

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
FACULDADE DE ENGENHARIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA**

EDUARDO CAMPOLINA MARTINS SIANO

CWDB – ALARME DE DEFICIÊNCIA DE FRENAGEM EM VAGÃO

**Juiz de Fora
2017**

EDUARDO CAMPOLINA MARTINS SIANO

CWDB – ALARME DE DEFICIÊNCIA DE FRENAGEM EM VAGÃO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro Mecânico.

Orientador: Professor Dr. Luiz Henrique Alves

**Juiz de Fora
2017**

Ficha catalográfica elaborada através do programa de geração automática da Biblioteca Universitária da UFJF, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Campolina Martins Siano, Eduardo.
CWDB – ALARME DE DEFICIÊNCIA DE FRENAGEM EM VAGÃO / Eduardo Campolina Martins Siano. -- 2017.
44 f.

Orientador: Luiz Henrique Alves
Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdade de Engenharia, 2017.

1. Vagões. 2. Deficiência de Frenagem. 3. Freio. 4. Cold Wheel. I. Alves, Luiz Henrique, orient. II. Título.

EDUARDO CAMPOLINA MARTINS SIANO

CWDB – ALARME DE DEFICIÊNCIA DE FRENAGEM EM VAGÃO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro Mecânico.

Aprovado em 23 de Junho de 2017

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Luiz Henrique Alves
Universidade Federal de Juiz de Fora

Eng. M. Sc. Nilton de Freitas
MRS Logística S/A

Eng. M. Sc. Antônio Hamilton Michel Merheb
MRS Logística S/A

A todos profissionais que dedicam suas vidas para a construção de uma ferrovia mais sólida e segura.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus à Nossa Senhora Aparecida, pela oportunidade a mim concedida de conquistar o título de Engenheiro Mecânico e por sempre me guiarem e iluminarem meus passos ao longo dessa caminhada.

À minha mãe, Brígida, grande responsável pelas minhas conquistas pessoais e profissionais. Obrigado por ser exemplo de mulher e por sempre zelar pelos meus estudos e me mostrar o melhor caminho a ser seguido, fazendo de tudo para que eu pudesse alcançar meus objetivos.

À minha irmã, Lívia, fonte de força, luz e motivo pelo qual eu me tornei quem eu sou. Obrigado por sempre estar presente em minha vida e se fazer presente de formas tão especiais no meu dia a dia.

Aos meus demais familiares, que de alguma maneira fizeram parte dessa conquista e contribuíram para que de alguma forma ela se tornasse mais leve e ainda mais prazerosa.

Ao meu amor, Kamila, pela amizade e companheirismo demonstrados ao longo de toda essa jornada.

Aos meus amigos, grandes incentivadores da minha carreira. Obrigado por sempre torcerem por mim e acreditarem no meu sucesso. Essa conquista também é de vocês!

Por fim, agradeço também aos meus colegas de trabalho da MRS Logística S/A, por todos os dias compartilham comigo seus conhecimentos e por fazerem parte da construção da minha carreira como Engenheiro Mecânico e, acima de tudo, do meu amadurecimento enquanto pessoa e profissional.

“Sou quem sou, porque somos todos nós!” – Ubuntu

RESUMO

Em vista das ocorrências de falhas nas aplicações de freio durante a operação dos trens surgiu a necessidade da criação de um parâmetro que diagnosticasse quais vagões estariam contribuindo para esses eventos. Assim, desenvolveu-se o CWDB (Cold Wheel Deficiency Braking), um alarme que, através dos valores de temperatura obtidos pelos equipamentos de *Hot Wheel* já existentes na malha da MRS Logística S/A, é capaz de determinar se um vagão apresenta ou não deficiência de frenagem. Isso se torna possível com o cálculo do percentual entre a temperatura média das rodas de um vagão e a temperatura média das rodas dos vagões do trem em que o mesmo está contido, este percentual esta diretamente relacionado à deficiência de frenagem de um vagão em relação a composição, o percentual foi utilizado como critério. Caso um vagão apresente valores inferiores ao critério estabelecido durante um determinado número de passagens subsequentes, ele será classificado como deficiente em frenagem. Assim, o CWDB torna-se uma ferramenta cujo objetivo principal é aumentar a segurança nas operações de trens da MRS Logística S/A bem como evitar a interrupção do tráfego por consequência de falhas no sistema de freio de toda a composição. Outro ganho a ser considerado é a redução de falhas (como, por exemplo, “*shelling*” e trincas térmicas) oriundas da exposição das rodas a altas temperaturas de trabalho, já que, com a melhoria na eficiência de frenagem dos vagões, há uma aplicação de freio mais homogênea em toda composição, o que irá provocar uma diminuição da temperatura média e, principalmente, máxima das rodas dos vagões.

Palavras-chave: 1. Vagões. 2. Deficiência de Frenagem. 3. Freio. 4. *Cold Wheel*

ABSTRACT

In view of the occurrences of failures during brake application on the train, realized the need to create a parameter that diagnoses which wagons are influencing on this events. So, the alarm CWDB (Cold Wheel Deficiency Braking) has been created to determine in advance if a wagon has braking disabilities using the temperature values obtained by already existing HOT WHELL equipments, the percentage from the average temperature of the wagon and the average temperature of the train is calculated. If a wagon presents a sufficient number of passes with percentages below the limit determined, this wagon is classified as deficient braking and a request for remove it of the trains is created. So, the application of CWDB not only increases safety during the train operation as it also avoids the interruption of rail traffic for trains which a high percent of wagons with brake failure. Another gain to be considered is the reduction of failures (such as shelling and thermal cracking) arising from the exposure of the wheels to high working temperatures, since, with the improvement in braking efficiency of the wagons, there is an uniform braking application in all train, which will cause a decrease of the average temperature of the wheels.

Keywords: 1. Wagons. 2. Deficiency Braking. 3. Brake. 4. Cold Wheel

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Divisão do Sistema Vagão em Subsistema.....	17
Figura 2 – Representação Generalizada do Subsistema Freio de um Vagão de Carga.....	18
Figura 3 – Representação Generalizada do Conjunto Pneumático do Subsistema Freio de um Vagão de Carga.....	19
Figura 4 – Representação Generalizada do Conjunto Mecânico do Subsistema Freio de um Vagão de Carga.....	21
Figura 5 – Coletor de Pó.....	22
Figura 6 – Localização do “Coletor de Pó” (destacado em vermelho) no Subsistema Freio.....	23
Figura 7 – Exemplo de Equipamento “ <i>Hot Wheel</i> ” Similar ao Utilizado Para o Desenvolvimento do CWDB.....	25
Figura 8 – Gradiente de Temperatura da Roda de um Vagão Submetido à Frenagem e o Perfil de Aquecimento da Mesma Fornecido pelo Equipamento de “ <i>Hot Wheel</i> ”.....	26
Figura 9 – Perfil de Aquecimento de Roda através do modo de medição “Peakfilter”.....	27
Figura 10 – Perfil de Aquecimento de Roda através do modo de medição “5 Point Medianfilter”.....	27
Figura 11 – Perfil de Aquecimento de Roda através do modo de medição “Averagefilter”.....	28
Figura 12 – Localização dos equipamentos <i>Hot Wheel</i> Distribuídos ao longo da Malha da MRS Logística S/A.....	30
Figura 13 – Gráfico de Dispersão com Todas as Temperaturas de Roda de um Trem.....	31
Figura 14 – Gráfico que mostra o comportamento da temperatura média de roda do vagão GDT-6132057 nas últimas 20 passagens por Mario Belo.....	33
Figura 15 – Gráfico que mostra o comportamento da temperatura média de roda do vagão GDT-6130305 nas últimas 20 passagens por Mario Belo.....	33
Figura 16 – Gráfico que mostra o ritmo mensal das indicações feitas pelo CWDB.....	35
Figura 17 – Variação Mensal da Temperatura Média de Roda e do Percentual de Rodas Frias para os Trens de Minério.....	36
Figura 18 – Variação Mensal da Temperatura Média de Roda dos Trens de Minério com e sem Percentual de Roda Fria.....	37
Figura 19 – Histograma das temperaturas de rodas dos trens NEL0160 e NEL0356.....	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Histórico de Temperatura em °C da Composição em estudo Destacando os Vagões mais Críticos.....	32
Tabela 2 – Critérios para a Definição do Novo Alarme CWDB.....	34
Tabela 3 – Dados de uma mesma formação de trem em dois instantes distintos: um com e outro sem roda fria.....	37

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	DEFINIÇÃO DOS OBJETIVOS.....	15
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1	SISTEMA VAGÃO.....	16
2.2	SUSISTEMA FREIO.....	17
2.2.1	Conjunto Pneumático	19
2.2.2	Conjunto Mecânico	20
2.2.3	Vagão Isolado	21
2.3	A UTILIZAÇÃO DO FREIO AUTOMÁTICO E A PROPAGAÇÃO DE CALOR EM RODAS FERROVIÁRIAS.....	23
2.4	O EQUIPAMENTO DE <i>HOT WHEEL</i> E SEU FUNCIONAMENTO.....	24
3	A ELABORAÇÃO DO NOVO ALARME DE DEFICIÊNCIA DE FRENAGEM	29
3.1	CONDIÇÕES DE CONTORNO: LOCALIZAÇÃO DO EQUIPAMENTO E PADRÃO OPERACIONAL DOS TRENS.....	29
3.2	ESCOLHA DOS PARÂMETROS.....	30
3.3	ESTUDO DE CASO E DEFINIÇÃO DOS CRITÉRIOS PARA O NOVO ALARME.....	32
4	APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS	35
5	CONCLUSÕES	39
6	PRÓXIMOS PASSOS	40
	REFERÊNCIAS	41
	ANEXO 1 – TERMO DE AUTENTICIDADE	42
	ANEXO 2 – DECLARAÇÃO DA EMPRESA	43

1 INTRODUÇÃO

Dentro do contexto ferroviário, a aquisição de equipamentos denominados “*Hot Wheel*” tem como objetivo inicial auxiliar no monitoramento das rodas que apresentem superelevação de suas temperaturas e, a partir disso, fornecer dados que sirvam como matéria prima para a construção de uma ferramenta preditiva de manutenção, capaz de garantir confiabilidade aos ativos e, além disso, otimizar recursos e aumentar a segurança operacional.

Partindo do princípio de que a temperatura de roda de um vagão é diretamente proporcional à intensidade (força) da aplicação de freio e ao período de tempo com o qual permanece em uso, buscou-se elaborar um alarme que apontasse vagões que, dentro de uma determinada formação de trem, estejam apresentando deficiência de frenagem (ou seja, taxas de aplicação de freio inferiores às desejadas e, portanto, estejam com temperaturas de roda abaixo do esperado) e, a partir disso, sinalizá-los para que as equipes de manutenção possam encaminhá-los à oficina assim que possível.

