

### CATEGORIA 3

## DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA PARA IDENTIFICAÇÃO E ALERTA DE RESTRIÇÕES DE SEGURANÇA NA VIA PERMANENTE

### INTRODUÇÃO

As placas regulamentadoras de advertência são responsáveis por informar os operadores de trem sobre situações que exigem cautela na condução da composição. Geralmente, este tipo de placa apresenta o formato de losango, cujos quatro lados possuem igual comprimento de 50cm. Os algarismos, letras, símbolos e tarjas são pintados ou escritos com fita refletiva amarela. O fundo do lado da advertência, assim como o verso da placa e seu suporte, é, obrigatoriamente, pintado de tinta preta fosca, com alguns casos especiais.

Por exigência do ROF (Regulamento de Operação Ferroviária) da Estrada de Ferro Carajás, toda intervenção na via por parte da manutenção exige a instalação de placas de sinalização de “Homens Trabalhando” (Figura 1). O mesmo se aplica quando é

imposto uma determinada restrição de velocidade na via por motivos diversos, exigindo a instalação de bandeiras de sinalização de “Restrição de Velocidade” (Figura 2).



Figura 1 – Placa de Homens Trabalhando

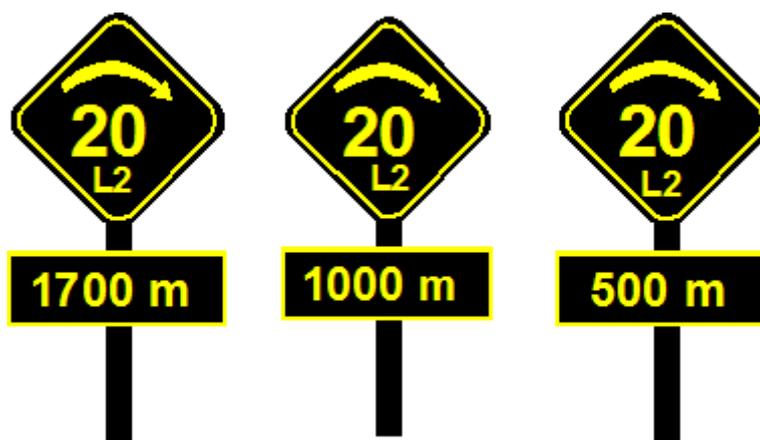
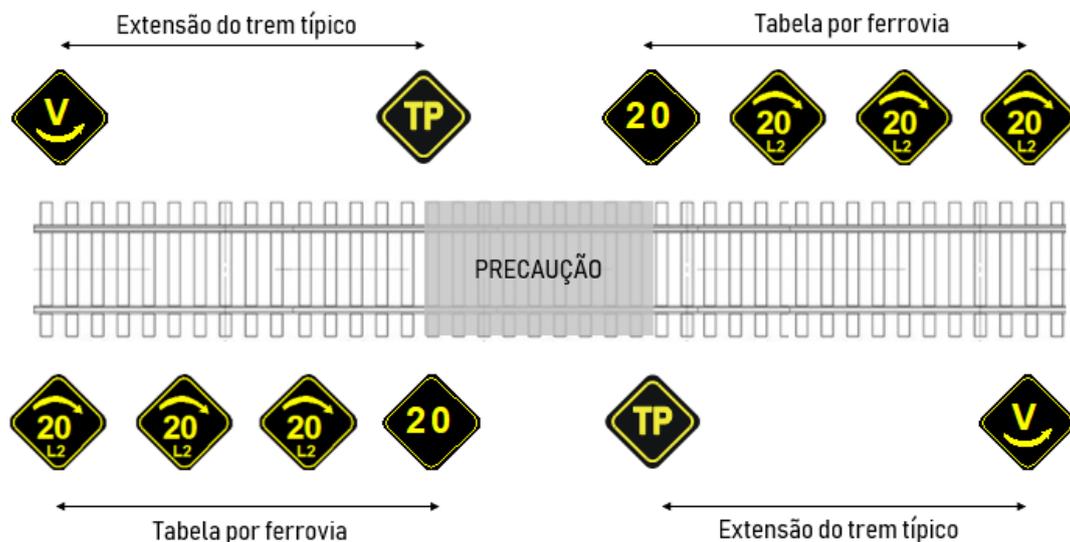


