



DETECÇÃO DE DEFEITOS NO SISTEMA DE FRENAGEM POR MEIO DE DADOS DE HOT BOX

Lucas Sousa Ribeiro¹; Mateus Silva Ribeiro¹; Alberto Vinicius Tavares Correa¹

¹VLI — Brasil

RESUMO

Este trabalho apresenta uma metodologia para detecção de defeitos de freio em vagões ferroviários a partir da análise de temperaturas medidas por equipamentos do tipo hot box. Esses sistemas monitoram continuamente a temperatura dos rolamentos, bem como de regiões adjacentes a eles, permitindo identificar padrões térmicos anormais. Observou-se que, em situações de freio preso, ocorre um aumento sutil, porém consistente da temperatura fora da região do rolamento, comportamento que serviu de base para o desenvolvimento de uma estratégia de detecção automática. A abordagem proposta utiliza esse gradiente térmico como indicador primário para sinalizar vagões potencialmente defeituosos. Para validação, foram conduzidos testes de assertividade com dados históricos do sistema e verificações físicas em campo nos ativos identificados. Os resultados demonstraram elevada eficácia na identificação de freios presos, com excelente assertividade e potencial significativo para suporte à manutenção preditiva na operação ferroviária.

Palavras-chave: *Hot Box Detector, Defeitos de Freio, Monitoramento Térmico, Manutenção Preditiva, Análise de Padrões Térmicos, Confiabilidade Ferroviária.*

1. INTRODUÇÃO

A segurança operacional ferroviária depende fortemente do monitoramento contínuo de componentes críticos, como rolamentos, rodas e sistemas de freio. Entre as principais ameaças à integridade dos vagões, temos os aquecimentos anormais que podem ser causados por defeitos internos e externos nos rolamentos e por frenagem indevida, que dependendo do tempo que permanecer pode conduzir o calor até a manga de eixo e rolamento. Ambos os casos podem levar à fratura de eixos e até a descarrilamentos. Para mitigar esses riscos, existem sensores de medição de temperatura infravermelho, conhecidos como *hot box* e *hot wheel detectors* (HBDs e HBWs) que são amplamente reconhecidos como tecnologias essenciais de segurança e monitoramento de condição. (Dumoulin et al., 2024).

Os HBDs têm como função principal identificar elevações anormais de temperatura nos rolamentos dos eixos, prevenindo falhas graves. Esses sistemas utilizam sensores infravermelhos capazes de registrar a temperatura dos mancais enquanto o vagão trafega pela via (Tarawneh et al., 2020; Dumoulin et al., 2024). Os tipos de HBDs mais conhecidos e amplamente utilizados no universo ferroviário são os monocanais, que aferem a temperatura em apenas uma região, os multicanais, que aferem a temperatura em várias regiões e os que mapeiam calor por meio de câmeras termográficas (Dumoulin et al., 2024).

Em paralelo, os HWDs também possuem uma ampla utilização, onde seu funcionamento se dá no monitoramento especificamente a temperatura das rodas, permitindo detectar anomalias que gerem o travamento do sistema de freio, como defeito em válvulas, cilindro, travamento de componentes mecânicos, dentre outros modos de falha (Botella & Cabral, 2026; Mosleh et al., 2026). Essas situações representam riscos operacionais



significativos e são causas frequentes de desgaste acelerado e danos estruturais nos rodeiros e aumento da probabilidade de falhas graves. Devido menor complexidade de avaliação da temperatura, os HWDs normalmente são apenas do tipo monocal (Botella & Cabral, 2026).

Estudos recentes indicam que, quando integrados a sistemas digitais de análise e manutenção baseada em condição, HBDs e HWDs reduzem substancialmente incidentes e falsos alarmes, ampliando a confiabilidade operacional e possibilitando intervenções preditivas mais precisas em frotas ferroviárias de grande escala (Botella & Cabral, 2026; Mosleh et al., 2026). Entretanto, tais avanços também evidenciam que a eficácia desses sistemas depende não apenas da presença de sensores dedicados para roda e rolamento, mas também da qualidade da interpretação dos padrões térmicos coletados (Tarawneh et al., 2020).