Para isso, utilizaram-se os mesmos dados de saída fornecidos pelos equipamentos de *Hot Wheel*, cuja aplicação inicial era única e exclusivamente para a detecção de vagões com rodas superaquecidas.

1.1 DEFINIÇÃO DOS OBJETIVOS

Em vista das ocorrências de falhas nas aplicações de freio durante a operação dos trens surgiu a necessidade da criação de um parâmetro que diagnosticasse quais vagões estariam contribuindo para a existência desses eventos. Assim, desenvolveu-se o CWDB (*Cold Wheel Deficiency Braking*), um alarme que, através dos valores das temperaturas de roda obtidos pelos equipamentos de *Hot Wheel*, é capaz de determinar se um vagão apresenta ou não deficiência de frenagem.

Dessa forma, o Alarme de Deficiência de Frenagem em Vagões buscará:

- Detectar deficiência de frenagem de vagões através da comparação estatística entre a temperatura média dos mesmos e a temperatura média de todo o trem;
- Reduzir o número de falhas/defeitos relacionados ao subsistema freio dos vagões;
- Utilizando os equipamentos de *Hot Wheel* já existentes ao longo da malha ferroviária da MRS Logística S.A. (sem que haja necessidade da aquisição de um novo equipamento).

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 SISTEMA VAGÃO

Numa ferrovia de carga, os vagões são os veículos responsáveis por armazenar e transportar os mais diferentes tipos de produtos possíveis. Por conta disso, são também expostos às condições operacionais de carga, descarga e circulação muito específicas, exigindo então que cada veículo possua características físicas bem particulares.

Porém, pode-se considerar que todo e qualquer vagão de carga será resultado da combinação de quatro subsistemas (Freitas, 2015):

- Estrutura: é basicamente o local onde se deposita a carga a ser transportada. Os vagões são nomeados e classificados primeiramente de acordo com o modelo de sua estrutura (Gôndolas, Plataformas, Hoopers, entre outros);

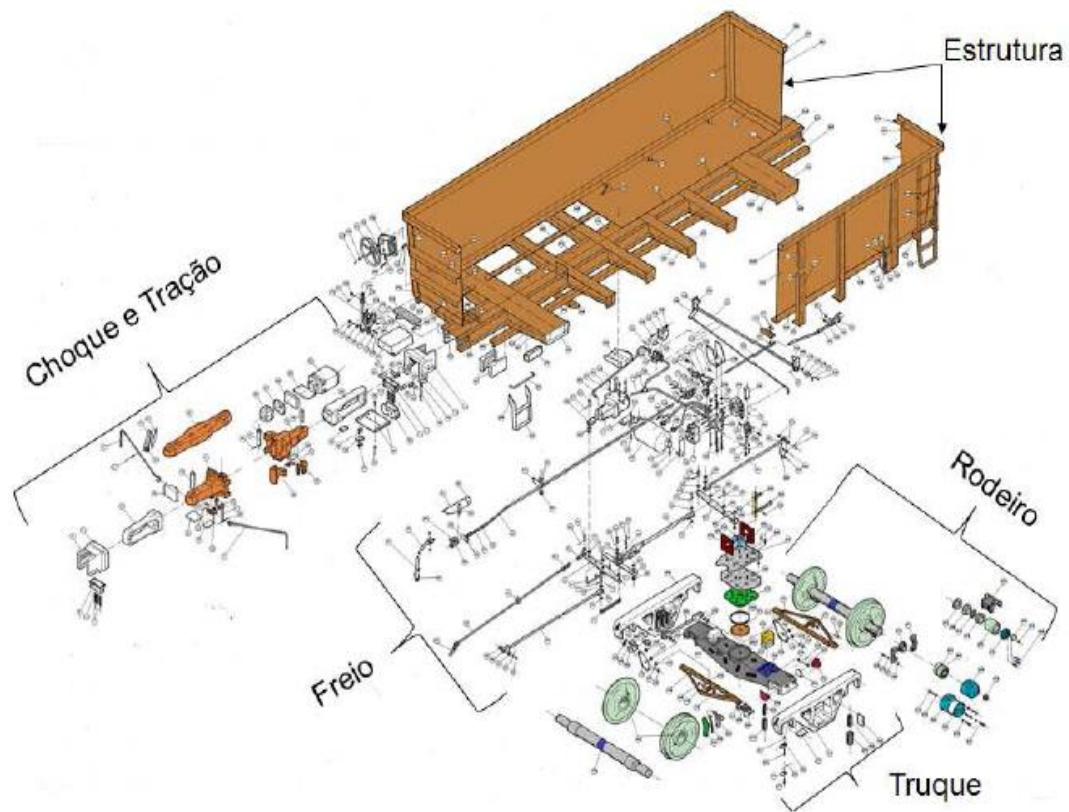
- Choque Tração: é o subsistema responsável pela união de um veículo ferroviário ao outro, além de também absorver os esforços de tração e compressão ocorridos durante a circulação do trem e conferir a ele maior flexibilidade;

- Truque: é a parte do vagão em que todos os outros subsistemas conversam entre si. Qualquer mudança em um de seus componentes irá afetar representativamente na qualidade da circulação de um vagão, tendo em vista que é nele em que ficam alojados os componentes responsáveis pelo amortecimento do mesmo. Além disso, no truque estão alojados os rodeiros, que são basicamente compostos por eixo, roda, rolamentos e adaptadores. Cada vagão possui no mínimo quatro rodeiros, sendo que na maioria dos modelos de vagões de carga, têm-se dois rodeiros por truque e dois truques por vagão;

- Freio: como o próprio nome diz, sua função é auxiliar no controle de velocidade do trem e até mesmo parar o mesmo. É o subsistema mais complexo do vagão.

Na figura 1 tem-se uma vista explodida de um vagão do tipo “gôndola”, exemplificando de que maneira os quatro subsistemas se distribuem e se relacionam.

Figura 1 – Divisão do Sistema Vagão em Subsistema



Fonte: FUNDAMENTOS DE VAGÕES MRS, 2015

O presente trabalho se dedicará a entender como funciona o subsistema freio e quais serão as conseqüências do seu mau funcionamento para a segurança operacional, tudo isso através da interpretação dos valores de temperatura de roda dos vagões.

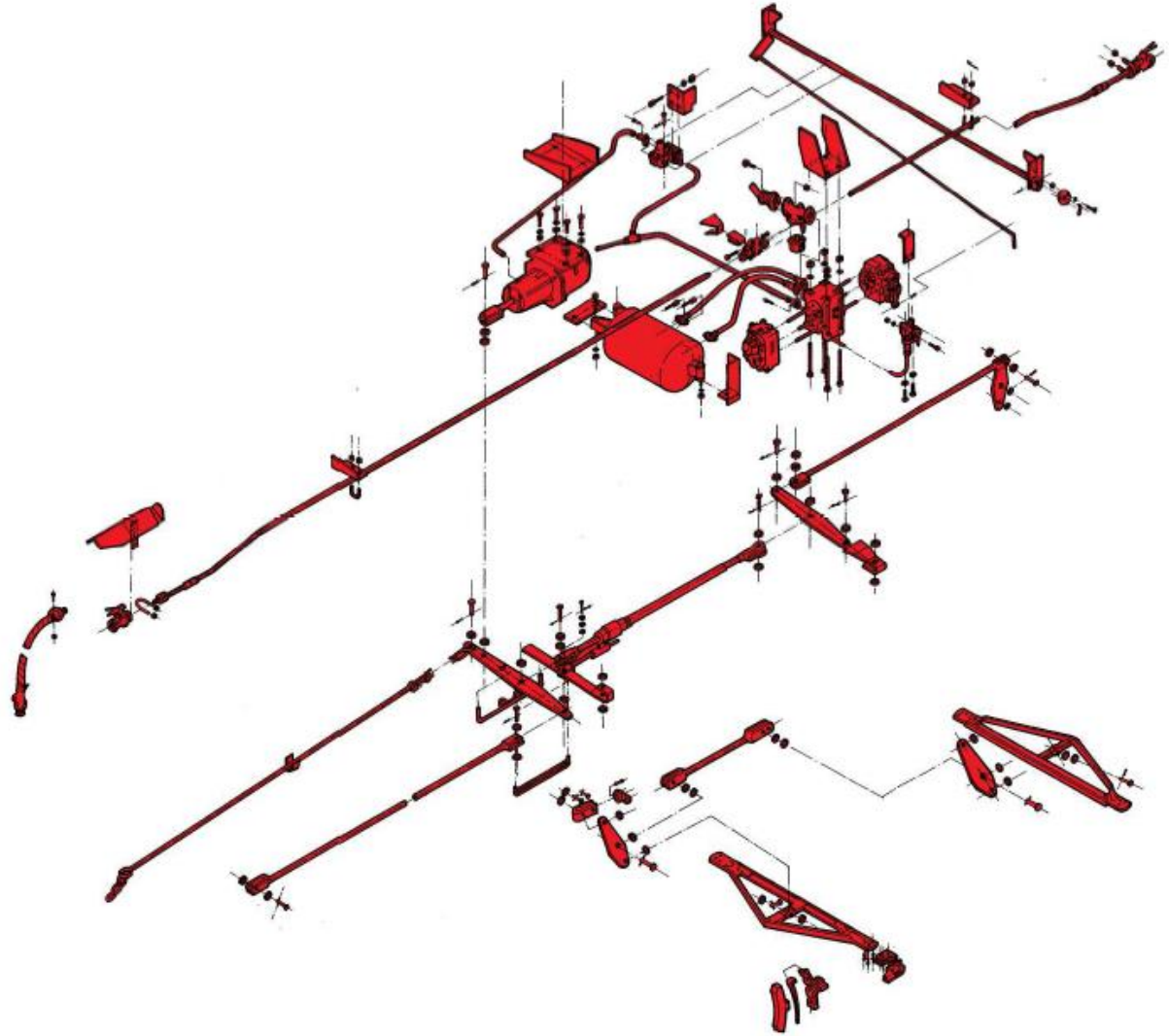
2.2 SUBSISTEMA FREIO

Conforme dito anteriormente, o subsistema freio dos vagões apresenta um elevado grau de complexibilidade e seu funcionamento influenciará diretamente na qualidade da circulação de um trem e garantirá uma maior segurança operacional.

Com isso, a medida com que os anos se passaram e a demanda do transporte ferroviário exigiu a formação de trens cada vez mais longos e pesados, houve a necessidade da modernização de todo o subsistema de tal forma que o mesmo suportasse condições de uso mais extremas e oferecesse respostas mais rápidas e eficientes quando solicitado. Foi a partir daí que o antigo Sistema de Freio a Ar Direto, utilizado até meados do século XIX, deu lugar

ao atual Sistema de Freio Automático (Silva, 2012), exemplificado de maneira genérica na figura 2.