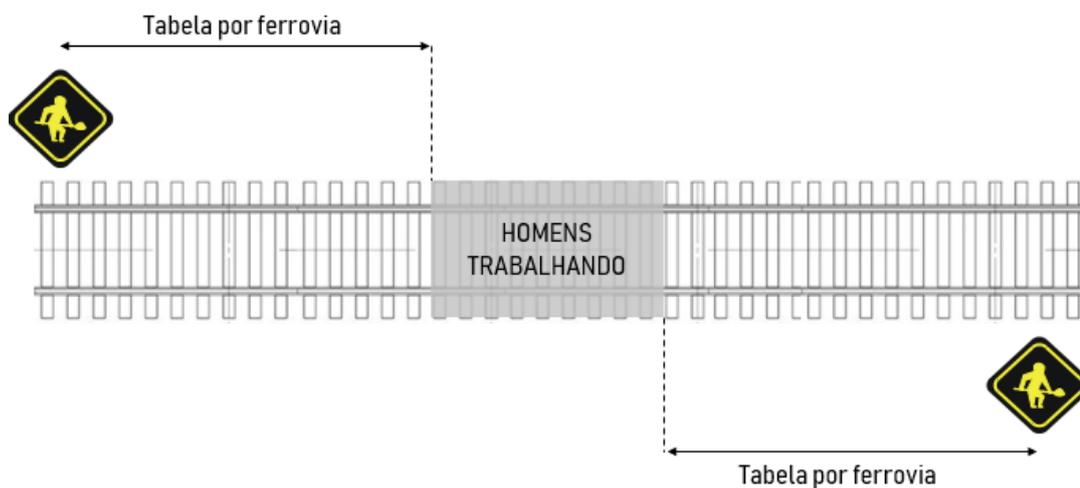
Figura 2 – Placa de Redução de Velocidade

No caso de uma restrição de velocidade, são posicionadas, obrigatoriamente, três placas com um espaçamento específico que varia de acordo com o padrão de cada ferrovia em ambos os lados da via. A Figura 3 exemplifica quando uma restrição de velocidade é imposta em um determinado trecho.



**Figura 3 – Posicionamento das bandeiras de Restrição de Velocidade**

A restrição de “Homens Trabalhando” é sinalizada apenas com uma placa de cada lado da via. A Figura 4 ilustra o posicionamento das placas quando uma restrição de homens trabalhando é imposta em um trecho específico.



**Figura 4 – Posicionamento das bandeiras de Homens Trabalhando**

Devido ao alto índice de vandalismo atribuído aos constantes furtos e desfiguração das bandeiras de sinalização, a ausência ou dificuldade de identificação dessas bandeiras, seja por descaracterização, chuva ou neblina, ocasiona o não

atendimento à precaução por parte do operador de trem. Este problema gera uma alta probabilidade de ocorrências ferroviárias pois pode fazer com que o trem circule em um determinado trecho, que apresenta degradação da via férrea, em uma velocidade superior ao definido pela equipe de manutenção.

Para contornar o problema de não atendimento às precauções e restrições no momento da circulação, as equipes de engenharia e confiabilidade da empresa Vale S.A. desenvolveram um equipamento de bordo com o objetivo de emitir alertas sonoros e visuais para o operador do trem, referentes a restrições de velocidade impostas à circulação relacionadas com a degradação da via férrea, como também emitir alertas de homens trabalhando. De posse destas informações, o operador do trem deverá efetuar o atendimento ao alerta específico, reduzindo a velocidade do trem ao limite de restrição de velocidade imposto e/ou efetuar o acionamento da buzina.