Neste contexto, cresce o interesse por abordagens mais robustas que explorem padrões térmicos não apenas no rolamento, mas também em áreas adjacentes, como forma de aprimorar a detecção de defeitos relacionados aos sistemas de frenagem. A literatura demonstra que a grande maioria das ferrovias progrediram para a utilização de sensores distintos para detecção de aquecimento na roda ou detecção de aquecimento no rolamento, para cobrir em sua totalidade a possibilidade de quebra de eixo por aquecimento, porém, devido a necessidade de vários equipamentos para cobrir a malha ferroviária, está solução se torna complexa por conta do elevado custo. A partir disto, este trabalho tem como objetivo e diferencial a avaliação de aquecimento na roda proveniente de falhas no sistema de frenagem por meio da utilização das temperaturas do mancal coletadas por um equipamento que tem como função principal a detecção de defeitos em rolamentos, ou seja, apenas um equipamento de coleta de dados de temperatura para gestão de defeitos de frenagem e de rolamento.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1. Materiais Utilizados

O desenvolvimento deste trabalho baseou-se na utilização de:

- Sistema de detecção hot box já instalado na ferrovia, equipado com 8 pontos de medição térmica por rolamento, responsável por registrar a temperatura absoluta em regiões externas dos rolamentos. Para o estudo foram utilizados 3 equipamentos em localidades diferentes (Ibiá/MG, Casa Branca/SP e Açailândia/MA).

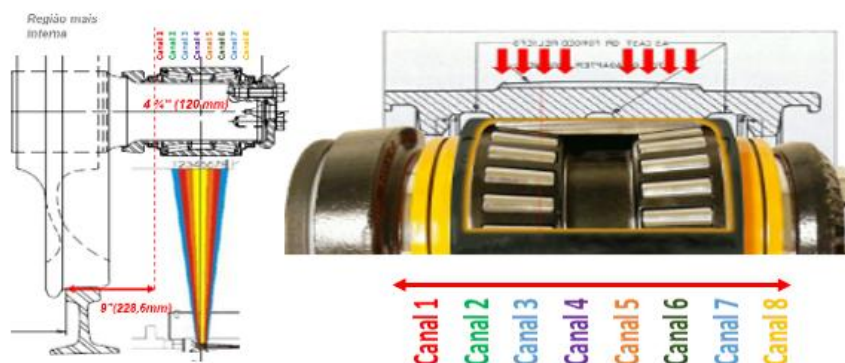


Figura 1. Equipamento de aferição de temperatura de rolamento que coleta oito pontos distintos ao longo do componente (multicanal).



- Durante a passagem do trem pelo equipamento é coletada a temperatura de cada rolamento e armazenada em um supervisor para consulta e criação de alarmes. Esta base de dados é organizada por data, vagão, número do eixo e lado do eixo, para acompanhamento histórico da temperatura. Foi utilizado uma base de 3 meses para avaliação da proposta de detecção de defeito no sistema de freio. Os dados foram trabalhados nas ferramentas citadas abaixo, utilizando a metodologia matemática citada no capítulo 2.3, equação 2.
- Ferramentas de análise estatística, incluindo:
 - Planilhas eletrônicas (Excel/Power BI)
 - SQL para pré-processamento
 - Dashboards
- Inspeções físicas realizadas em campo pela equipe de manutenção, utilizadas para validação dos resultados.

O período utilizado para análise histórica consistiu em um intervalo representativo da operação (cerca de 3 meses de dados históricos), garantindo uma análise que pegue todos os cenários possíveis de operação dos ativos.

2.2. Método de Identificação dos Padrões Térmicos

O hot box é um equipamento wayside instalado à beira da via que realiza medições de temperatura por meio de sensores infravermelhos multifeixe direcionados aos rolamentos. Quando o trem cruza o ponto de detecção, o sistema ativa seus feixes infravermelhos para escanear a região do rolamento e gerar um perfil térmico tridimensional. Para que não exista perda de dados na região do rolamento, o sensor começa a captar a temperatura antes do rolamento passar pelo equipamento, gerando uma região “morta” no campo de leitura correspondente à área fora do rolamento, onde o sensor captura a temperatura de partes estruturais do vagão, normalmente o chassi do ativo (figura 2c).

A região “morta” tende a apresentar temperaturas próximas à temperatura ambiente, pois não há aquecimento na estrutura do vagão, resultando em valores relativos próximos de zero (figura 2a). A partir das análises conduzidas neste estudo, observou-se que defeitos de freio são capazes de gerar aquecimento significativo na região “morta”, devido ao aquecimento do ar próximo das rodas por irradiação, elevando a temperatura da região próxima ao chassi do vagão. Nesses eventos, verificou-se um padrão característico: as áreas externas ao rolamento, mas ainda dentro do campo de leitura do hot box, exibiam temperaturas relativas superiores a 15 °C, em um ou mais canais de medição, comportamento consistente com anomalias associadas ao sistema de frenagem (figura 2b).