Figura 2 – Representação Generalizada do Subsistema Freio de um Vagão de Carga



Fonte: FUNDAMENTOS DE VAGÕES MRS, 2015

Basicamente, a aplicação de freio no Sistema a Ar Direto ocorria quando o maquinista injetava ar no encanamento do trem aumentando a pressão do mesmo e, conseqüentemente, a pressão no interior da câmara do cilindro de freio de cada vagão. Dos cilindros, então, partia toda a força que seria transferida pelas timonias para que as sapatas encostassem-se à pista de rolagem das rodas.

Com a evolução para o Sistema de Freio Automático, o encanamento de ar do trem passou a trabalhar constantemente pressurizado, mesmo com os freios em alívio, e a aplicação ocorre quando há uma queda parcial ou total (no caso da aplicação do freio de emergência) de

pressão no encanamento. Dessa forma, configura-se um modo de “falha segura” de tal forma que, caso haja um fracionamento indesejado do trem (causado, por exemplo, por uma fratura de engate) o freio será acionado automaticamente.

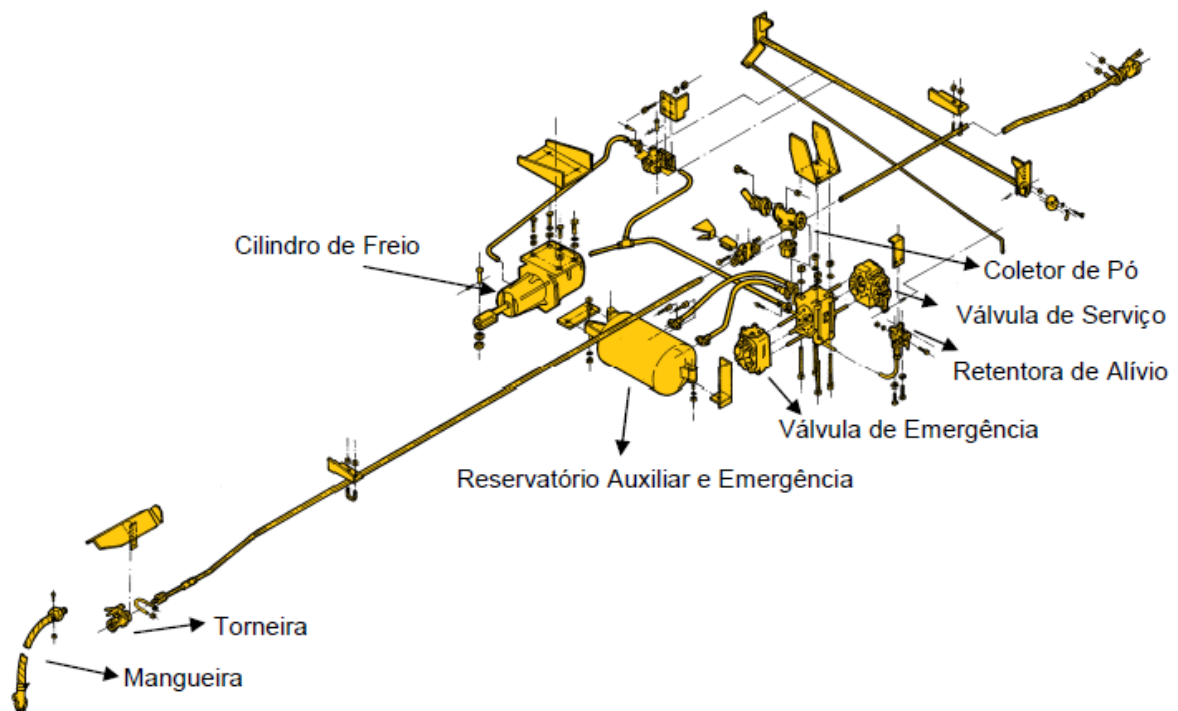
Essa evolução só foi possível com a implementação de componentes como válvulas de controle, reservatório de ar, válvulas retentoras de alívio e de funcionamento em vazio ou carregado e suas constantes modernizações.

A partir disso, pode-se entender o subsistema freio como sendo a união de dois subconjuntos: o pneumático e o mecânico.

2.2.1 Conjunto Pneumático

É composto pelos seguintes componentes: mangueiras, torneiras, encanamento geral (EG), válvulas de controle, coletor de pó, reservatório de ar, cilindro, válvula retentora de alívio, vazio carregado, conforme mostrado na figura 3.

Figura 3 – Representação Generalizada do Conjunto Pneumático do Subsistema Freio de um Vagão de Carga



Fonte: FUNDAMENTOS DE VAGÕES MRS, 2015

O ar que alimentará todo o subsistema origina-se de um compressor localizado dentro da locomotiva que, por sua vez, alimentará um grande reservatório principal e o manterá a

uma alta pressão (aproximadamente 130psi). Do reservatório da locomotiva, o ar percorre todo o trem através de mangueiras, bocais, torneiras e do encanamento e é direcionado para os reservatórios de cada vagão, até que seja atingida seu valor de pressão máxima (que para a MRS Logística S/A chega até 90psi). Nessa condição, com os freios em alívio, a pressão no interior do cilindro de freio permanece zerada.

A aplicação de freio começa quando uma queda de pressão no encanamento geral (EG) provoca uma diferença de pressão no interior das válvulas de controle e permite que parte do ar contido no reservatório de ar seja direcionado para dentro do cilindro de freio. A quantidade de ar que entra no cilindro é proporcional à queda de pressão no EG e é também controlada pela válvula vazio carregado, que, como o próprio nome já diz, é responsável por diferenciar a taxa de frenagem do vagão quando este está ou não em carga.

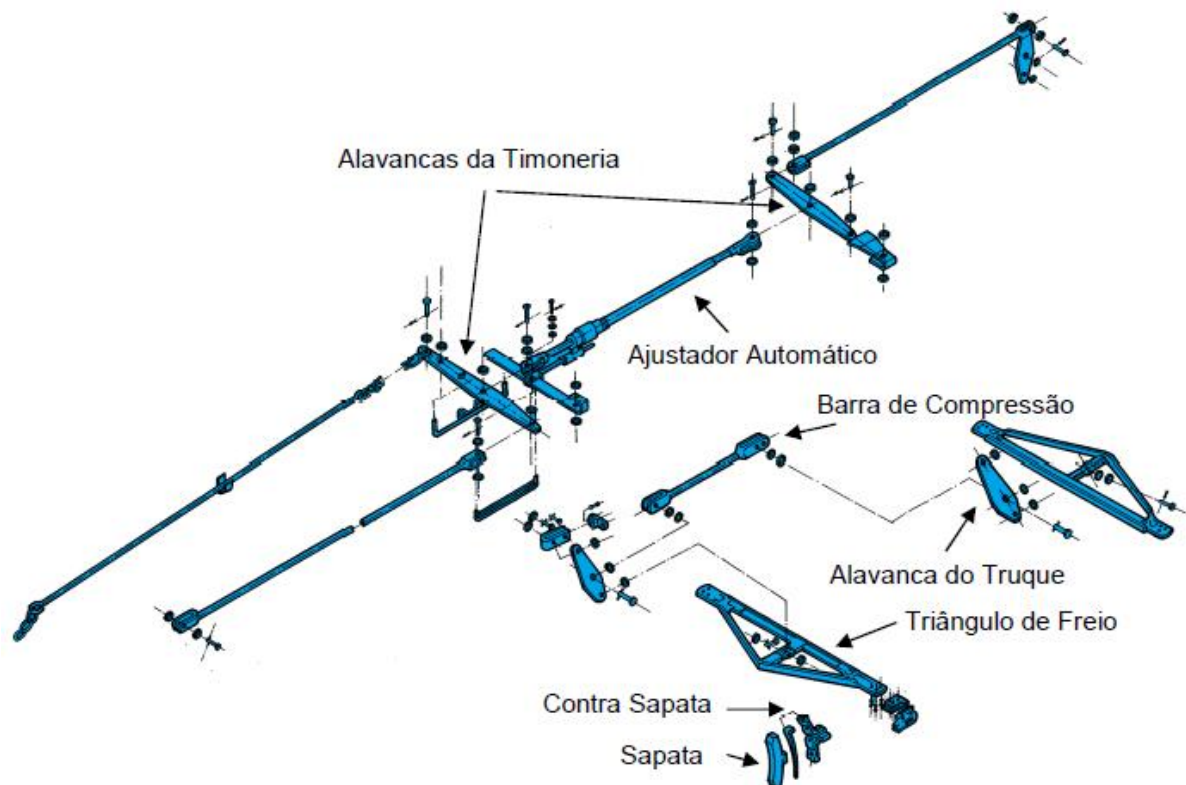
A fase de alívio dos freios ocorre quando a pressão no EG volta a subir e realimenta o reservatório de ar dos vagões. Já o ar no interior do cilindro é direcionado para a válvula retentora de alívio, responsável por controlar a vazão de escape do ar e, conseqüentemente, o tempo de alívio do freio.

Qualquer falha em algum dos componentes desse conjunto implica diretamente em alterações na intensidade e/ou na taxa de aplicação e alívio dos freios dos vagões e, portanto, poderá estar relacionada diretamente à deficiência de frenagem dos mesmos.

2.2.2 Conjunto Mecânico

É composto pelos seguintes componentes: timoneria de freio, ajustador de folga automático, sapata de freio, contra-sapata, barra de compressão, alavanca viva, triângulo de freio e o freio manual, conforme mostrado na figura 4.

Figura 4 – Representação Generalizada do Conjunto Mecânico do Subsistema Freio de um Vagão de Carga



Fonte: FUNDAMENTOS DE VAGÕES MRS, 2015

Basicamente, sua função é fazer com que a força oriunda do acionamento do cilindro de freio seja decomposta e transferida até que chegue às sapatas com a intensidade adequada para que se atinja a frenagem desejada.

Problemas de regulagem (como comprimento de hastes e angulação das mesmas), travamento ou soltura de algum de seus componentes podem provocar não só um superaquecimento dos rodeiros como também proporcionar frenagem com taxas abaixo do esperado.

2.2.3 Vagão Isolado

Quando, durante a circulação ou durante a inspeção de um trem, é encontrado algum modo falha ou defeito no subsistema freio de um ou mais vagões de tal forma que sejam oferecidos riscos à circulação da composição, deve-se realizar uma intervenção rápida a fim de garantir plena segurança até que os mesmos sejam retirados para correção em oficina.

Na grande maioria dos casos essa solução é chamada de “isolamento do vagão”, que consiste no “desligamento” pneumático ou mecânico do subsistema freio do mesmo. Dessa

forma, o vagão deixa de realizar aplicações quando for solicitado pelo maquinista sem interferir no desempenho dos demais veículos do trem.