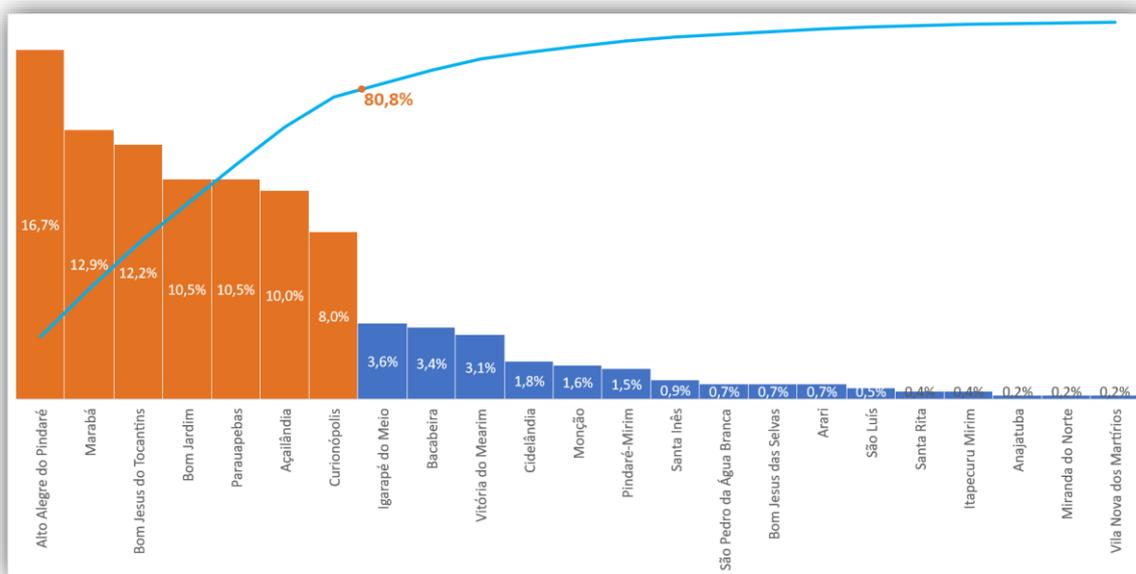
## DIAGNÓSTICO

A não identificação das placas de sinalização pode acontecer das mais variadas maneiras, seja por desgaste natural, descaracterização, furto, vandalismo e condições climáticas. A Figura 6 ilustra alguns desses casos em situações distintas.



Figura 6 – Placas de sinalização vandalizadas ou descaracterizadas

Apenas em 2019, a comissão de prevenção e investigação de acidentes da Vale S.A. já registrou 551 ocorrências de vandalismo em placas de sinalização gráfica auxiliar na Estrada de Ferro Carajás. O gráfico exibido na Figura 6 indica as localidades de maior ocorrência de problemas relacionados as placas de sinalização.



**Figura 6 – Ocorrência de vandalismo de placas de sinalização na EFC**

É extremamente importante que, mesmo em casos em que as placas de advertência não estejam presentes na via ou não possam ser visualizadas por algum motivo, o operador de trem seja capaz de receber as informações sobre o tipo de restrição e realizar os procedimentos de segurança de forma adequada.

Dessa forma, as equipes de Engenharia e Confiabilidade da empresa Vale S.A. foram desafiadas a desenvolver um sistema que funcione de forma independente às placas de sinalização, cuja não identificação das mesmas não impactem a operação ou ocasionem ocorrências ferroviárias.

A solução de engenharia para o problema em questão foi o desenvolvimento de um equipamento de bordo capaz de se comunicar com um leitor de transponder presente em todas as locomotivas que transportam minério e passageiros na Estrada de Ferro Carajás. Este equipamento recebeu o nome de APS, cuja sigla significa Alerta de Procedimento de Segurança.

Para o completo entendimento do princípio de funcionamento do APS, é necessário descrever a função do leitor de transponder, a forma com que a odometria (localização) da composição é realizada na ferrovia e a arquitetura do equipamento de controle automático do trem, onde o modelo de funcionamento possibilitou o desenvolvimento desse dispositivo inovador, visto que a fonte de informações parte do mesmo meio físico.

## **CONTROLE AUTOMÁTICO DO TREM**

As locomotivas que compõem os trens de minério e passageiros utilizam um equipamento denominado ATC (Automatic Train Control) nas operações da Estrada de Ferro Carajás. Segundo o Branch and Jasb (2015), o ATC é um equipamento de bordo que se comunica com o sistema de sinalização e decodifica sinais de velocidade máxima permitida, garantindo a condução segura das composições ferroviárias dentro dos limites de velocidade estabelecidos pelos equipamentos de sinalização de via, que utilizam os trilhos para o envio de sinais de corrente.

Os modelos de ATC atualmente utilizados pela Vale são o Ultra-Cab II (Figura 7) e ATCL188, fabricados pelo segmento de sinalização da empresa francesa Alstom.