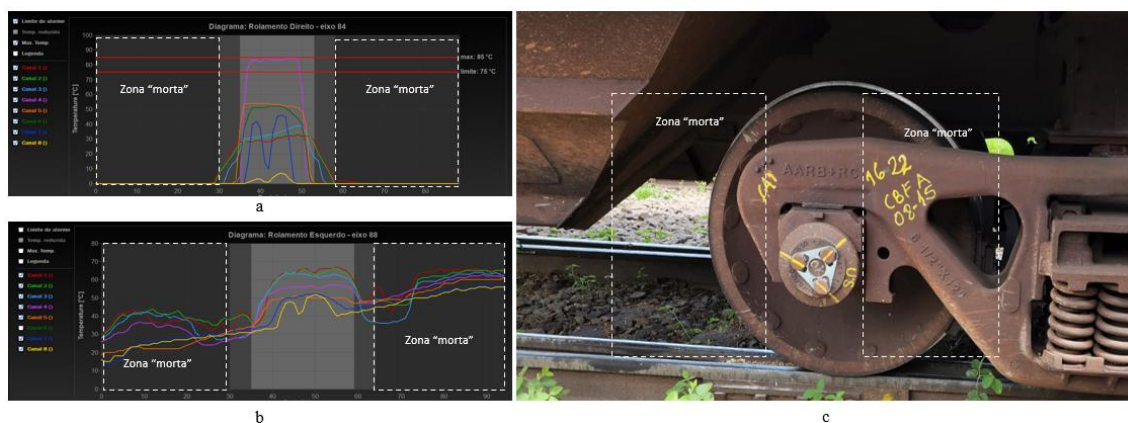


Figura 2. Localização da distribuição de temperatura no vagão: (a) Demonstração de temperatura normal para o sistema de freio; (b) Demonstração de defeito no sistema de frenagem através da distribuição de temperatura; (c) representação da região “morta” no vagão.

Entretanto, essa identificação só é possível por meio de inspeção manual das curvas de temperatura de cada rolamento, pois os sistemas HBDs não possuem parametrização para reconhecer esse tipo de aquecimento na zona pré ou pós rolamento. Isso exigia análises individualizadas e dificultava a detecção automática dos casos.

2.3. Desenvolvimento do Parâmetro de Detecção

Com o objetivo de tornar o processo automático e replicável em larga escala, foi elaborada inicialmente uma métrica estatística capaz de indicar veículos com possível freio preso, reduzindo a necessidade de inspeção manual das curvas de temperatura. A primeira versão do parâmetro considerava apenas a diferença entre a média de temperatura do vagão e a média do trem, normalizada pelo desvio padrão do trem, conforme representado na equação 1.

$$FP = \frac{(T_{veículo} - T_{lado})}{DP_{lado}} \quad (1)$$

Onde:

FP = Parâmetro de detecção de freio preso

$T_{veículo}$ = média das temperaturas dos rolamentos de um dos lados do veículo

T_{lado} = média das temperaturas dos rolamentos do lado do trem

DP_{lado} = desvio padrão das temperaturas do lado analisado

Durante as primeiras validações via sistema, essa equação apresentou uma assertividade aproximada de 63%, porém observou-se que parte dos falsos positivos ocorria em veículos cuja uma das rodas ainda apresentava temperatura muito abaixo da média, mascarando o comportamento térmico anômalo associado ao freio preso. Para mitigar esse efeito, o parâmetro foi ajustado pela incorporação do termo que relaciona a menor temperatura do vagão com sua temperatura média, penalizando automaticamente casos com assimetria térmica excessiva entre as rodas. Com essa modificação, a métrica passou a refletir melhor o comportamento dos veículos com aquecimento real, aumentando a assertividade e reduzindo falsos positivos. A versão final do parâmetro, portanto, compara o comportamento térmico entre o veículo e o lado correspondente do trem, ponderando



também a coerência interna das medições do próprio vagão, conforme mostrado na expressão abaixo.

$$FP = \frac{(T_{veículo} - T_{lado})}{DP_{lado}} \times \frac{T_{min,veículo}}{T_{lado}} \quad (2)$$

Onde:

FP = Parâmetro de detecção de freio preso

$T_{veículo}$ = média das temperaturas dos rolamentos de um dos lados do veículo

T_{lado} = média das temperaturas dos rolamentos do lado do trem

DP_{lado} = desvio padrão das temperaturas do lado analisado

$T_{min,veículo}$ = menor temperatura registrada entre os rolamentos do veículo

O cálculo é realizado separadamente para cada lado do trem, permitindo maior sensibilidade a assimetrias térmicas típicas de defeitos nos freios. O alarme é disparado quando os dois lados do veículo excedem simultaneamente o valor limite teórico definido durante a análise. Com essa definição, foi realizada a validação teórica do parâmetro, através da análise dos gráficos de distribuição de temperatura, para definição do limite de corte e a validação física, onde foram acompanhados um conjunto de vagões alarmados para avaliação do sistema de freio, conforme mostrado nos capítulos 2.4 e 2.5. A assertividade teórica do parâmetro foi calculada baseada na análise manual das curvas e a assertividade na detecção de defeitos de freio foi avaliada através da quantidade de ativos indicados com problemas no sistema de frenagem dividido pela quantidade total de ativos indicados, resultados esses discutidos no capítulo 3.

