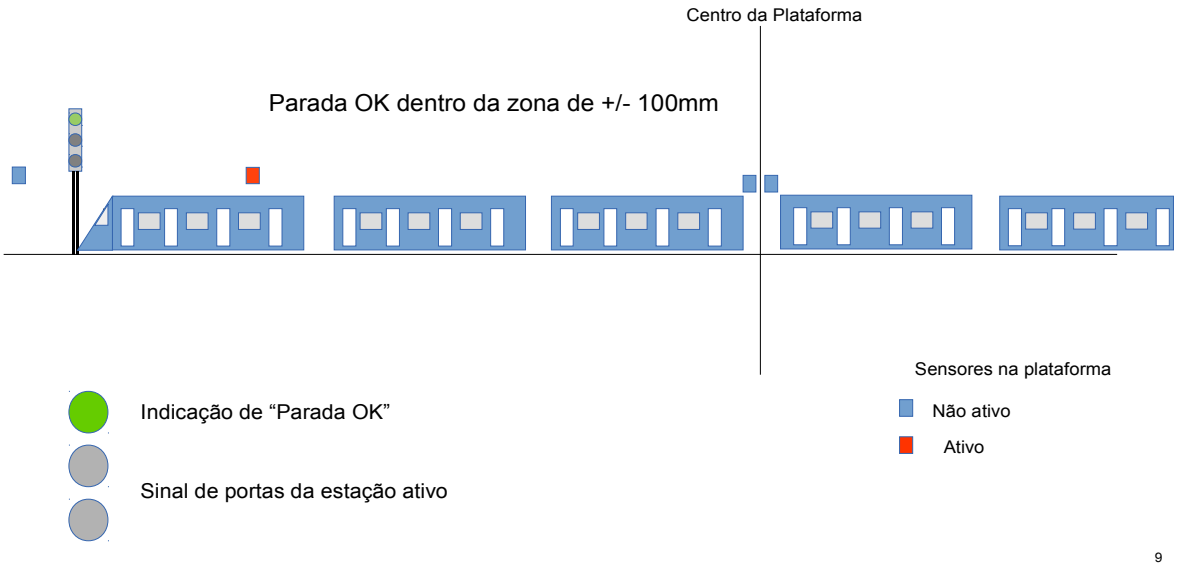


Figura 19 – Parada ideal com variação de + ou – 100mm

Na parada abaixo o trem avançou, mas está dentro dos limite de +500mm, dentro da área de detecção do Coppilot, figura 20.

Figura 20 – Trem avançou a parada mas não ultrapassou os +500mm do ponto ideal.

A figura 21, o trem avançou mais que +500mm, atuando os 2 sensores S1 e S2 do meio da plataforma, a sinaleira vermelha voltará a acender e o sinal de abertura de portas da estação será desligado impedindo a abertura das portas do trem no modo automático.