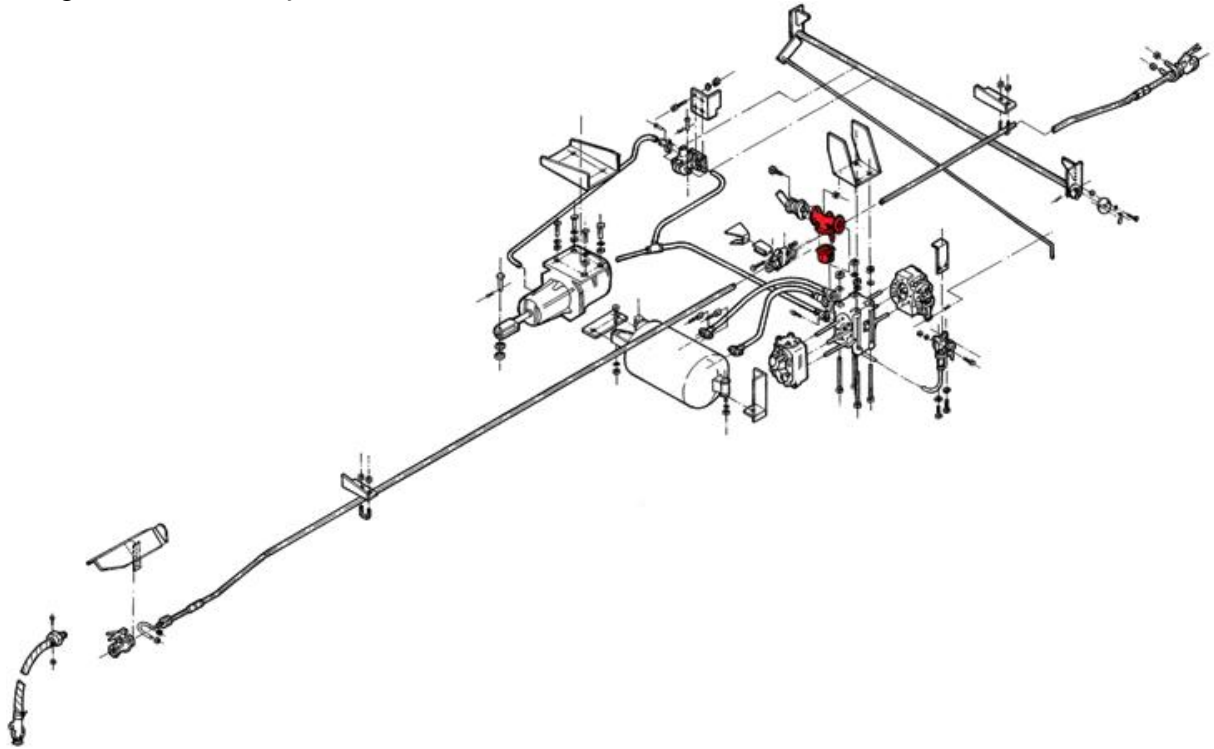
No caso do isolamento pneumático, realiza-se o fechamento do coletor de pó (figura 5 e figura 6) e o esgotamento de todo o ar dos reservatórios do vagão. Este é o componente que faz a ligação entre o encanamento geral do trem e os demais componentes pneumáticos do vagão. Assim, o vagão que está isolado perde a função de frenagem e passa a se comportar apenas como um condutor de ar (através do encanamento geral) para os demais vagões.

Figura 5 – Coletor de Pó



Fonte: FUNDAMENTOS DE VAGÕES MRS, 2015

Figura 6 – Localização do “Coletor de Pó” (destacado em vermelho) no Subsistema Freio



Fonte: FUNDAMENTOS DE VAGÕES MRS, 2015

Já o isolamento mecânico se dá pela soltura da timoneria de freio. Ou seja, mesmo que as válvulas direcionem o ar dos reservatórios para o interior da câmara do cilindro de freio quando realizada uma redução de pressão no EG pelo maquinista, não haverá transferência de força de frenagem para que as sapatas se movimentem e encostem-se nas rodas.

Sempre que um vagão for “isolado” é de extrema importância que tal atividade seja devidamente registrada no sistema para que a equipe responsável pela formação dos trens organize toda a composição de maneira adequada e segura.

A decisão a cerca da realização do isolamento pneumático ou mecânico será tomada de acordo com o modo de falha encontrado no momento da ocorrência. Porém, em ambos os casos o efeito final será o mesmo: a não aplicação de freio.

2.3 A UTILIZAÇÃO DO FREIO AUTOMÁTICO E A PROPAGAÇÃO DE CALOR EM RODAS FERROVIÁRIAS

Para que a velocidade de um trem seja controlada é necessário que parte da energia cinética de sua circulação seja dissipada na forma de calor através do atrito entre sapata de freio e roda. E é esse calor o principal responsável pela elevação das temperaturas das rodas

dos vagões durante sua circulação e utilização do freio automático. Dessa forma, tem-se a seguinte relação direta:

- Temperaturas de roda ALTAS indicam taxas excessivas de frenagem;
- Temperaturas de roda BAIXAS indicam falhas na aplicação de freio.

O valor exato da temperatura de uma roda irá depender primeiramente de propriedades termomecânicas tais como condutibilidade, capacidade térmica e o coeficiente de expansão térmica do material do qual a mesma é feita. Porém, rodas de vagões submetidos a mesmas condições operacionais tendem a apresentar temperaturas de roda similares. Dessa forma, pode-se dizer que o valor médio da temperatura de roda de um trem é reflexo da combinação de algumas condições de contorno como:

- Velocidade de circulação;
- Peso bruto do trem;
- Intensidade da aplicação de freio;
- Tempo total no qual a aplicação é mantida;
- E inclinação do trecho.

A partir daí, torna-se possível definir quais seriam os valores de temperatura de roda aceitáveis em determinados pontos da ferrovia e, conseqüentemente, quais vagões estariam apresentando um comportamento anormal, seja por conta de uma aplicação excessiva de freio ou por uma aplicação abaixo do desejado.

2.4 O EQUIPAMENTO DE *HOT WHEEL* E SEU FUNCIONAMENTO

A evolução do modal ferroviário ao longo dos anos, além de exigir melhorias de projeto dos vagões, locomotivas e da via permanente, fez com que surgissem novos modelos e estratégias de manutenção que buscassem não só garantir maior segurança operacional como também auxiliar na priorização e planejamento da execução de intervenções nos ativos.

A partir daí surgem os chamados “*waysides*” que nada mais são do que equipamentos instalados ao longo da via cuja principal função é o monitoramento dinâmicos dos ativos que por ela circulam a fim de identificar possíveis defeitos nos mesmos. Dessa forma, são fornecidos dados que, após serem tratados e analisados pela área de engenharia, servirão como base para o desenvolvimento de critérios que definirão as regras da manutenção buscando sempre garantir um equilíbrio entre a confiabilidade e a disponibilidade dos ativos.

Um desses equipamentos é o chamado *Hot Wheel* (figura 7), que, como o próprio nome já diz, busca indicar veículos que estejam apresentando valores elevados de temperatura

de roda e, com isso, evitar conseqüências como defeitos superficiais na pista de rolagem das rodas (como, por exemplo, trincas térmicas, escamação ou “*shelling*”, cavitação ou “*spalling*”) ou até mesmo uma alteração nos padrões de tensão residuas na região do aro da roda e, dessa forma, contribuir para uma fratura da mesma.

Para que ocorram as medições de temperatura de roda, o equipamento de *Hot Wheel* conta com dois sensores instalados próximos à via que possuem pirômetros capazes de medir a radiação infravermelha emitida pelas rodas e, em seguida, codificam a radiação e transformá-la em valores absolutos de temperatura (descontando o valor da temperatura ambiente).

Figura 7 – Exemplo de Equipamento “*Hot Wheel*” Similar ao Utilizado Para o Desenvolvimento do CWDB

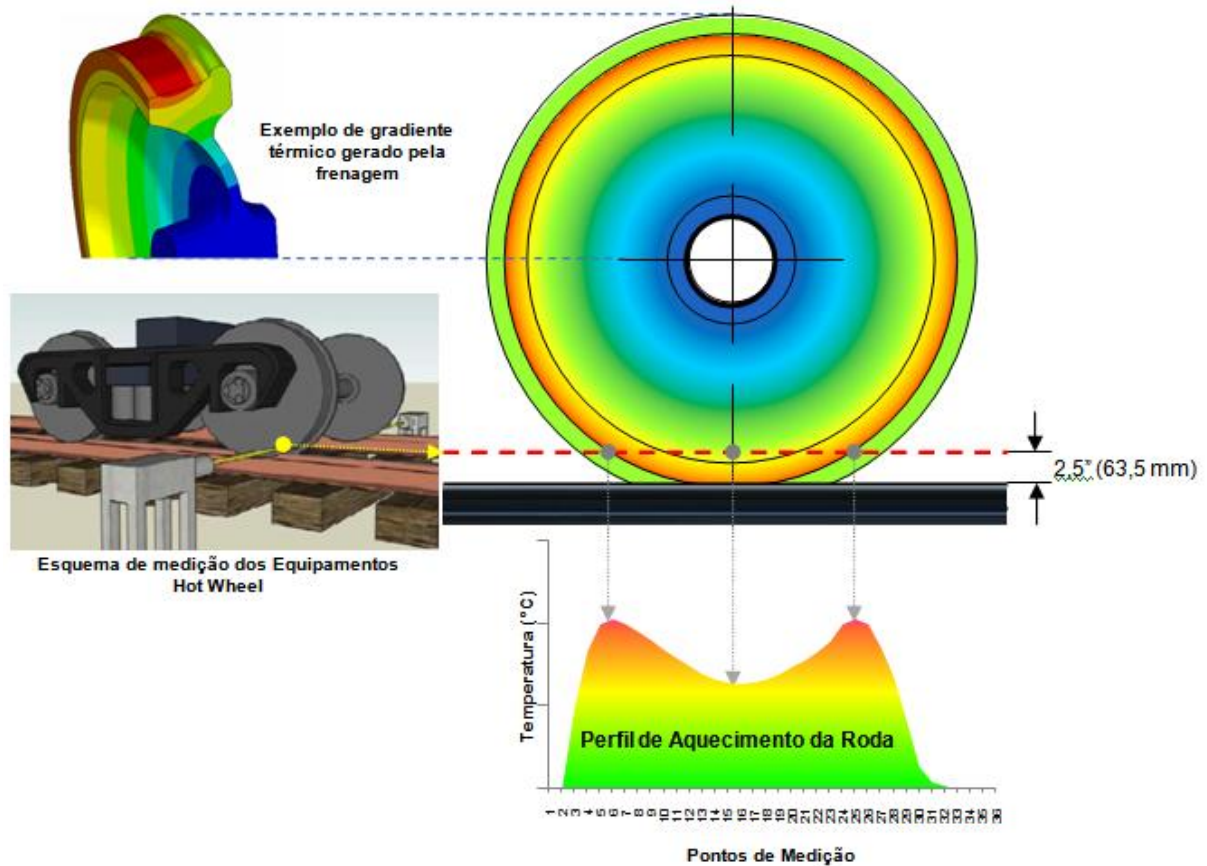


Fonte: FUNDAMENTOS DE VAGÕES MRS, 2015

Porém, não há uma homogeneidade de temperatura ao longo de toda a superfície da roda. Regiões como banda de rolagem e aro da roda apresentam maior aquecimento quando comparados com disco e cubo, por exemplo. Para que essas variações no valor de temperatura sejam minimizadas e, o equipamento de *Hot Wheel* coleta 36 pontos de medição ao longo da roda a cerca de 2,5” (63,5mm) de altura em relação ao topo do trilho, gerando o que chama-se

de “perfil de aquecimento”. A figura 8 mostra como é gerado o perfil de aquecimento de uma roda e de que maneira o calor se distribui ao longo de sua superfície.