2.4. Validação do Parâmetro Teórico

Foi conduzida uma análise retrospectiva abrangendo aproximadamente três anos de registros históricos provenientes do sistema hot box. Sobre essa base de dados, aplicou-se o parâmetro estatístico desenvolvido (citado no capítulo 2.3), permitindo quantificar o comportamento térmico dos rolamentos e das regiões adjacentes ao longo do período analisado. A partir da distribuição dos valores obtidos, procedeu-se à avaliação individual das curvas térmicas dos veículos sinalizados, com o objetivo de identificar o ponto a partir do qual o aumento do parâmetro começava a elevar significativamente a ocorrência de falsos positivos. Essa etapa permitiu determinar teoricamente o limiar ideal do parâmetro, garantindo o equilíbrio entre assertividade e autonomia na identificação dos casos de freio preso, e assegurando que somente os eventos com padrões térmicos consistentes fossem priorizados para análise e verificação em campo.

2.5. Validação Física em Campo

Para validação da análise do parâmetro teórico, foi realizada uma inspeção de campo em uma amostragem de vagões sinalizados pelo parâmetro desenvolvido, com o objetivo de confirmar a presença de avarias no sistema de freio. A verificação seguiu um roteiro padronizado composto por nove passos principais, envolvendo testes pneumáticos e inspeções mecânicas. Inicialmente, aplicou-se pressão de 12 psi para avaliar o funcionamento básico do sistema de freio, seguido da checagem da posição e funcionamento da válvula de alívio. Na sequência, realizamos uma aplicação total para



medir o curso do pistão do cilindro de freio durante o alívio, verificando se a timoneria ficava livre de esforço em até 80 segundos. Também foram examinadas a posição da haste da válvula vazio/carregado, possíveis vazamentos e a folga e funcionalidade da timoneria e o funcionamento do ajustador. Além disso, verificou-se a existência de pinos travados ou marcas anormais de contato, avaliou-se o freio manual e, por fim, realizou-se a inspeção dos rodeiros e rolamentos. Esse conjunto de verificações confirmou a presença dos defeitos identificados por meio da análise teórica, comprovando a qualidade dos resultados obtidos no estudo.

2.6. Síntese do Método

O método desenvolvido pode ser replicado seguindo as etapas:

1. Coletar dados térmicos do hot box por veículo, rolamento e lado do trem.
2. Calcular o parâmetro proposto separadamente para cada lado do veículo.
3. Comparar o valor obtido com o limiar definido (parâmetro de alarme).
4. Listar veículos suspeitos com base na métrica.
5. Realizar análise confirmatória, automática ou manual, das curvas térmicas.
6. Verificar fisicamente os veículos priorizados.

Esse fluxo permite a automação do processo e garante rastreabilidade, favorecendo aplicações reais de manutenção preditiva.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados obtidos demonstram que a métrica desenvolvida (equação 2) foi capaz de identificar com assertividade os casos de freio preso utilizando exclusivamente os dados provenientes do sistema hot box. A análise teórica apresentou a relação entre assertividade e falsos positivos em função do valor do parâmetro calculado, conforme mostrado nas tabelas 1, 2 e 3 e resumo do na figura 3, o valor do parâmetro apresentado nas tabelas e figuras é o menor parâmetro calculado de cada lado dos veículos.

Tabela 1 – Verificação histórica dos parâmetros calculados (Açailândia)

Site	Data Hora	Tag	Posição	Parâmetro	Teste
Açailândia	22/06/2024 06:39	FTT 104432	107	5,91	OK
Açailândia	17/07/2024 15:32		146	4,00	OK
Açailândia	02/08/2024 06:02	HFT 56933	69	3,84	OK
Açailândia	10/07/2024 09:16	HFT 57189	125	3,61	OK
Açailândia	08/06/2024 04:44	HFT 64709	20	3,56	OK
Açailândia	13/07/2024 17:00	HFT 57020	142	3,15	OK
Açailândia	21/07/2024 08:44	FTT 104427	119	3,05	OK
Açailândia	25/06/2024 06:37		221	2,96	OK
Açailândia	11/06/2024 18:59	HFT 57200	142	2,70	OK
Açailândia	07/07/2024 00:41	FTT 104564	6	2,62	OK
Açailândia	14/07/2024 08:59	FTT 57926	43	2,46	OK
Açailândia	08/06/2024 04:44	HFT 57111	79	2,39	NOK
Açailândia	08/07/2024 12:06	HFT 98098	34	1,98	NOK
Açailândia	14/06/2024 08:09	HFT 61810	27	1,97	NOK
Açailândia	16/06/2024 12:07	HTT 98477	16	1,96	NOK



