



30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

CATEGORIA 3

IDENTIFICAÇÃO DE PLATAFORMA PARA ABERTURA DE PORTAS DE TRENS DE PASSAGEIROS

1. INTRODUÇÃO

O trabalho aqui apresentado demonstra o protótipo e os testes de um equipamento que auxilia o operador de trens de passageiros na hora de abertura de portas do TUE nas estações. Indicando no painel de abertura de portas o lado que não deverá ser aberto. Evitando, assim, a abertura do lado errado em qualquer modelo de plataforma. Salienta-se que as estações não possuem portas de plataforma.

Os TUEs (Trem Unidade Elétrica) aqui analisados são origem japonesa, eletromecânicos na maioria de seus sistemas, com portas de abertura pneumática e que começaram a operar em 1984. Ao total são 25 composições de 4 carros que podem ser acopladas.

A empresa de transportes de passageiros conta com trens de superfície e tem sua linha na região metropolitana de Porto Alegre. Com 43,8 quilômetros de extensão, passando por 6 municípios, 22 estações com 2 modelos de plataformas. Os testes foram realizados ao longo do segundo semestre de 2023.



30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

O protótipo baseado em Arduino Nano e sensores TOF foi desenvolvido internamente na empresa. Os testes foram realizados no segundo semestre de 2023 e chegaram a um grau de acerto de identificação de plataforma de 85%.

O presente artigo demonstra a construção do protótipo de identificação de plataformas, seus testes e alterações, finalizando com as análises e as conclusões. O artigo está estruturado da seguinte forma: a segunda seção apresenta trabalhos relacionados ao tema de abertura de portas em plataformas; o diagnóstico das necessidades está na terceira seção; a quarta seção demonstra o desenvolvimento do protótipo; a quinta seção detalha os testes realizados; a análise dos resultados dos testes está apresentada na sexta seção, e finaliza com a conclusão.

1.1. OBJETIVO

Auxiliar o operador de trens de passageiros na abertura de portas nas estações. Indicando através de um LED vermelho ao lado do botão de abertura de portas e inibindo pela abertura do circuito, o lado do trem que não identifica a plataforma, e que, portanto, não é permitida abertura de portas. Funcionando tanto na composição simples de 4 carros e quanto na composição acoplada de 8 carros. O sistema deve interagir com o sistema operacional do trem com o mínimo de alterações nos sistemas originais.



30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

2. TRABALHOS RELACIONADOS

Foram realizadas pesquisas em artigos que contenham termos em inglês e em português relacionados a abertura de portas de trens de passageiros em plataformas.

O trabalho apresentado pelo Metrô SP na AEAMESP de 2017 utiliza o PSD (Portas de plataforma) e alinhamento com o ATC. Utiliza um sistema de detecção secundária a laser chamado Copilot. Implementa o SINAPOT - SISTEMA DE INIBIÇÃO DA ABERTURA DAS PORTAS DO TREM [1] que utiliza sensores instalados na plataforma que detecta a posição de parada do trem e identifica o trem parou corretamente na posição central da estação. 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.

No trabalho “*A Precision Stopping Measurement Device for Data Acquisition of Urban Trains*” [2] é apresentado um equipamento de medição de parada precisa (PSMD) a partir de sensores *lasers* instalados na plataforma e de um código de barras instalados nos trens. A informação da posição é enviada via *wireless* para um notebook no trem.



30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Através de câmeras normais e térmicas instaladas nas plataformas, o artigo de OH [3], identifica a presença de objetos entre plataforma e também o posicionamento dos trens através de câmeras normais e térmicas instaladas nas plataformas.

Notou-se que nestes trabalhos encontrados, as estações possuem portas de plataforma. Também foram realizadas pesquisas em trabalhos, fóruns e sites que utilizam o Arduino Nano e os sensores TOF em projetos.

3. DIAGNÓSTICO

Primeiramente, foram definidas as condições de contorno, ou seja, os pontos a serem atendidos para implantar um sistema de identificação do lado de plataforma.

- Identificar o lado da plataforma através de sensores. Podendo ser os sensores no trem ou na plataforma.
- Indicar através de um LED ao lado do botão de abertura. Podendo inibir abertura do lado contrário ao da plataforma.
- Intervir ao mínimo em sistemas do trem. Não precisando certificações ferroviárias para os equipamentos do projeto. Ou intervir o mínimo nas estações.
- Possibilidade de ter comunicação entre as cabines.
- Desenvolver internamente a um baixo custo.