Figura 8 – Gradiente de Temperatura da Roda de um Vagão Submetido à Frenagem e o Perfil de Aquecimento da Mesma Fornecido pelo Equipamento de “Hot Wheel”

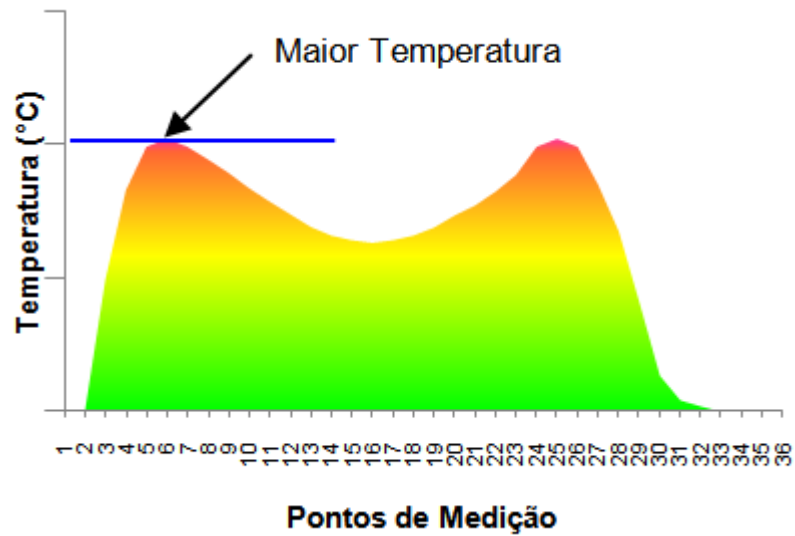


Fonte: PROPOSTA NOVO CRITÉRIO DE ALARME *HOT WHEEL* CARREGADO V02, 2016

Existem maneiras diferentes de se parametrizar o equipamento de *Hot Wheel* e interpretar o perfil de temperatura por ele emitido até que seja gerado um alarme de roda aquecida. São elas:

- **Peakfilter:** considera como referência o valor máximo de temperatura medido ao longo dos 36 pontos do perfil, independente da posição do mesmo, conforme mostrado na figura 9;

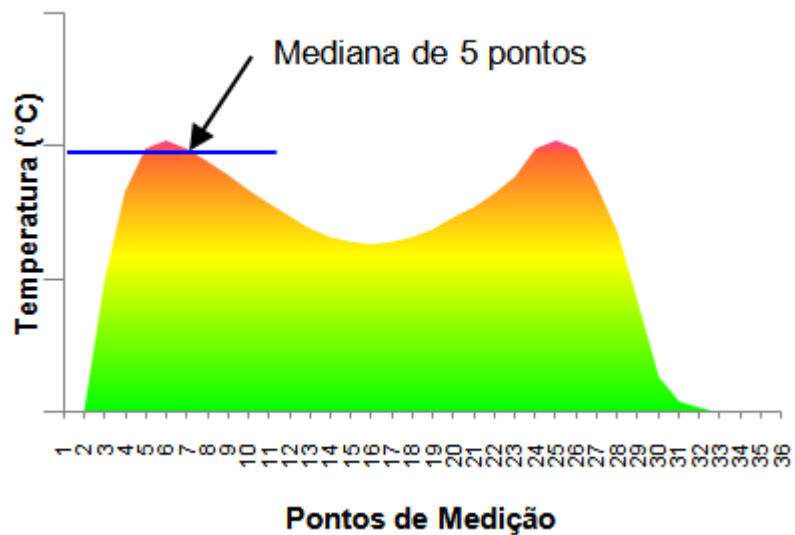
Figura 9 – Perfil de Aquecimento de Roda através do modo de medição “*Peakfilter*”



Fonte: PROPOSTA NOVO CRITÉRIO DE ALARME *HOT WHEEL* CARREGADO V02, 2016

• **5 Point Medianfilter:** o valor a ser considerado é uma mediana de cinco pontos consecutivos medidos, ou seja, será a 3ª maior temperatura num intervalo de 5 medições, conforme mostrado na figura 10;

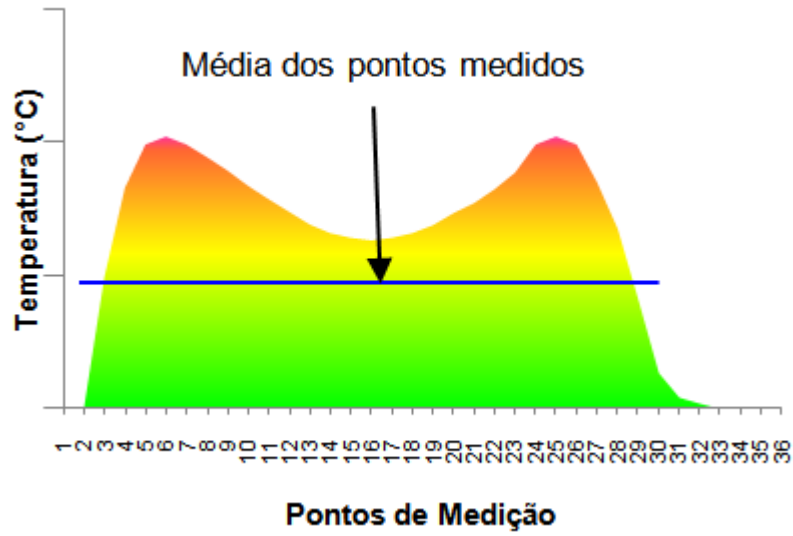
Figura 10 – Perfil de Aquecimento de Roda através do modo de medição “*5 Point Medianfilter*”



Fonte: PROPOSTA NOVO CRITÉRIO DE ALARME *HOT WHEEL* CARREGADO V02, 2016

• **Averagefilter:** é basicamente o valor médio de temperatura dos 36 pontos coletados pelo equipamento, conforme mostrado na figura 11.

Figura 11 – Perfil de Aquecimento de Roda através do modo de medição “Averagefilter”



Fonte: PROPOSTA NOVO CRITÉRIO DE ALARME *HOT WHEEL* CARREGADO V02, 2016

3 A ELABORAÇÃO DO NOVO ALARME DE DEFICIÊNCIA DE FRENAGEM

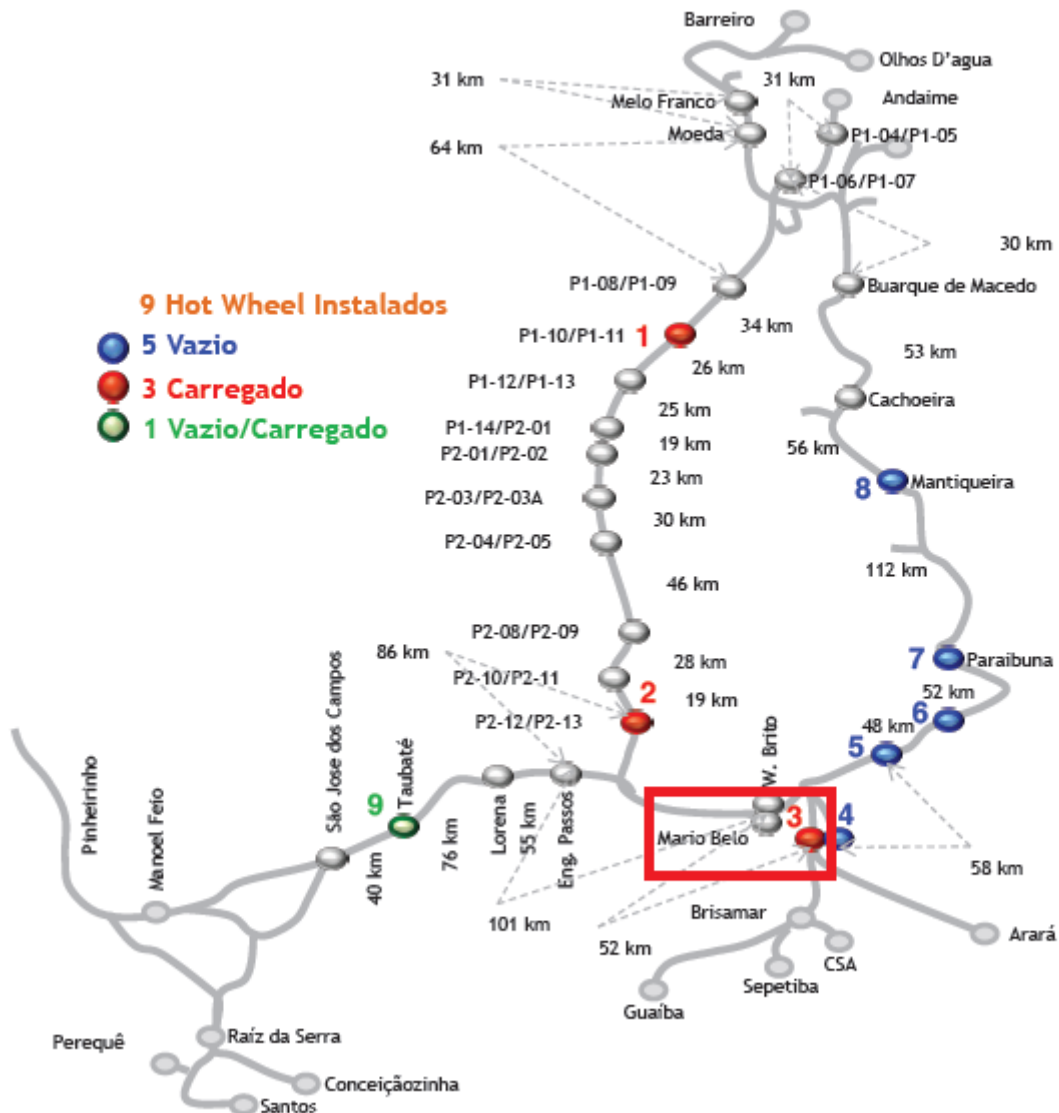
3.1 CONDIÇÕES DE CONTORNO: LOCALIZAÇÃO DO EQUIPAMENTO E PADRÃO OPERACIONAL DOS TRENS

A malha ferroviária da MRS conta atualmente com 9 equipamentos de *Hot Wheel* instalados ao longo da via, cada um localizado em um ponto estratégico diferente a fim de mapear o maior número de ativos possível e garantir que as mais diversas condições operacionais sejam monitoradas em tempo real. Na figura 12 é possível identificar a localização exata de cada equipamento, bem como distinguir o tipo de trem que por ele circula (vazio e/ou carregado).