Açailândia	16/07/2024 19:26	HTT 98661	7	1,92	NOK
Açailândia	15/06/2024 23:14	TCT 31078	22	1,91	NOK
Açailândia	05/08/2024 19:00	HFT 58589	147	1,90	NOK
Açailândia	27/07/2024 21:12	HFT 57187	5	1,87	NOK
Açailândia	05/07/2024 08:08		71	1,77	NOK
Açailândia	29/07/2024 16:41	HFT 98109	13	1,77	NOK
Açailândia	11/07/2024 03:52	TCT 104669	24	1,75	NOK
Açailândia	23/07/2024 17:29		128	1,74	NOK
Açailândia	29/07/2024 16:41	HFT 62317	15	1,73	NOK
Açailândia	27/06/2024 00:58	HFT 57011	24	1,73	NOK
Açailândia	28/07/2024 11:03	TCT 31017	9	1,70	NOK
Açailândia	27/06/2024 00:58	HFT 62386	9	1,69	NOK
Açailândia	03/08/2024 05:41	HFT 104173	81	1,67	NOK
Açailândia	16/06/2024 12:07	HFT 57157	26	1,67	NOK
Açailândia	07/08/2024 02:39	FTT 104412	4	1,65	NOK

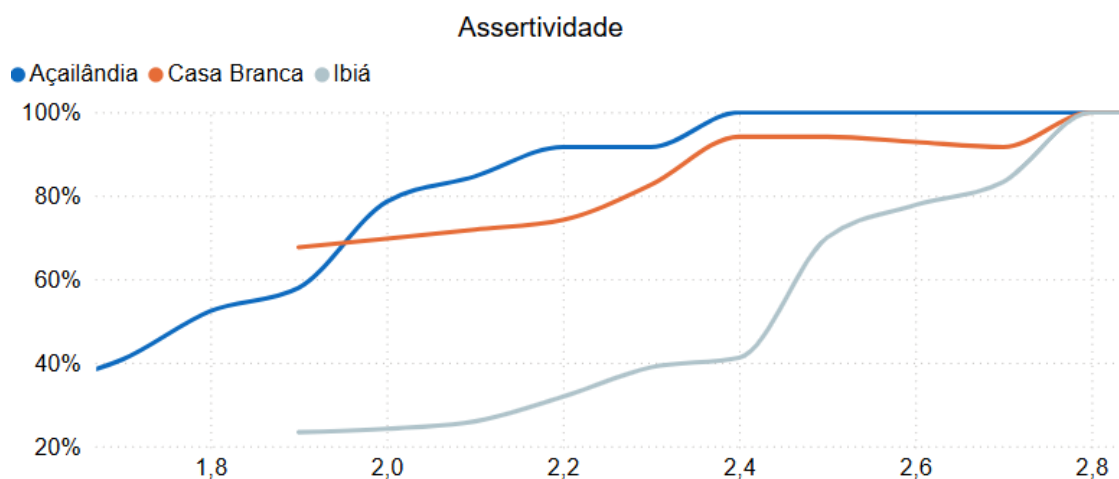
Tabela 2 – Verificação histórica dos parâmetros calculados (Casa Branca)

Site	Data Hora	Tag	Posição	Parâmetro	Teste
Casa Branca	20/06/2024 07:38	HFE 59587	21	6,36	OK
Casa Branca	25/06/2024 01:12	HFE 60429	23	5,19	OK
Casa Branca	13/07/2024 04:39	HFE 58345	18	4,34	OK
Casa Branca	08/08/2024 19:02	HFE 59331	45	3,81	OK
Casa Branca	15/07/2024 14:08		46	3,39	OK
Casa Branca	02/07/2024 18:09	HFE 58199	8	3,00	OK
Casa Branca	01/08/2024 00:02	HFE 60624	6	2,90	OK
Casa Branca	20/06/2024 16:31	HFE 59244	32	2,88	OK
Casa Branca	19/07/2024 09:09		34	2,84	OK
Casa Branca	25/07/2024 17:38		42	2,82	OK
Casa Branca	18/06/2024 21:27	HFE 60957	41	2,79	OK
Casa Branca	04/07/2024 05:57	HFE 56820	57	2,71	NOK
Casa Branca	27/06/2024 16:04	HFE 61107	58	2,63	OK
Casa Branca	18/07/2024 05:50		42	2,61	OK
Casa Branca	31/07/2024 07:04	HFE 62913	7	2,59	OK
Casa Branca	12/06/2024 10:34	HFE 59244	31	2,55	OK
Casa Branca	28/07/2024 14:45	HFE 56601	7	2,51	OK
Casa Branca	11/06/2024 02:13	HFE 59626	69	2,40	OK
Casa Branca	17/06/2024 06:58	HFE 61582	21	2,37	OK
Casa Branca	20/06/2024 07:38		68	2,36	OK
Casa Branca	12/07/2024 06:17	HFE 58377	12	2,35	NOK
Casa Branca	15/07/2024 00:05	HFE 56442	59	2,34	NOK
Casa Branca	21/06/2024 07:27	HFE 56448	78	2,31	NOK
Casa Branca	03/07/2024 19:34	GFD 607000	62	2,30	NOK
Casa Branca	10/06/2024 04:08	HFE 59447	19	2,30	OK
Casa Branca	08/06/2024 01:50	HFE 58325	59	2,28	NOK
Casa Branca	25/06/2024 17:10	HFE 56604	2	2,28	OK
Casa Branca	15/07/2024 10:18	HFE 53947	83	2,27	NOK
Casa Branca	01/08/2024 09:58		24	2,27	NOK
Casa Branca	22/07/2024 18:49	HFE 60246	64	2,25	OK
Casa Branca	04/08/2024 21:02	HFE 54297	83	2,21	OK