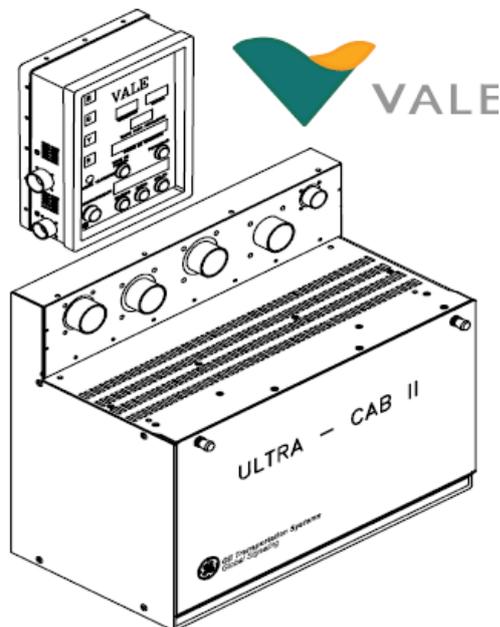


Figura 7 – Equipamento de bordo ATC Ultra-Cab II. Retirado de [3].

Para decodificar outras informações específicas da via, o ATC recebe dados de dispositivos instalados em pontos estratégicos na via, denominados transponder (Figura 8). O transponder é um dispositivo passivo, capaz de registrar até 120 bits de dados (20 caracteres ASCII), que são gravados pela equipe Vale seguindo um padrão previamente definido, conforme exemplo mostrado na Figura 9.



Figura 8 – Transponder utilizado pela EFC

0	15	16	30	31	45	46	60	61	75	76	95	96	102	103	104	105	106	108	109	110	111	113	114	116	117	119
CRC-16	A	C	B	D	Tag	Loc	0010011 (tag type)	1	0	0	G1	1	0	G2	G3	No data available input all 1s										

Figura 9 – Exemplo de estrutura de dados gravados no transponder. Retirado de [3].

Em geral, são gravadas no transponders informações como odometria (posicionamento quilométrico), limites das seções de bloqueio nas direções mina ou porto, e inclinação de via para que o ATC determine a curva de frenagem mais adequada. Os transponders fixos são montados no interior dos dormentes com uma base metálica, onde são lidos por um sistema de leitura de transponder, que possui um *hardware* embarcado na cabine e uma antena posicionada no chassi inferior da locomotiva. Um esquema típico de montagem pode ser observado na Figura 10.

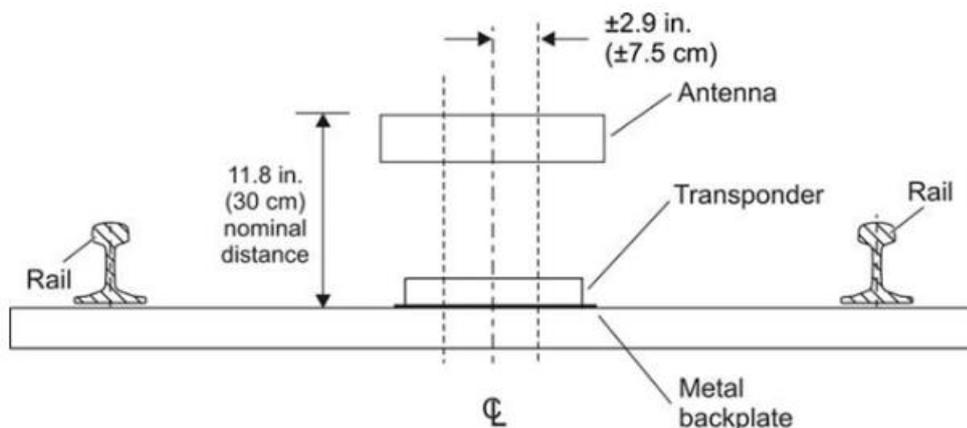


Figura 10 – Posição da antena e montagem do transponder. Retirado de [2].

O *hardware* de leitura envia as informações gravadas no transponder para o ATC por meio de uma interface serial RS-232. Como pode ser observado na Figura 11, os dados lidos no transponder são transmitidos por dois pinos distintos, sendo que um deles pode ser utilizado para comunicar com dispositivos externos. Caso o ATC receba

dados de leitura que não seguem o modelo de estrutura de mensagem utilizado pela Vale S.A., esta é simplesmente descartada, sem gerar nenhum tipo de prejuízo ao funcionamento do equipamento ou afetar a condução do trem.