Conforme comentado no item 2.2 deste presente trabalho, existem algumas condições de contorno que contribuem de maneira representativa para a elevação de temperatura de roda dos vagões. A partir disso, a escolha do *Hot Wheel* instalado na região de Mario Belo (em destaque mostrado na Figura 12) para parametrização do alarme surge como mais adequada dentre todos os outros equipamentos por apresentar as seguintes características:

- Ser um trecho de rampa descendente (inclinação média de 1,7% com pontos chegando a até 2,5%);
- Local por onde passam os trens de minério da MRS Logística S.A., formados em sua grande maioria por composições de 2 locomotivas e 134 vagões carregados (com peso bruto de aproximadamente 130t cada um);
- Possui condições operacionais tais que se tem aplicações de freio contínuas e prolongadas. Do momento em que se inicia a descida até ser realizada a leitura pelo equipamento de *Hot Wheel* tem-se uma distância de aproximadamente 16km em que toda a composição se encontra com os freios aplicados por uma redução entre 8 e 10psi a uma velocidade de 36km/h, o que nos dá em média cerca de 25 a 30 minutos com os freios aplicados.

Figura 12 – Localização dos equipamentos *Hot Wheel* Distribuídos ao longo da Malha da MRS Logística S/A.

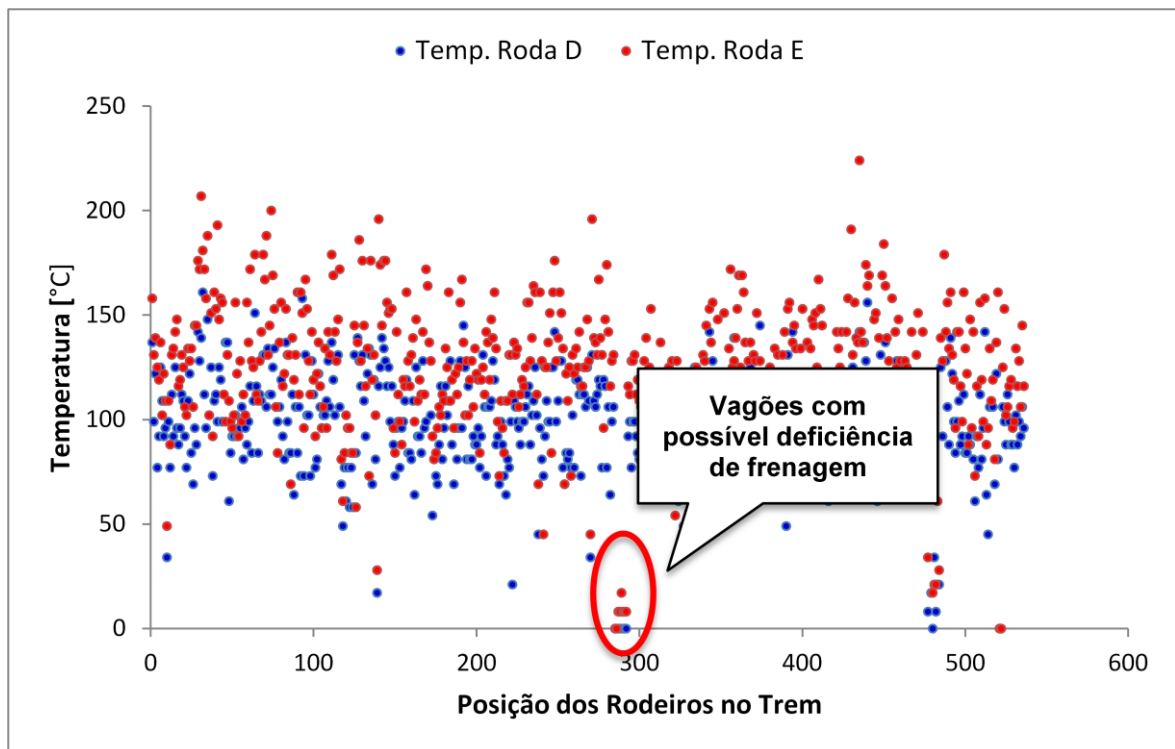


Fonte: FUNDAMENTOS DE VAGÕES MRS, 2017

3.2 ESCOLHA DOS PARÂMETROS

Analisando um gráfico de dispersão que traz os valores de temperatura de cada roda de um determinado trem de minério carregado na região de Mário Belo (que, portanto se enquadra nas condições de contorno já pré-estabelecidas no item 3.2) pode-se, ao comparar a temperatura média das rodas do vagão com a temperatura média das rodas do trem, observar que há uma nítida diferença quando este possui um ou mais vagões que estejam apresentando deficiência de frenagem, fato que pode ser visto na figura 12.

Figura 13 – Gráfico de Dispersão com Todas as Temperaturas de Roda de um Trem



Fonte: ELABORADO PELO PRÓPRIO AUTOR, 2015

Sendo assim, para iniciar a criação de um Alarme de Deficiência de Frenagem em Vagões podem-se levar em consideração os seguintes parâmetros:

$$(1) \quad TM_v = \frac{\sum TR_v}{8}$$

$$(2) \quad TM_t = \frac{\sum TR_t}{8 \times V}$$

$$(3) \quad X = \frac{TM_v}{TM_t} \times 100$$

Em que:

TM_v = temperatura média das rodas do vagão;

TM_t = temperatura média das rodas do trem;

$\sum TR_v$ = somatório das temperaturas das rodas do vagão;

$\sum TR_t$ = somatório das temperaturas das rodas do trem;

V = número de vagões no trem;

e X um valor dado em porcentagem.

A partir daí, começam os estudos que irão definir se o parâmetro escolhido será ou não satisfatório e, além disso, qual será o critério base para que vagões que de fato apresentem deficiência de frenagem possam ser indicados corretamente, sem prejudicar a disponibilidade dos ativos e nem impactar a circulação de trens com paradas indesejadas

3.3 ESTUDO DE CASO E DEFINIÇÃO DOS CRITÉRIOS PARA O NOVO ALARME

Para que sejam encontrados os valores satisfatórios de TMv, TMt e X, utilizou-se um trem que, segundo o relato do maquinista, apresentou dificuldades de controle da velocidade em serra durante a aplicação dos freios. A partir daí, fez-se um estudo das temperaturas coletadas pelo equipamento de *Hot Wheel* localizado em Mario Belo (sentido trem carregado) durante as várias passagens do trem pelo local. Assim, foi possível detectar quais seriam os vagões mais críticos da composição (ou seja, aqueles que apresentaram, durante várias passagens, temperaturas relativamente mais baixas do que os demais veículos da composição) e, a partir disso, obtiveram-se os dados da tabela 1:

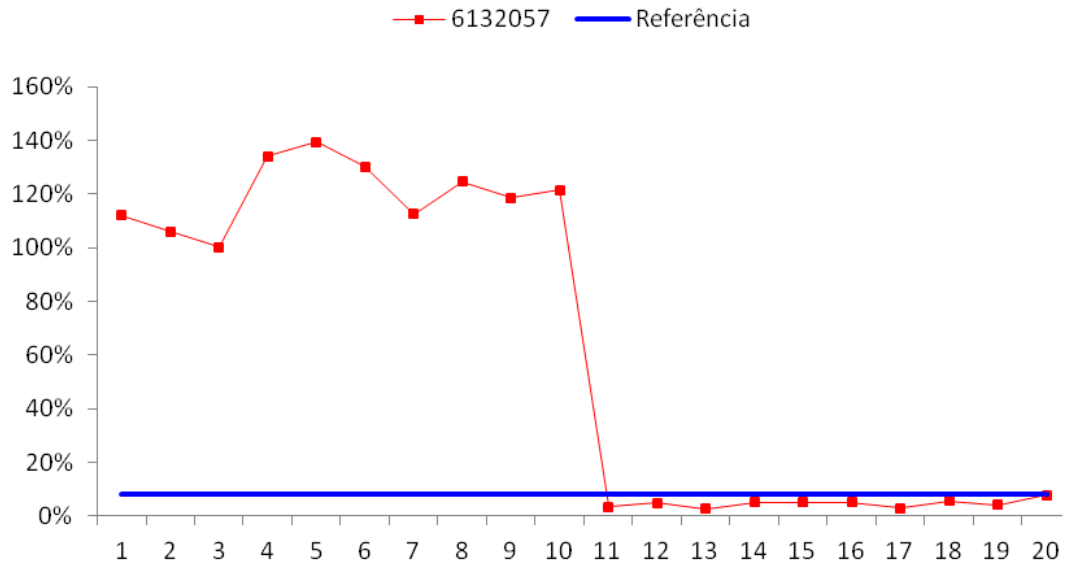
Tabela 1 – Histórico de Temperatura em °C da Composição em estudo Destacando os Vagões mais Críticos

Data	Trem	Média E	Média D	Maior E	Maior D	6132057				6130305			
						Média Trem	Média Vagão	% defasagem	Referência	Média Vagão	% defasagem	Referência	
1 07/12/2013 18:07	NEG8312	119,86	120,36	224	251	120,11	134,625	112%	8%	4,75	4%	8%	
2 10/12/2013 23:22	NAS8118	121,21	123,04	216	218	122,125	129,375	106%	8%	12,875	11%	8%	
3 15/12/2013 15:19	NAG1128	108,5	118,65	218	270	113,575	113,75	100%	8%	13,375	12%	8%	
4 20/12/2013 13:04	NAG1238	108,1	110,9	193	220	109,5	146,875	134%	8%	4,25	4%	8%	
5 24/12/2013 06:22	NFQ0244	99,9	103,51	172	181	101,705	141,625	139%	8%	8,75	9%	8%	
6 27/12/2013 06:21	NFS1252	115,64	119,79	211	218	117,715	153,25	130%	8%	9,125	8%	8%	
7 29/12/2013 23:46	NEG8158	112,67	112,93	216	216	112,8	127	113%	8%	5,25	5%	8%	
8 02/01/2014 06:40	NFS1102	118,63	122,17	241	218	120,4	150	125%	8%	6,125	5%	8%	
9 04/01/2014 13:48	NEG6106	125,56	130,83	226	231	128,195	151,875	118%	8%	18,375	14%	8%	
10 07/01/2014 12:47	NAG1112	116,81	121,61	238	238	119,21	144,75	121%	8%	7,75	7%	8%	
11 10/01/2014 08:27	NFS1318	120,4	124,72	244	231	122,56	4,25	3%	8%	5,25	4%	8%	
12 13/01/2014 10:24	NEG8124	130,1	129,55	294	251	129,825	6,25	5%	8%	24,125	19%	8%	
13 17/01/2014 14:03	NEG8132	115,74	117,82	222	220	116,78	3,125	3%	8%	4,75	4%	8%	
14 19/01/2014 17:42	NEG0136	121,16	123,1	237	228	122,13	6,25	5%	8%	14,75	12%	8%	
15 22/01/2014 16:37	NFG0242	118,82	122,52	224	204	120,67	6,25	5,2%	8%	11,375	9,4%	8%	
16 25/01/2014 06:16	NFS1148	120,25	123,85	288	244	122,05	6,25	5,1%	8%	5,25	4,3%	8%	
17 28/01/2014 12:36	NFS1354	101,1	105,77	224	184	103,435	3,125	3,0%	8%	4,25	4,1%	8%	
18 31/01/2014 05:12	NFG0160	109,9	113,89	261	213	111,895	6,25	5,6%	8%	6,625	5,9%	8%	
19 03/02/2014 04:50	NFS1204	129,34	121,58	253	224	125,46	5,25	4,2%	8%	4,25	3,4%	8%	
20 05/02/2014 19:05	NFS1108	124,6	120,12	294	238	122,36	9,5	7,8%	8%	5,25	4,3%	8%	