Tabela 3 – Verificação histórica dos parâmetros calculados (Ibiá)

Site	Data Hora	Tag	Posição	Parâmetro	Teste
Ibiá	16/06/2024 20:48	FLF 65240	56	4,33	OK
Ibiá	10/06/2024 00:03	GFE 63609	20	4,00	OK
Ibiá	08/06/2024 08:05	GFE 63609	54	3,68	OK
Ibiá	16/06/2024 20:48	FLF 65292	55	3,48	OK
Ibiá	12/07/2024 10:31	HFD 643559	6	3,12	OK
Ibiá	19/06/2024 03:43		71	2,72	NOK
Ibiá	24/06/2024 01:47	GFE 221071	41	2,69	OK
Ibiá	20/06/2024 06:30	GFE 221071	41	2,67	OK
Ibiá	28/06/2024 16:42		73	2,62	NOK
Ibiá	11/06/2024 01:54		62	2,56	NOK
Ibiá	15/06/2024 03:07		72	2,49	NOK
Ibiá	27/07/2024 07:47		3	2,45	NOK
Ibiá	08/07/2024 03:14		71	2,45	NOK
Ibiá	29/07/2024 07:16		68	2,44	NOK
Ibiá	31/07/2024 01:14		7	2,43	NOK
Ibiá	17/07/2024 02:45		3	2,42	NOK
Ibiá	08/08/2024 02:10		12	2,41	NOK
Ibiá	01/08/2024 02:44		67	2,40	NOK
Ibiá	20/07/2024 22:05		3	2,27	NOK
Ibiá	01/08/2024 20:59		67	2,23	NOK
Ibiá	07/07/2024 16:24		72	2,22	NOK
Ibiá	18/06/2024 02:56		71	2,22	NOK
Ibiá	24/06/2024 16:40		72	2,17	NOK
Ibiá	22/06/2024 07:16	GFE 221071	39	2,13	NOK
Ibiá	12/07/2024 01:44		76	2,12	NOK
Ibiá	09/07/2024 21:45		4	2,12	NOK
Ibiá	06/08/2024 20:15		12	2,11	NOK
Ibiá	18/07/2024 04:28		76	2,02	NOK
Ibiá	18/07/2024 19:54		76	2,02	NOK
Ibiá	22/07/2024 06:32		75	1,98	NOK

**Figura 3.** Assertividade das indicações em função do parâmetro identificado.

A Figura 3 apresenta a curva de assertividade em função do valor do parâmetro para os três equipamentos analisados: Açailândia, Casa Branca e Ibiá. Observa-se que Açailândia



apresenta a curva mais estável e com maior desempenho, atingindo rapidamente valores próximos de 100% à medida que o parâmetro ultrapassa 2,2. Casa Branca, por sua vez, alcança assertividade semelhante, porém com uma assertividade um pouco inferior, evidenciando uma sensibilidade térmica diferente do equipamento de Açailândia. Já Ibiá demonstra comportamento mais gradual, com crescimento de assertividade mais lento e atingindo 100% apenas próximo do parâmetro 2,65. Essas diferenças reforçam a necessidade de definir parâmetros de corte específicos para cada ponto de instalação, respeitando as particularidades operacionais e térmicas de cada equipamento. Com base nos parâmetros determinados no estudo cada equipamento tem um nível diferente de assertividade sendo Casa Branca com 74,19%, Açailândia com 91,66% e Ibiá com 87,5%.