30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Tendo conhecimento sobre sensores TOF e do microcontrolador Arduino, e sabendo que eles atendem às especificações de tamanho, medições de distância e velocidade de processamento, optou-se por utilizá-los no projeto.

4. DESENVOLVIMENTO

Primeiramente, foram feitas inspeções no trem para saber qual o espaço disponível para o equipamento. Definiu-se que uma central de comando poderia ficar nos armários na cabine e os sensores poderiam ser presos nas escadas de acesso às cabines. No painel de comando de aberturas de portas dentro da cabine ficarão os LEDs para indicar qual botoeira não estará habilitada. Da caixa de comando dentro da cabine partirão dois cabos de tamanhos diferentes para chegar nos sensores localizados nas escadas e um cabo para os LEDs de indicação e para abertura do circuito das botoeiras.

Nesse momento decidiu-se por ter duas unidades de controle isoladas em cada cabine. Pois o TUE não conta com um cabeamento para comunicação entre cabines e seu custo seria elevado. Outro elemento importante do projeto é que os relés só entram em funcionamento ao identificar a plataforma. Caso contrário, ou caso haja falha do sistema de identificação, o circuito continua com o seu funcionamento normal, fechado.

**30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA
11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS**

O protótipo foi projetado com uma fonte CC com a tensão disponível no trem [4] e uma chave para desligá-lo. Para que não haja problema na abertura de portas em manobras no pátio de manutenção ou em ocorrências durante a operação.

Partiu-se então para a prova de conceito, montando o sistema em protoboards e fazendo testes estáticos. Um diagrama esquemático do identificador de plataformas, denominado também de inibidor de portas, está demonstrado abaixo.

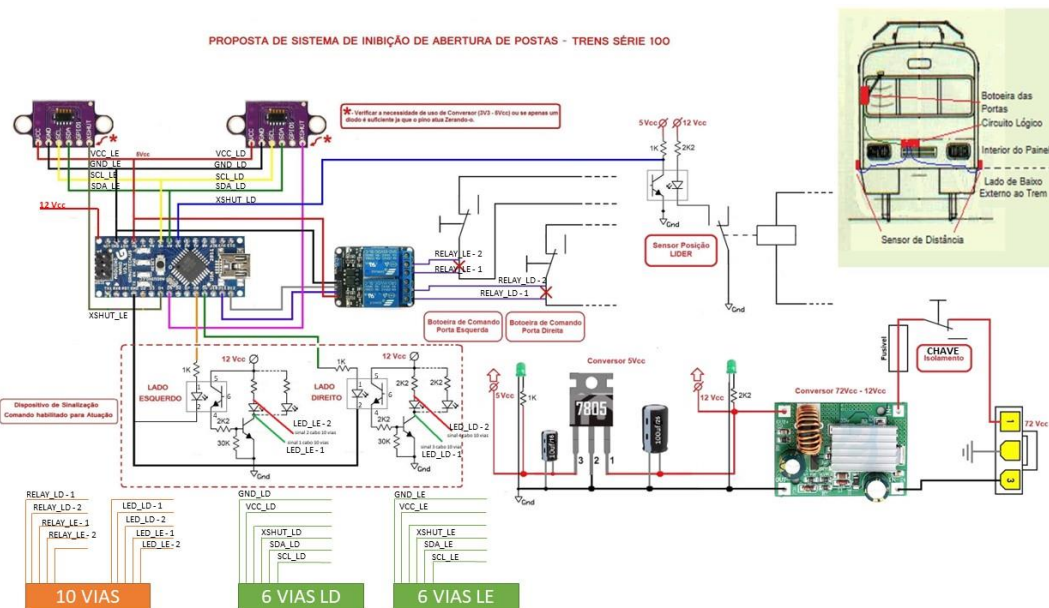


Figura 1 – Diagrama de conexões entre arduino e sensores

Durante o desenvolvimento na protoboard, foram colocadas para teste de vibração no trem durante uma semana, uma caixa de comando na cabine e um sensor nas escadas, para validar também a posição escolhida de ambos. Tendo sucesso na solução proposta

30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

em bancada, partiu-se para o desenvolvimento do protótipo para teste dinâmico do trem.