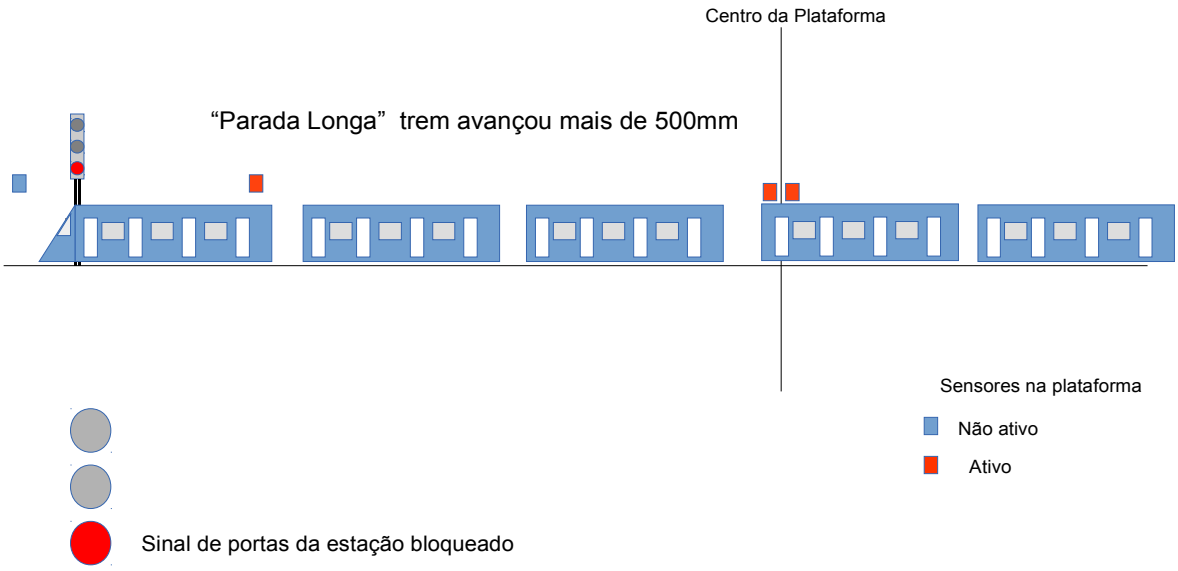


Figura 21 – Trem avançou mais de 500mm do ponto de parada, sinal de abertura de portas da estação bloqueado.

E finalmente temos a partida do trem da estação, o sensor 4 detecta a presença do trem e reinicializa o sistema para detecção da parada do próximo trem.

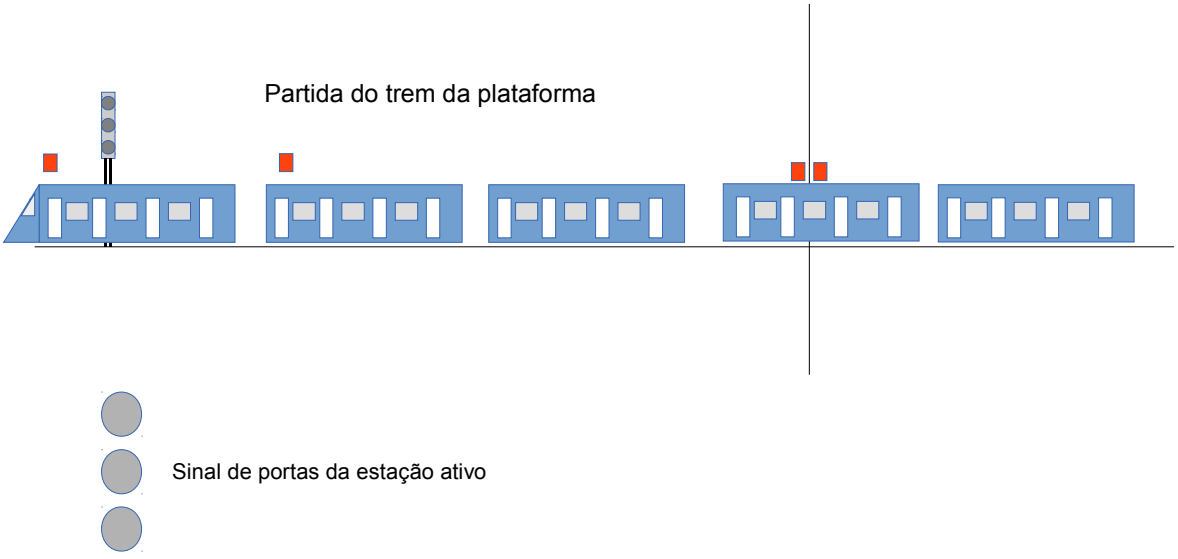


Figura 22 – Partida do trem da estação, sistema reinicializado.