Fonte: ELABORADO PELO PRÓPRIO AUTOR, 2015

A partir dessas informações, criou-se o gráfico 2 que mostra que num período de 3 (três) meses o vagão GDT-613205-7 apresentou as primeiras 10 (dez) passagens com X acima de 8% e as últimas 10 (dez) passagens com X abaixo desse percentual.

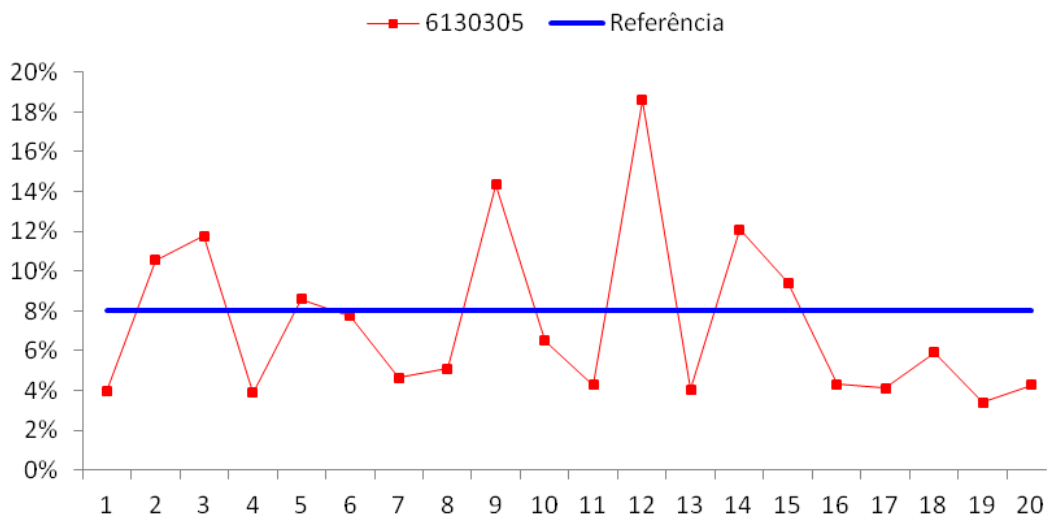
Figura 14 – Gráfico que mostra o comportamento da temperatura média de roda do vagão GDT-6132057 nas últimas 20 passagens por Mario Belo



Fonte: ELABORADO PELO PRÓPRIO AUTOR, 2015

Além disso, criou-se o gráfico 3 que mostra o comportamento do vagão GDT-613030-5 durante o mesmo período de tempo. Este, por sua vez, apresentou inúmeras passagens com X abaixo do percentual de referência e, além disso, suas 5 (cinco) últimas passagens consecutivas apresentaram tal comportamento.

Figura 15 – Gráfico que mostra o comportamento da temperatura média de roda do vagão GDT-6130305 nas últimas 20 passagens por Mario Belo



Fonte: ELABORADO PELO PRÓPRIO AUTOR, 2015

O fato de se ter um número consecutivo de passagens com temperaturas abaixo da linha de referência é um potencial indicativo de que o vagão não está freando corretamente além de aumentar ainda mais o grau de acerto do critério. Já o valor da linha de referência que representa o parâmetro X foi determinado empiricamente a fim de ser criterioso ao ponto de diagnosticar, entre os veículos em análise, o vagão com maior deficiência de frenagem e, além disso, determina um número de passagens consecutivas suficientes para a confirmação da falha.

Assim, a partir do estudo de caso acima, surgem os primeiros critérios para classificar um vagão como deficiente em frenagem. São eles:

- 1) Razão X inferior ao valor de referência (ou seja, T_{mv} inferior a 8% da T_{Mt});
- 2) Vagão apresentar, em 7 (sete) passagens pelo equipamento de Mario Belo (sentido sul, trem carregado) consecutivas, no mínimo 5 (cinco) ocorrências com temperatura suficientemente baixa para não atingir o valor de referência.

Tabela 2 – Critérios para a Definição do Novo Alarme CWDB

Nº Ocorrências	Nº Passagens	Critério	Local	Temp. Média Trem
5	7	$0,08 \geq \frac{T_{Mv}}{T_{Mt}}$	Mario Belo (sentido sul, trem carregado)	$> 40^{\circ}\text{C}$

Fonte: ELABORADO PELO PRÓPRIO AUTOR, 2015

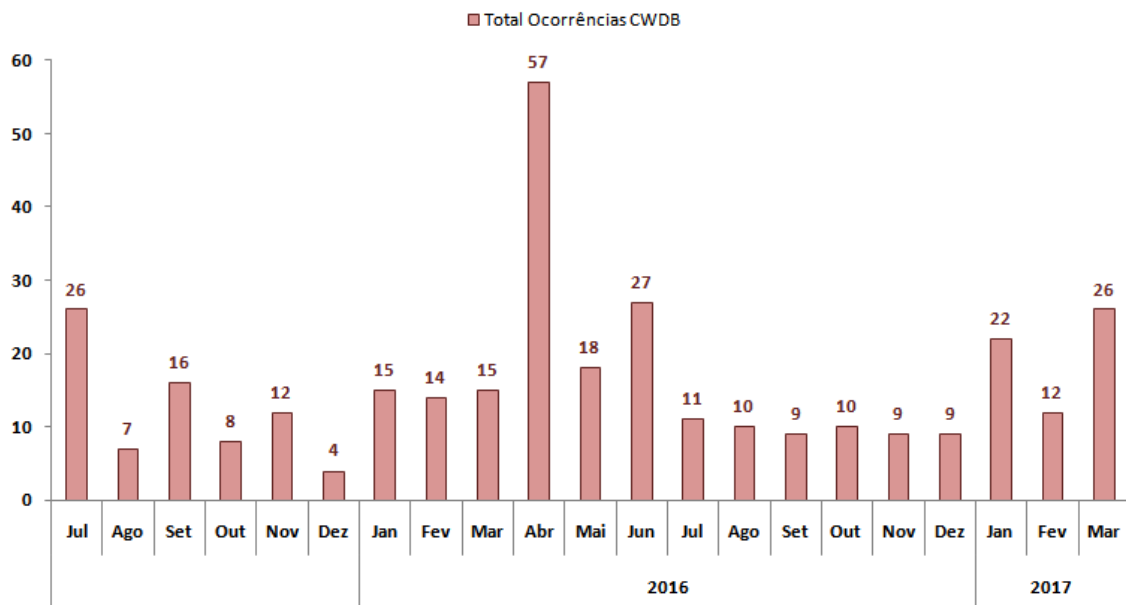
O valor mínimo de uma temperatura média de rodas de um trem foi escolhido como 40°C a fim tornar o alarme ainda mais seletivo e assertivo, filtrando e desconsiderando os casos em que forem feitas medições de vagões que estejam circulando com velocidades baixas (devido a parada do trem logo antes de passar pelo equipamento de *Hot Wheel*) ou quando submetidos a baixos esforços de frenagem pneumática, como é o caso de composições curtas, nas quais muitas das vezes a velocidade do trem é controlada majoritariamente pelo uso dos freios das locomotivas e em sua minoria pelo uso dos freios dos vagões.

Escolhidos os parâmetros e definidos os critérios iniciais do CWDB, o próximo passo foi colocá-los em produção e verificar se os mesmos atendem apenas aos casos estudados ou se podem ser aplicados de maneira generalizada em todos os demais trens que circulem na condição de carregado pelo equipamento de *Hot Wheel* em Mario Belo.

4 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Desde que foi colocado em produção, em Julho de 2015 até Março de 2017, o CWDB possibilitou o diagnóstico de mais de 300 vagões com deficiência de frenagem para serem encaminhados à oficina através de uma média de 17 indicações por mês (conforme mostra o gráfico 4), contribuindo para que o percentual de rodas frias em trens fosse mais bem entendido e também administrado. De todos os veículos alarmados, apenas 5% apresentou algum tipo de reincidência, ou seja, veio a apresentar novamente deficiência de frenagem mesmo após ter passado por intervenção em oficina. Os outros 95%, assim que saíram de oficina, apresentaram aplicação de freio normal ao passar pelo equipamento de Mario Belo, ou seja, recuperaram as condições ideais de frenagem.

Figura 16 – Gráfico que mostra o ritmo mensal das indicações feitas pelo CWDB



Fonte: ELABORADO PELO PRÓPRIO AUTOR, 2015

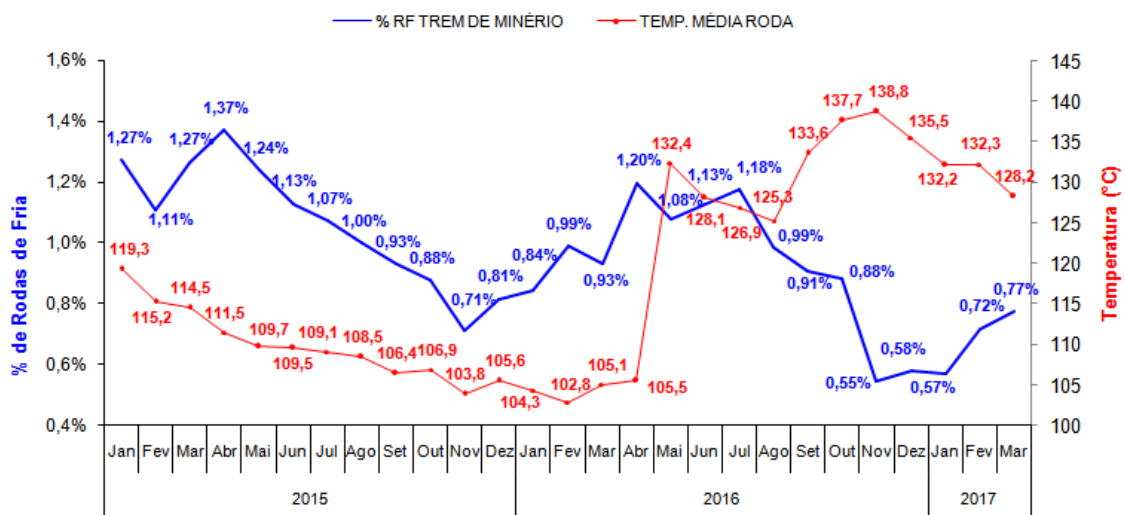
É importante afirmar que só foram contabilizados os alarmes que indicaram os veículos “não isolados”, ou seja, vagões que até então não apresentavam nenhum tipo de restrição no seu subsistema freio.