A montagem do sensor na caixa apresentou um desafio, pois ele precisa ficar protegido de intempéries. Porém, ao colocar uma chapa de policarbonato lisa, o sensor a identificou como objeto e as medições de distância foram comprometidas. Isso se deve ao sensor utilizar dois feixes para identificar objetos. Para solucionar esse detalhe, a placa foi dividida em duas e fixada na metade do sensor. Para evitar a entrada de partículas, as placas foram colocadas e coladas com selante de polímero.



Figura 2 – Caixa do sensor TOF com a placa dividida

Além disso, por conta do feixe do sensor, da posição do módulo dentro da caixa (vertical ou horizontal) e da fixação nas escadas, foram criados três modelos com rasgos diferentes: quadrado, horizontal e vertical.

30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS



Figura 3 – Caixa do sensor TOF com a placa dividida e os 3 modelos: quadrado, horizontal e vertical

O conjunto do protótipo desenvolvido possui:

- Uma unidade de controle que contém: arduino Nano, fonte CC-CC, optoacopladores e dois relés;
- Três caixas com módulos sensores TOF VL53L0X com alcance de 2 metros;
- Dois cabos padrão aéreo para comunicação com os sensores e um cabo para comunicação com o painel do trem.

Abaixo estão imagens da construção de um conjunto de protótipo completo.

30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS



Figura 4 – Conjunto da caixa de comando e dois sensores



Figura 5 – Conjunto de cabos

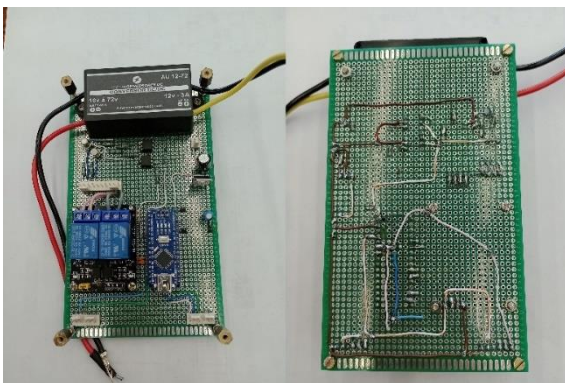


Figura 6 – Placa de comando do sistema

Validado o protótipo em bancada, o mesmo foi colocado para teste nos trens sem passageiros.



30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

5. TESTES

Foram realizados 4 testes ao longo do segundo semestre de 2023. Os testes tinham como objetivos observar a identificação de objetos nos trechos entre plataformas e por consequência falsos positivos, e medir a distância entre os trens e as plataformas. Foi testado nas duas vias, parando em todas as estações, durante a operação comercial. Emulando a velocidade de entrada na estação, parada na ponta das plataformas e tempo de abertura de portas. Foi utilizado sempre o mesmo trem e a mesma cabine norte (MB).

Após cada teste foram feitas alterações no código e na posição dos sensores na cabine.

Como não foi utilizado um sistema de GPS para a geolocalização na via, foi criado um código em Python, comunicando via serial, para salvar as distâncias medidas e o horário.

Em uma planilha anexa, foram anotados os horários e os trechos da via para depois juntar as informações de localização e as distâncias. Na tabela 1 a seguir estão demonstrados os modelos de teste.



30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Tabela 1

| Data do teste | Altura do sensor | Sensor 1 | Sensor 2 |
|----------------------|-------------------------|-----------------|-----------------|
| 20/09/2023 | Próximo ao piso | Horizontal | Vertical |
| 10/10/2023 | A 1,5cm do piso | Vertical | Quadrado |
| 18/10/2023 | Próximo ao piso | Vertical | Quadrado |
| 06/12/2023 | Rente ao piso | Vertical | Quadrado |

Para a visualizar melhor as distâncias entre o trem e as plataformas, foi criado uma régua de LEDs que indicava as medições a cada 10cm. Durante os testes, o módulo de relés foi desligado já que não estaria ligado ao sistema do trem. Por praticidade, os LEDs indicativos de qual porta será inibida, não se utilizou o cabo de comando. Sendo os mesmos ligados diretos no conector da placa de comando.