ANÁLISE DOS RESULTADOS

MONITORAÇÃO DAS PARADAS DOS TRENS

Dentre os recursos do software do SINAPOT, que foi desenvolvido pela Engenharia do Material Rodante, foram implementados contadores que contabilizam as paradas do trens na plataforma, sendo possível analisar se os trens estão parando corretamente dentro dos limites de + ou - 500mm.

Abaixo temos a tela do CLP e a indicação dos contadores de parada do trem.

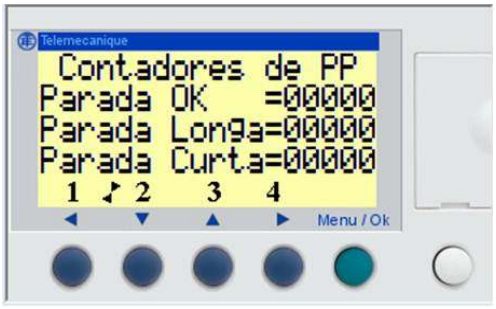


Figura 23– Tela dos contadores de paradas dos trens

Na figura 23, temos o contador de parada OK, este contador contabiliza as paradas que ocorreram dentro dos limites de + ou -500mm, o contador de parada longa indica a paradas que excederão os +500mm e o contador de parada curta para as paradas em que o trem parou antes dos -500mm.

A titulo de exemplo, o total de paradas na Estação de Vila Matilde na via 1 é em torno de 510 paradas /dia, o percentual de paradas longas é de 0,2% e paradas curtas é de 0,35%, totalizando 0,55% de inibição da abertura das portas do trem pelo SINAPOT.

Na figura 24 temos a tela do CLP com um acumulado de 10 dias, paradas OK = 5524, paradas longas = 11 e paradas curtas = 21.

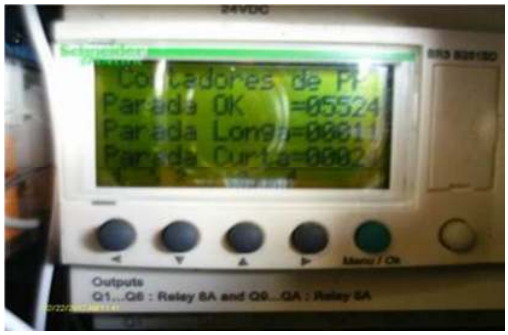


Figura 24 – Contadores de parada do SINAPOT.

A partir destes dados podemos também comprovar os resultados do trabalho da “Melhoria da Precisão das Paradas dos Trens” L (Paulo Sérgio S. Carvalho / Regis Peleggis, AEAMESP 2014).

No gráfico 2 temos os percentuais de ocorrências relacionadas à parada programada e as portas de Plataforma da estação de Vila Matilde via – 1, varias ocorrências são relatadas como: trem para antes do ponto e abre portas ou trem para depois do ponto e abre portas.

A partir janeiro de 2017 entrou em operação o SINAPOT em Vila Matilde Via -1,os dados a partir desta data indicam uma mudança no tipo de ocorrência aberta, pois na sua maioria tratam-se de paradas longas, ou seja , a que o trem avançou mais que 500mm do ponto ideal, mas sem relatos de abertura de portas do trem, isto porque o SINAPOT atuou

na interrupção do sinal de abertura de portas da estação.