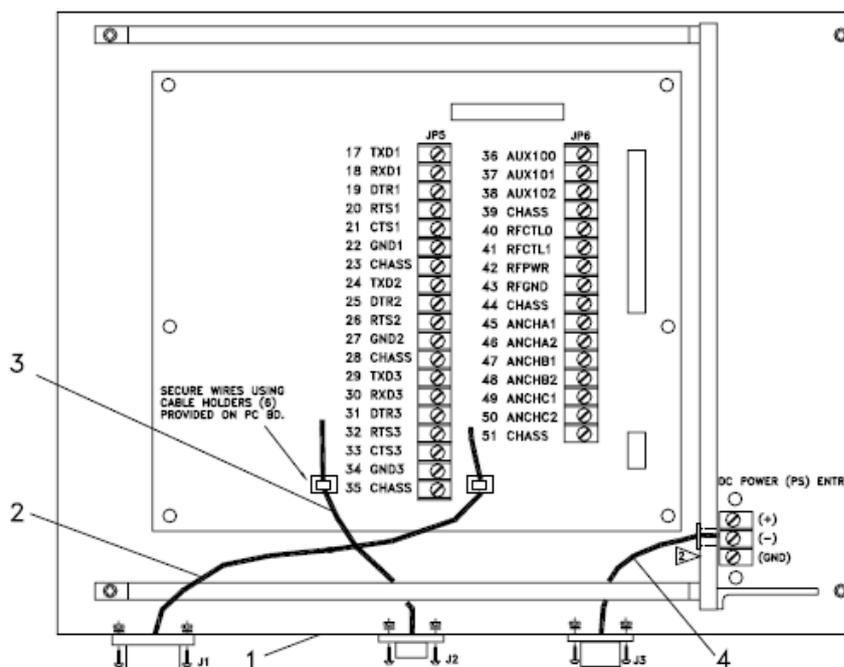


Figura 10 – Hardware do Leitor de Transponder. Retirado de [3].

## SISTEMA DESENVOLVIDO E MODELO OPERACIONAL PROPOSTO

A maneira atualmente utilizada pela Vale S.A. para envio de informações via transponder para o equipamento ATC, em conjunto com a disponibilidade do pino transmissor reserva do *hardware* de leitura, viabilizou o desenvolvimento de um dispositivo de bordo para decodificar os sinais em regiões onde placas de advertência são instaladas, sejam elas fixas ou móveis.

Um protótipo de baixo custo (Figura 11), capaz de se comunicar com o leitor de transponder da locomotiva, foi desenvolvido para emitir alertas sonoros e visuais

quando a locomotiva passa por um transponder gravado especificamente com as informações da restrição imposta à via.



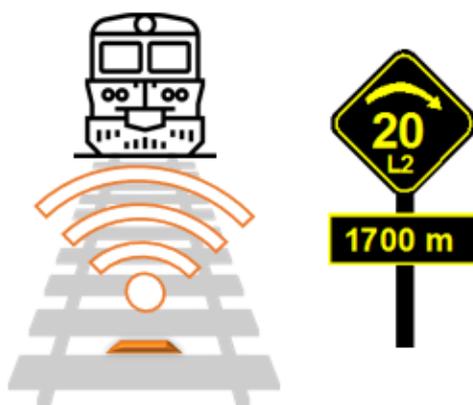
**Figura 11 – Equipamento de bordo APS.**

A operacionalização do equipamento exigiu a mudança no modelo de instalação de placas de advertência na via permanente. Para que o APS receba as informações de precaução, novos transponders foram gravados, contendo todas as informações específicas que refletem a bandeira instalada, tais como o tipo da restrição e velocidade máxima de circulação.

O transponder funciona como uma redundância das placas de sinalização, sendo instalado entre os trilhos da linha ferroviária no mesmo marco quilométrico em que bandeiras são posicionadas (Figura 12). Ao receber os dados gravados no transponder, o APS realiza a decodificação do sinal lido, envia mensagens de voz por meio de um alto-falante, e exibe o tipo de restrição e velocidade máxima de circulação em um display

LCD. Dessa forma, o maquinista é capaz de tomar as ações para atendimento ao procedimento de segurança.

Como as bandeiras também são instaladas para indicar o fim da restrição, o APS comunica este evento ao operador de trem sempre que identifica um novo transponder com o mesmo conteúdo gravado em relação ao último valor lido para o mesmo tipo de restrição.