30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

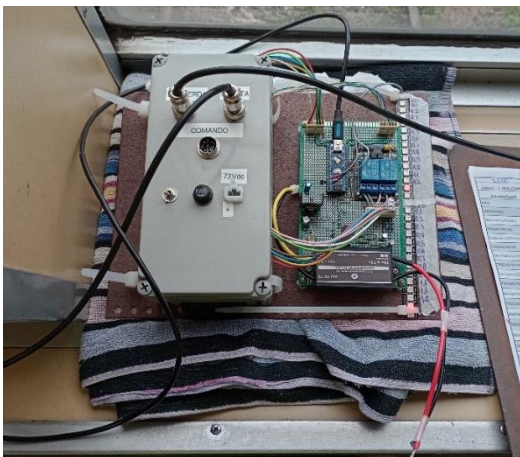


Figura 7 – Protótipo com a placa de comando fora da caixa e régua de LEDs

6. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Como mencionado anteriormente, após cada teste foram feitas alterações nos sensores, modelo ou posição, ou no código. Os tipos de sensores e fixação dos mesmos estão descritos no capítulo anterior. Foram fixados através de cintas plásticas e escolhido um local que não precisasse de cortes ou furações. Os sensores fazem uma média de 30 leituras antes de validar o valor da distância medida. No total são 88 locais contabilizados: trechos entre as estações, plataformas e vias de manobra.

No teste 1, a identificação da plataforma estava em 50cm, ou seja, se um sensor identificava algum objeto a menos de 50cm, o LED do lado oposto acendia. Caso os dois sensores identificassem objetos a menos de 50cm, os dois LEDs acendiam.

No primeiro teste foram avaliados trechos e estações. Elas foram avaliadas quanto a identificação de objetos e acendimento dos LEDs de inibição em 7 critérios:



30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

- **OK** - Leitura média abaixo de 50cm
- **NOK** - Leitura média sem padrão
- **Acima** - Leitura média acima de 50 cm
- **Instável** - Demorou para estabilizar a média 50 cm, pode ser trem, plataforma ou via
- **Crônico** - Identificou objeto do lado oposto sem inibir porta no lado da plataforma
- **Crítico** - Identificou objeto do lado oposto e inibiu porta no lado da plataforma

Abaixo estão os percentuais calculados no teste 1 por critérios.

Tabela 2

| Critérios | Percentual |
|-----------|------------|
| OK | 68,18% |
| NOK | 1,14% |
| Acima | 11,36% |
| Instável | 1,14% |
| Crônico | 10,23% |
| Crítico | 7,95% |



30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Após o primeiro teste, foram feitas algumas alterações no projeto: utilizar sensores no sentido vertical, pois o horizontal não estava identificando a plataforma; alterar a distância média para 70cm, pois em algumas estações a via estava mais afastada da plataforma ou a estação não tinha um anteparo suficiente para ser identificada; e comparar a distância dos dois sensores e inibir o lado contrário da média maior.

No teste 2 por conta de os sensores estarem abaixo do piso em 1,5cm, as medições da plataforma foram muito comprometidas e os resultados estão na próxima tabela.

Porém, serviu para notar que nem todas as lajes das plataformas são iguais no seu ponto de parada na extremidade.

Tabela 3

| Crítérios | Percentual |
|------------------|-------------------|
| OK | 76,14% |
| NOK | 0,00% |
| Acima | 0,00% |
| Instável | 1,14% |
| Crônico | 14,77% |
| Crítico | 6,82% |



30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

No teste 3 os sensores utilizados foram na vertical e quadrado e próximos ao piso. A fixação fica totalmente nas escadas. Como o laço de abertura de portas já inibe a abertura em movimento, não tem necessidade de avaliar os trechos entre estações. Os critérios também foram reduzidos para 3, pois as situações críticas e crônicas foram alinhadas com as situações NOK ou Instável após as modificações. Os percentuais de acerto podem ser vistos na tabela 4.

Tabela 4

| Critérios | Percentual |
|------------------|-------------------|
| OK | 79,55% |
| NOK | 6,82% |
| Instável | 13,64% |

No teste 4 foram utilizados os mesmos sensores do teste 3, porém a aleta da caixa do sensor foi colocada o máximo possível para dentro do trem, de maneira que o sensor ficasse com o rasgo o mais próximo ao piso. Já deixando a fixação totalmente nas escadas e passando um pouco para a saia do trem. Com as aletas ficando na posição vertical. O que dificultou a sua fixação, porém não afetou a leitura das distâncias. Na figura abaixo o comparativo entre a fixação dos sensores.