Devido ao fato de o equipamento instalado em Casa Branca apresentar uma assertividade inferior à observada nas demais localidades, foi realizada uma validação em campo dos ativos priorizados pelo parâmetro. Essa etapa teve como objetivo confirmar se as diferenças de desempenho estavam relacionadas ao comportamento térmico real dos vagões ou a particularidades operacionais do ponto de detecção. A inspeção permitiu avaliar diretamente as condições do sistema de freio dos veículos priorizados, garantindo que possíveis desvios no padrão de assertividade fossem devidamente compreendidos e tratados, além de reforçar a confiabilidade do método proposto para diferentes cenários operacionais da malha ferroviária.

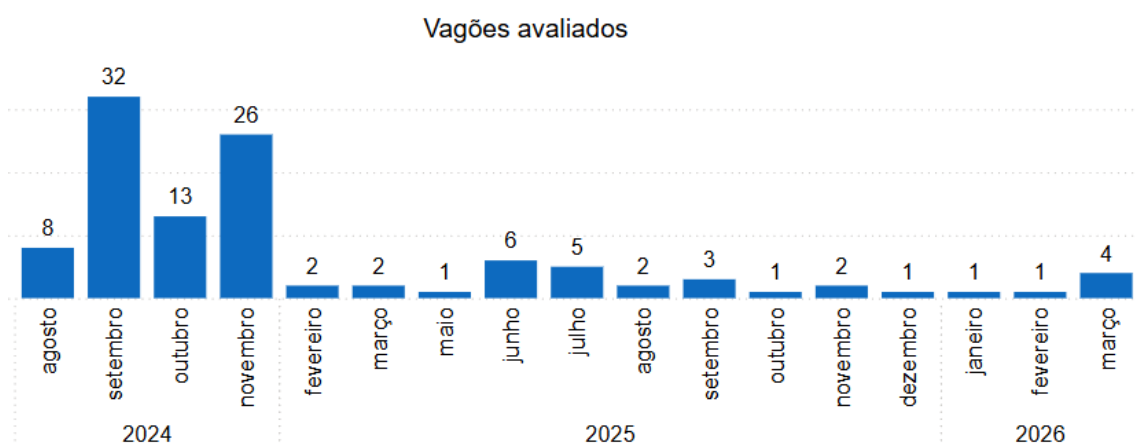


Figura 4. Avaliações dos vagões priorizados pelos parâmetros.

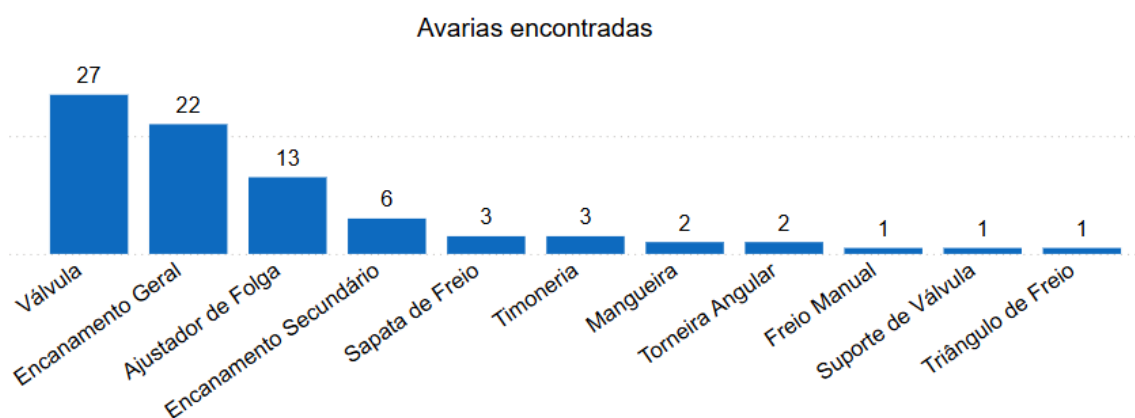


Figura 5. Avarias identificadas durante as avaliações.

Conforme demonstrado na figura 4, foram acompanhados 110 vagões priorizados com possível defeito de freio ao longo de 3 anos, onde houve uma concentração de indicações



no início do trabalho devido a indicação retroativa de 3 meses concentradas no mês de setembro de 2024. Após o tratamento dos vagões com anomalia, este número reduziu nos meses seguintes. Na figura 5 é demonstrado que dos 110 vagões com suspeita de defeito no sistema de frenagem, 81 vagões foram identificados com falha em algum componente de freio, fechando a assertividade do parâmetro em 73,6% (valor correspondente exclusivamente à validação física em campo). A figura 6 mostra alguma das anomalias encontradas nos vagões analisados.



Figura 6. Registro fotográfico de avarias encontradas – Vazamentos de Ar no encanamento geral, secundários, conjunto de válvulas e timoneria/ajustador travado.