**Figura 12 – Esquema de posicionamento do transponder na via**

A gravação dos transponders de placas de advertência segue uma estrutura de dados específica, definida pela equipe do projeto. A Figura 13 exemplifica essa codificação. O código começa com os caracteres “CBA”, que funciona como um identificador, garantindo que a o transponder lido é correspondente a uma placa de advertência. Os caracteres “XX” podem assumir dois valores: 01, indicando que o transponder lido é correspondente a uma placa de “Restrição de Velocidade” ou 02, que corresponde a uma placa de “Homens Trabalhando”, seguida do separador “T”; Caso o transponder corresponda a uma placa de “Restrição de Velocidade”, mais dois caracteres (YY) são decodificados pelo sistema, onde este campo recebe o valor de velocidade, em quilômetros por hora, que a composição deve trafegar naquele trecho.

O separador “V” é o terminador da codificação. Os demais caracteres não são atualmente utilizados, e são reservados para garantir a escalabilidade da solução.

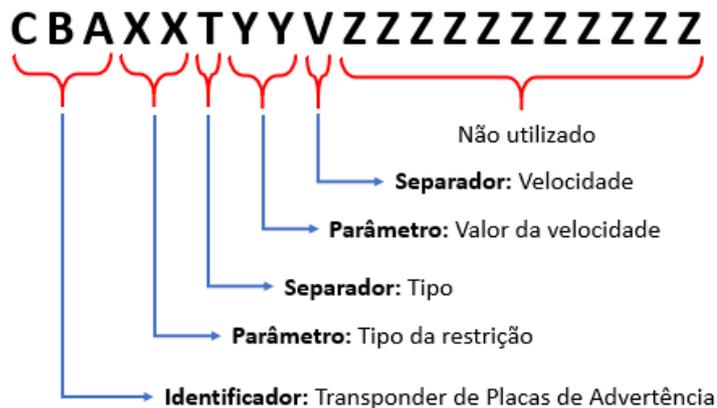


Figura 13 – Estrutura de dados dos transponders de placas de advertência

O *hardware* utiliza a placa de prototipagem Arduino UNO como base, que executa o programa desenvolvido para comunicação e controle dos periféricos: módulo MP3, responsável por receber os comandos do Arduino e gerar os alarmes de comando de voz; display LCD, que exibe as mensagens de texto de “Homens Trabalhando” e “Restrição de Velocidade”, bem como o valor que a composição deve trafegar; botoeira do tipo monobloco, onde o operador de trem reconhece a mensagem de voz emitida pelo dispositivo; módulo MicroSD, que armazena os LOGs do equipamento; módulo Wi-Fi, para retirada dos logs de maneira remota.

Alguns periféricos precisaram ser incluídos para que o dispositivo conseguisse ser alimentado e se comunicar com o sistema interno da locomotiva. O nível de tensão disponível no painel elétrico é de 74Vdc. O Arduino é alimentado com uma tensão de 5

a 36Vdc, sendo que os periféricos são alimentados em 5Vdc. Logo, um conversor DC-DC que converte tensões entre 72 e 100Vdc para 5Vdc foi utilizado.

Outro detalhe é que o leitor de transponder se comunica em modo assíncrono RS-232, que apresenta nível de tensão de  $\pm 15Vdc$ . A comunicação serial do Arduino trabalha com sinais de nível TTL (0 – 5Vdc). Logo, um módulo conversor foi utilizado para adequação dos níveis de sinal. O esquema elétrico do protótipo pode ser visto na Figura 13.