**30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA
11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS**

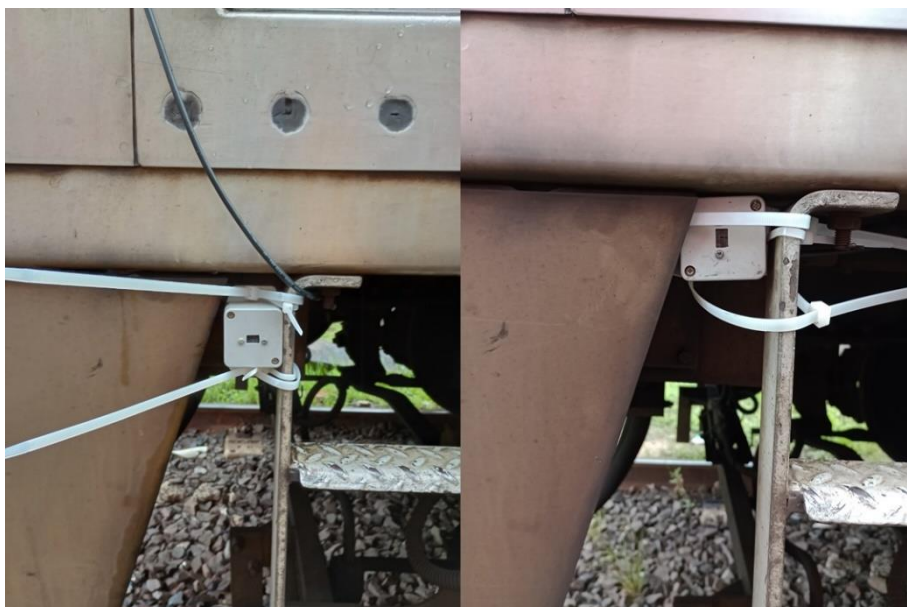


Figura 8 – Fixação do sensor no teste 1, 2 e 3 (E); Fixação do sensor no teste 4 (D)

Na tabela a seguir estão os percentuais de cada critério.

Tabela 4

| Critérios | Percentual |
|------------------|-------------------|
| OK | 92,55% |
| NOK | 0,00% |
| Instável | 7,95% |

Ao final no quarto teste todas as plataformas nas duas vias foram identificadas. Mesmo que intermitentemente. Abaixo está uma figura comparativa da evolução das leituras

30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

de uma estação ao longo dos quatro testes. A linha em azul representa o acendimento do LED e a linha laranja as médias das distâncias.