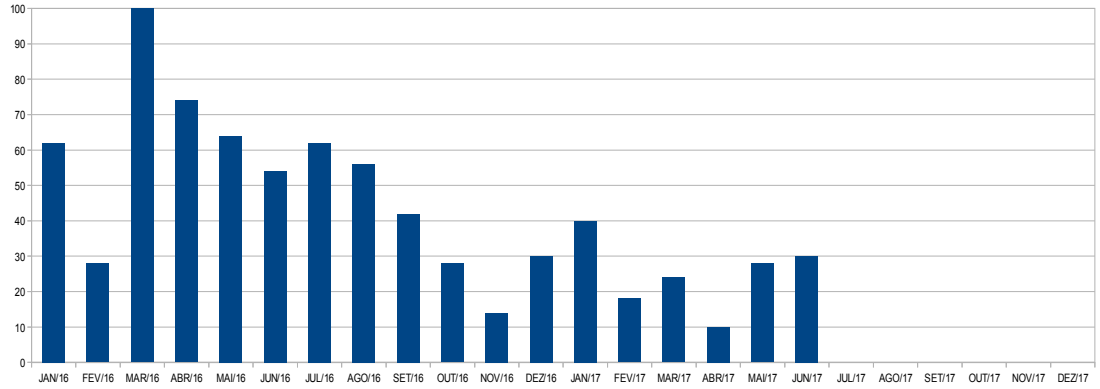


Grafico 2- Percentual de ocorrências de Parada Programada/PSD Estação Vila Matilde Via-1, a partir de janeiro 2017 operação do SINAPOT atuando na inibição da abertura das portas do trem.

*Nota: A diminuição das ocorrências de julho de 2016 em diante, se deve a melhorias no ajuste da Parada Programada executado pela Engenharia do Material Rodante.

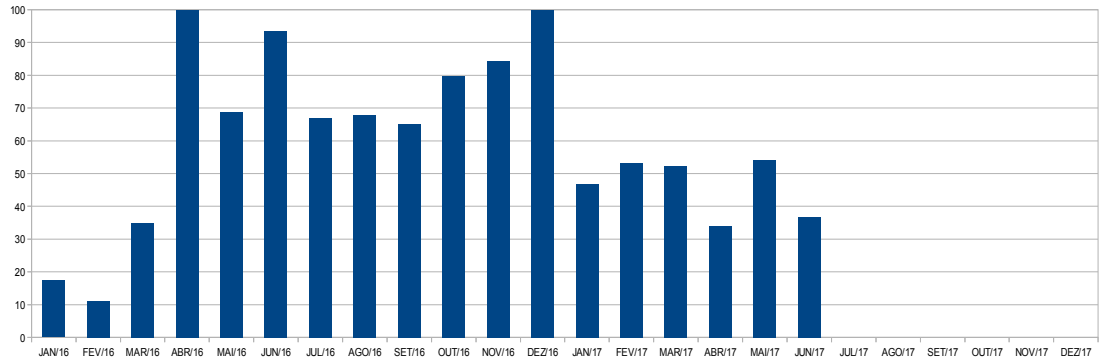


Grafico 3 – Percentual de ocorrências com relação a PSD/Trem.

Após a entrada em operação do SINAPOT em janeiro de 2017, houve uma diminuição das ocorrências que envolvem a PSD / trem.

* Nota: Meados de março de 2016, entrada da operação das PSD's em Vila Matilde.

FOTOS ESTAÇÃO VILA MATILDE

Figura 25 - Porta de Plataforma Estação Vila Matilde

Figura 26 - Instalação do painel do SINAPOT.

Figura 27 - Indicação visual dos sinaleiros e painel do Sinapot

Figura 28 - Trem parado na plataforma portas fechadas e portas da PSD também fechadas , em seguida abertas.

CONCLUSÕES

A principal intenção do conceito do SINAPOT é determinar a correta posição do trem em relação às portas de plataforma da estação e os dados das ocorrências demostram que quando tal situação não é atendida o sistema SINAPOT garante que o trem não abrirá portas em uma região da plataforma que comprometa a segurança dos usuários e a estabilidade da operação do sistema.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Zelio User Guide - Schenaider Eletric -2004

E3Z Photoeletric datasheet - Omron Corp. - 2009

MELHORIA DA PRECISÃO DO PONTO DE PARADA DOS TRENS NAS ESTAÇÕES, NA MODALIDADE ATO, NAS LINHAS 1-AZUL, 2-VERDE E 3-VERMELHA DO METRÔ-SP - Paulo S.S. Carvalho / Regis Pellegis - AEAMESP 2014.