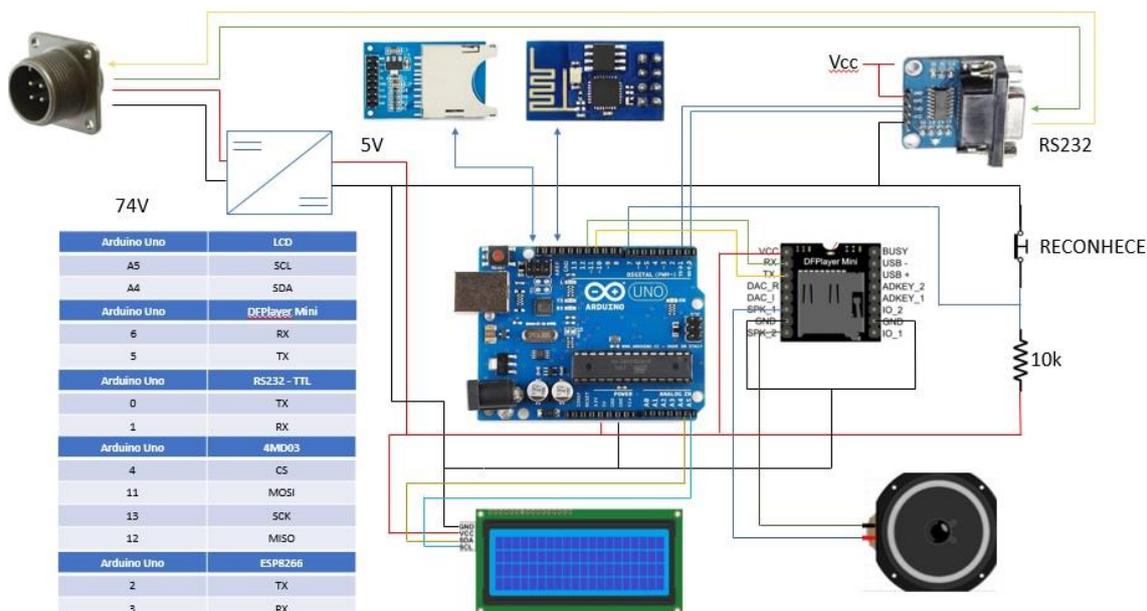
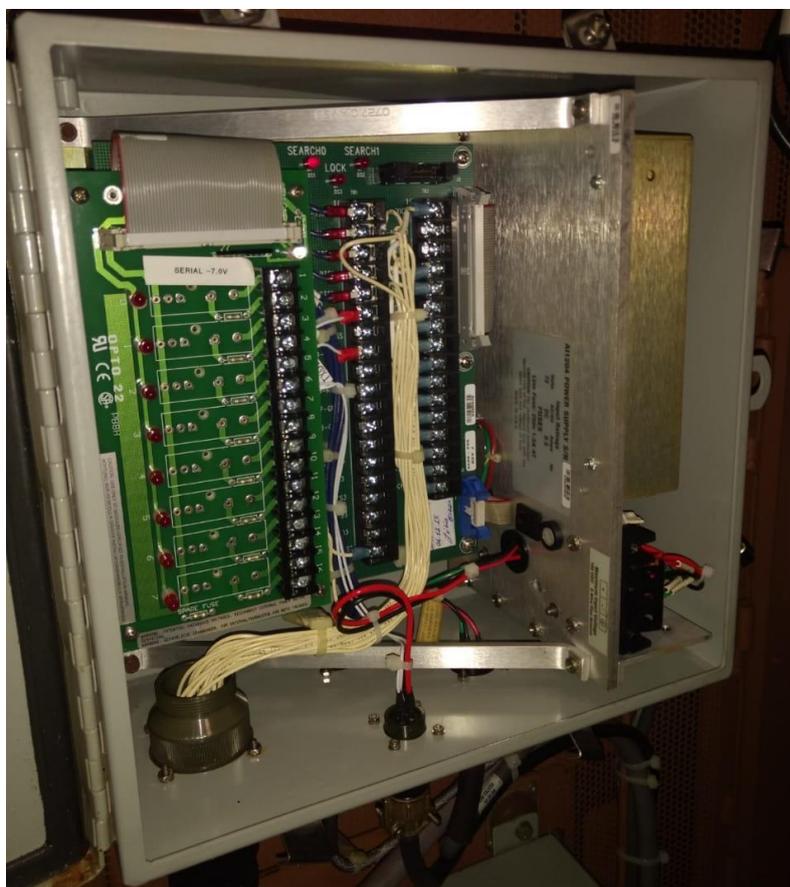


Figura 14 – Esquema elétrico do APS

## ANÁLISE DOS RESULTADOS

O equipamento foi instalado em uma locomotiva AC58, modelo Evolution, fabricada pela empresa General Eletric. O primeiro passo foi interligar o equipamento no leitor de transponder disponível em bordo. Os pinos utilizados foram o TX, GND e a alimentação de entrada 74Vdc do painel. A Figura 15 ilustra a interligação com o painel a locomotiva.



**Figura 15 – Interligação do APS com o Leitor de Transponder**

A instalação física do APS foi realizada em uma posição estratégica, ao lado do equipamento ATC, de forma que fique no campo de visão do maquinista. A Figura 16 mostra a posição de instalação do equipamento. Para emissão dos alertas sonoros, um alto falante foi instalado no teto da cabine (Figura 17).



Figura 16 – APS instalado no campo de visão do maquinista



Figura 16 – Alto falante instalado no teto da cabine

Assim que o equipamento é ligado, ele apresenta em seu display a mensagem “APS Ativo”, como pode ser visualizado na Figura 11. Essa mensagem tem o objetivo de informar que o equipamento está pronto para alertar o operador de trem no caso de alguma precaução.