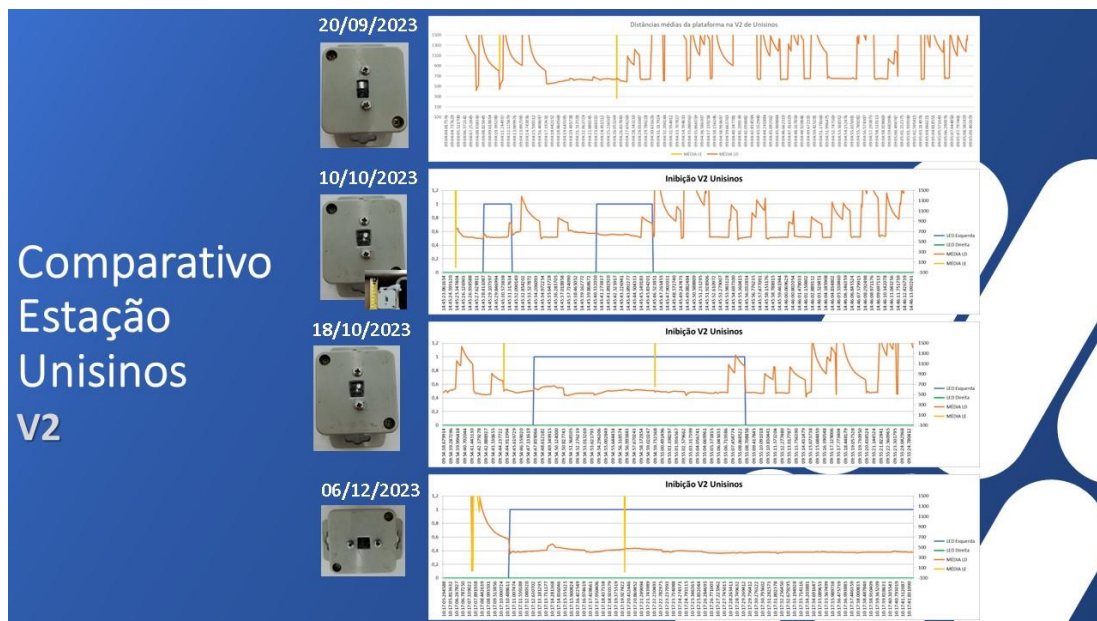


Figura 9 – Comparação das leituras e médias da estação Unisinos na V2

Voltando aos pontos do diagnóstico:

- Identificar o lado da plataforma através de sensores. Podendo ser os sensores no trem ou na plataforma. Atendido. Sensores ficaram no trem.
- Indicar através de um LED ao lado do botão de abertura. Podendo inibir abertura do lado contrário ao da plataforma. Atendido. Sistema de indicação funciona e a inibição pode ser habilitada.
- Intervir ao mínimo em sistemas do trem. Não precisando certificações ferroviárias para os equipamentos do projeto. Ou intervir o mínimo nas estações.



30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Atendido. O projeto desenvolvido está isolado dos sistemas do trem, exceto se colocar os relés no acionamento das botoeiras.

- Possibilidade de ter comunicação entre as cabines. Não atendido. Necessário passar cabeamento e o atual projeto atende à identificação da plataforma.
- Desenvolver internamente a um baixo custo. Atendido. Desenvolvido internamente e materiais no valor de R\$500 por cabine.

7. CONCLUSÕES

Se conclui que o projeto teve evolução na identificação de plataformas ao longo do seu desenvolvimento e que, com modificações nas estruturas das plataformas, pode ser colocado primeiramente como indicativo de lado de abertura, e posteriormente como inibição de abertura.

Das 44 paradas, cada estação com via 1 e via 2, no último teste teve 37 situações que identificou corretamente a plataforma. O tempo médio para o acendimento dos LEDs foi de 3s e antes da parada total do trem. Das 7 situações restantes, que representam 5 estações, elas ficaram instáveis, ou seja, leram, mas não estabilizaram as medições e não acenderam os LEDs de inibição. Nesses casos se sugere instalar algum anteparo na parte inferior da plataforma. Pois, pelas medidas, o sensor não tem anteparo do tamanho suficiente para identificar a plataforma como objeto. Durante a execução dos



30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA **11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS**

testes, notou-se que as lajes das plataformas são de espessura e profundidade diferentes umas das outras. Isso influencia bastante nas medições.

Para trabalhos futuros cita-se a necessidade de uma fixação correta para os sensores e colocação de anteparos nas estações para que se tenha uma situação de funcionamento completo do sistema quando em operação comercial.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] W. L. Menezes, P. S. S. De Carvalho, C. A. C. Lopes, N. Silva, "SINAPOT – SISTEMA DE INIBIÇÃO DA ABERTURA DAS PORTAS DO TREM", 23ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA, METRO-SP, São Paulo, 2017, 32p.

[2] M. -T. Ha, C. -G. Kang, H. -Y. Kim and T. H. An, "A precision stopping measurement device for data acquisition of urban trains," *2014 14th International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS 2014)*, Gyeonggi-do, Coréia do Sul, 2014, pp. 726-729, doi: 10.1109/ICCAS.2014.6987874.

[3] S. -C. Oh, S. -H. Park and C. -M. Lee, "Railway platform monitoring system using stereo vision algorithm for passenger's safety," *INTELEC 2009 - 31st International Telecommunications Energy Conference*, Incheon, Coréia do Sul, 2009, pp. 1-4, doi: 10.1109/INTLEC.2009.5351903.



30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA
11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

[4] Manual de manutenção VOL IV Equipamento elétrico principal. Trem-Unidade elétrico Série 100. 1984. Nippon Sharyo Seizo Kaisha, LTD. Hitachi LTD. Kawasaki Heavy Industries.