4. CONCLUSÃO

O anseio por técnicas cada vez mais automatizadas e indicações de ativos críticos de forma mais precisa é a tendência dentro do universo ferroviário. Quando falamos de waysides este aspecto cresce em relação a maior quantidade de alarmes preditivos que retirem de circulação a menor quantidade possível de ativos, com o menor custo possível relacionado a compra e manutenção dos sensores, porém sem gerar nenhum tipo de risco a operação, usando desta forma a filosofia exata de manutenção preditiva.

O presente trabalho buscou aumentar a visão de indicação de ativos críticos por meio de metodologias preditivas que utilizam menos equipamentos que tradicionalmente são usados nas ferrovias brasileiras e analisou se a metodologia indicada possuía elevada assertividade. Desta forma, demonstrou-se que é possível aprimorar significativamente a detecção de falhas no sistema de freios utilizando exclusivamente os dados provenientes do equipamento hot box. A partir da análise detalhada dos padrões térmicos capturados pelos múltiplos canais do sensor, verificou-se que o aquecimento característico de freio preso também se manifesta de forma consistente nas regiões adjacentes ao rolamento, tradicionalmente consideradas áreas “mortas” pelo sistema. Essa constatação permitiu o desenvolvimento de uma métrica estatística robusta, capaz de priorizar vagões com suspeita de defeito de frenagem com elevada assertividade.

Além do resultado técnico, destaca-se o impacto operacional, onde foi demonstrado que um único equipamento é capaz de identificar tanto anomalias em rolamentos quanto falhas de frenagem, abrindo caminho para simplificação da arquitetura de monitoramento ferroviário, redução de custos para uma manutenção preditiva de boa qualidade. É possível destacar isso devido a assertividade da metodologia estar acima de 70%, porém com a redução de cerca de 50% do custo de equipamentos, relacionado ao não investimento do equipamento hot wheel, sua estrutura de instalação e manutenção.



Como melhoria futura, recomenda-se a implementação de ajustes no sistema hot box para leitura automática da temperatura fora da região do rolamento, dispensando cálculos complementares e potencializando ainda mais a assertividade da detecção. Assim, conclui-se que a metodologia apresentada representa uma solução prática, consistente e de alto valor agregado para a operação ferroviária.

5. AGRADECIMENTOS

Agradecemos o apoio da VLI por permitir o desenvolvimento deste trabalho ao longo de 3 anos, sempre nos incentivando a buscar por inovações e soluções disruptivas dentro dos processos da empresa. Vale ressaltar também o apoio dos analistas e inspetores que nos ajudaram no acompanhamento das análises dos ativos priorizados, nos dando dados com qualidade e que nos ajudaram a concluir o trabalho.

6. REFERÊNCIAS

DUMOULIN, Jean; MERAINANI, Boualem; TOULLIER, Thibaud. Study of hot box detection on moving targets using wayside thermal infrared camera and image processing methods: application to railway infrastructures. In: **EUROPEAN GEOSCIENCES UNION GENERAL ASSEMBLY (EGU 2024)**. EGUsphere, 2024. DOI: 10.5194/egusphere-egu24-16481.

TARAWNEH, Constantine; ARANDA, James; HERNANDEZ, Veronica; CROWN, Stephen; MONTALVO, Joseph. An investigation into wayside hot-box detector efficacy and optimization. *International Journal of Rail Transportation*, v. 8, n. 3, p. 264–284, 2020. DOI: 10.1080/23248378.2019.1636721.

BOTELLA, Joaquín; CABRAL, José-Manuel. Hot axle box detectors hot wheel detectors: towards a harmonised, digital and international safety framework. *Railway Sciences*, p. 1–33, 2026. DOI: 10.1108/RS-09-2025-0046.

MOSLEH, Araliya; MOHAMMADI, Mohammadreza; SILVA, Ruben; MAGALHÃES, Jorge; ZHAI, Wanming. Recent advances in wayside condition monitoring for railways: a comprehensive review. *Railway Engineering Science*, 2026.



BRAKE SYSTEM FAULT DETECTION USING HOT BOX DATA

ABSTRACT

This work presents a methodology for detecting brake system faults in railway wagons based on the analysis of temperature data measured by hot box detectors. These systems continuously monitor bearing temperatures as well as adjacent regions, enabling the identification of abnormal thermal patterns. It was observed that, in cases of stuck brakes, a subtle yet consistent temperature increase occurs outside the bearing region, which served as the basis for developing an automatic detection strategy. The proposed approach uses this thermal gradient as a primary indicator to flag potentially defective wagons. For validation, assertiveness tests were conducted using historical system data, along with physical field inspections of the identified assets. The results demonstrated high effectiveness in identifying stuck brakes, with excellent assertiveness and significant potential to support predictive maintenance in railway operations.

Keywords: *Hot Box Detector; Stuck Brake; Thermal Monitoring; Predictive Maintenance; Thermal Pattern Analysis; Railway Reliability.*