Ao passar por uma precaução, o APS exibe sua modalidade no display. No caso de uma restrição de velocidade, o equipamento também informa o valor de velocidade em que o operador de trem deve trafegar (Figura 17).



**Figura 17 – Informações exibidas no display**

A Figura 18 mostra como os transponders de precaução são instalados na via. É importante ressaltar que a instalação deve acontecer sempre em pares, visto que o APS exibe a restrição quando o transponder é lido pela primeira vez, eliminando a mensagem quando passa pela segunda vez em um transponder de mesmo valor gravado.

No caso em que duas restrições aconteçam em um mesmo trecho, ambas as mensagens são exibidas no display (Figura 17), e os comandos de voz são enviados de maneira alternada, com um intervalo de tempo de 1 segundo. A mensagem de voz é repetida até que o operador de trem pressione o botão reconhecimento. O botão,

entretanto, não retira a mensagem do display, sendo esta apagada somente quando o fim da restrição é atingido.



**Figura 17 – Instalação dos transponders na via permanente**

A leitura da TAG pode ser comprovada por meio da abertura do log do equipamento ATC. A Figura 18 exemplifica a leitura de um transponder de “Restrição de Velocidade” de 30 km/h, no horário de 09:27.

```

GE VALE Log Translator
System: CVRD
Loco Num: 247
CPU Ver: 9.5
DDSP Ver: 8.3
CMPI Ver: 1.3
EDU Ver: 1.3
Translator Ver: 1.8

Time          EDU Trk Pri  Sec  Spd      Opr Mod      VIT ADU IB  OS
Meter  Asp Asp Spd  Spd  Lim TTP Alm Mod Swi Dir Ak  PB  BC  Fal
-----
09:27:39.78 031995 0x43?, location 399457 {CBAT01V30AAAAAAAAA02}
    
```

**Figura 18 – LOG de leitura de transponder de restrição de velocidade**

É importante ressaltar que o equipamento APS já realizou 89 viagens até o mês de junho de 2019. Considerando que a ferrovia possui 890km de extensão, foram percorridos, aproximadamente, 160 mil quilômetros sem registro de falhas do equipamento.

## **CONCLUSÕES**

A restrição de visualização das bandeiras de sinalização, independentemente de sua natureza, pode gerar problemas sérios para a condução de trens na ferrovia, relacionando-se diretamente com questões de saúde, segurança e produtividade.

A vantagem da utilização do transponder é que, por apresentar pequenas dimensões, este pode ser instalado de forma oculta e encoberto pelo lastro ferroviário, tal como o sistema de identificação de marco quilométrico atualmente adotado. Dessa forma, é altamente improvável que o transponder seja furtado ou vandalizado por terceiros. Da mesma forma, condições climáticas podem impedir que os operadores de trem visualizem as placas de sinalização gráfica, mas não interferem no funcionamento do APS.

A visualização da placa também depende da atenção do maquinista na condução da composição. O modelo de funcionamento do APS se mostra mais eficiente, pois exige que o maquinista aperte o botão de reconhecimento, sob pena de ser avisado, em um ciclo de 1 segundo, sobre a restrição à sua frente.

O desenvolvimento do dispositivo abre portas para que o modelo de instalação de bandeiras de sinalização, adotado pelas agências reguladoras, seja revisado. Nada

impede que o dispositivo seja adaptado para que outros modelos de placas sejam incluídos.

Como consideração final, o equipamento APS se tornou uma ferramenta extremamente importante para garantir o tráfego seguro de trens ao longo da ferrovia, pois evita que o maquinista não tome ciência de restrições de segurança, na via permanente, que possam causar ocorrências ferroviárias como atropelamentos e descarrilamentos. Por este motivo, este projeto foi aprovado para ser escalado em todas as locomotivas “líderes” de minério e trem de passageiros da Estrada de Ferro Carajás.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Branch, Jasb, and I. R. A. N. Jasb. "ATC railway intelligent network system." *European Journal of Academic Essays* 2.7 (2015): 1-4.
- [2] TRANSCORE. **AI1422 Half-Frame Transponder Interrogator, 2017**. Albuquerque: Transcore, 2017. 49 p.
- [3] GE TRANSPORTATION SYSTEMS. **Ultra-Cab II Automatic Train Protection for Vale Ferro Carajás, 2013**. Grain Valley: GE, 2013. 174 p.