Observação: em Abril de 2016, a equipe de Eletroeletrônica da MRS (responsável pela manutenção e suporte técnico dos *waysides*) realizou uma recalibração dos pirômetros do *Hot Wheel* de Mario Belo. Este fato influenciou diretamente nos valores de temperatura de roda por ele medidos e, conseqüentemente no ritmo de alarmes CWDB a partir de então.

Além de servir como uma ferramenta de identificação de vagões com deficiência de frenagem, o desenvolvimento do CWDB permitiu também um melhor entendimento a respeito dos fenômenos relacionados aos processos de dissipação da energia cinética e conseqüente transferência de calor às rodas dos vagões durante frenagens de um trem. Ou seja, à medida que os vagões com deficiência de frenagem são tratados e retornam para circulação em boas condições, observa-se não só uma redução do percentual de rodas frias nos trens de minério (ou seja, quando um ou mais vagões apresentam todas as rodas com temperatura absoluta com valores abaixo de 30% da temperatura média de roda de todo o trem) como também variações nos valores de temperatura média e máxima de roda dos vagões.

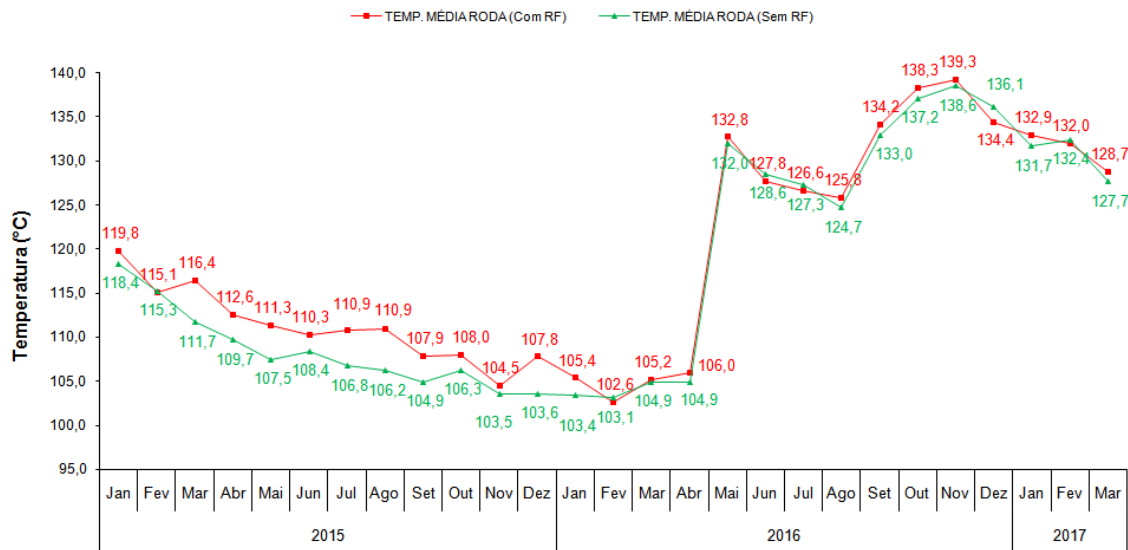
Essa relação direta pode ser melhor entendida observando o gráfico 5, que mostra a variação mensal da temperatura média de roda e do percentual de rodas frias para os trens de minério na MRS Logística desde a implementação do novo alarme, e pelo gráfico 6, que mostra um comparativo entre a variação mensal da temperatura média de roda dos trens de minério com e sem percentual de roda fria.

Figura 17 – Variação Mensal da Temperatura Média de Roda e do Percentual de Rodas Frias para os Trens de Minério



Fonte: ELABORADO PELO PRÓPRIO AUTOR, 2015

Figura 18 – Variação Mensal da Temperatura Média de Roda dos Trens de Minério com e sem Percentual de Roda Fria



Fonte: ELABORADO PELO PRÓPRIO AUTOR, 2015

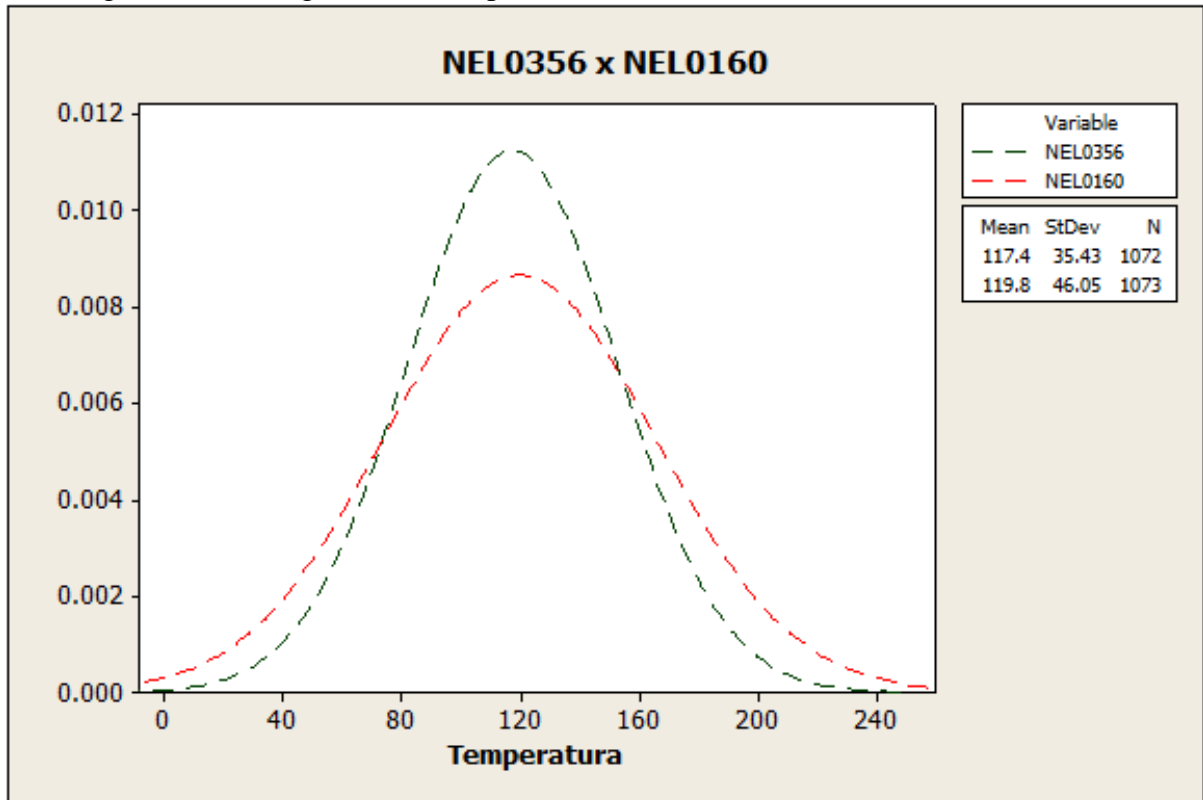
Esses fenômenos se devem pelo fato de que a dissipação da energia cinética através do atrito entre sapatas e rodas em forma de calor, com a diminuição do percentual de rodas frias, irá ocorrer de maneira mais homogênea, ou seja, melhor distribuída em toda composição, evitando a sobrecarga de frenagem de alguns veículos e até mesmo um possível superaquecimento das rodas. Isso fica claro no exemplo mostrado na tabela 3, em que analisando a mesma formação de trem (mesmos vagões e mesmas locomotivas) em dois momentos diferentes, um em que foi constatado 6,72% de rodas frias (trem NEL0160) e outro em que o percentual foi de 0,00% (trem NEL0356) é possível perceber que quanto menor é o percentual de rodas frias, tem-se menores temperaturas máximas de roda além de uma menor variância das temperaturas encontradas ao longo do trem, conforme mostrado na figura 19.

Tabela 3 – Dados de uma mesma formação de trem em dois instantes distintos: um com e outro sem roda fria

Data	Trem	Média Trem	Máx. Trem	% RF
31/01/2015 02:03	NEL0160	120°C	254°C	6,72%
01/03/2015 02:08	NEL0356	117°C	234°C	0,00%

Fonte: ELABORADO PELO PRÓPRIO AUTOR, 2015

Figura 19 – Histograma das temperaturas de rodas dos trens NEL0160 e NEL0356



Fonte: ELABORADO PELO PRÓPRIO AUTOR, 2015

5 CONCLUSÕES

Analisando as informações coletadas ao longo de todo o período de implementação do novo alarme pode-se concluir que os critérios inicialmente escolhidos mostraram-se adequados na identificação de vagões com deficiência de frenagem contribuindo para o aumento da confiabilidade dos ativos e da segurança operacional dos trens, sem que a disponibilidade da frota fosse impactada.

Além disso, considerando a redução das temperaturas médias e máximas das rodas dos trens diretamente ligadas à redução do percentual de vagões com deficiência de frenagem em circulação, outro ganho, que ainda não pode ser mensurado, refere-se à redução do rejeito de rodas por imperfeições oriundas de exposições da superfície de rolamento das mesmas às altas temperaturas ao longo do tempo. Alinhado à essa redução, pode ser citado também um menor desgaste prematuro de sapatas e/ou caldeamento das mesmas devido sobrecargas nos sistemas de freio.

6 PRÓXIMOS PASSOS

Tendo sido estabelecido um critério inicial para a identificação de vagões com deficiência de frenagem utilizando como base as informações coletadas por um equipamento de *Hot Wheel*, o desafio agora é buscar um maior refinamento dos atuais parâmetros do CWDB bem como analisar a possibilidade da criação de um novo critério que seja aplicável a outros equipamentos de *Hot Wheel* espalhados ao longo da malha ferroviária da MRS Logística S/A. Assim, será possível obter-se uma maior assertividade nas indicações de vagões com deficiência de frenagem em um intervalo ainda menor de tempo (não exigindo que um número repetitivo de passagens do vagão pelo equipamento seja necessária para que a falha no sistema de freio seja confirmada), podendo, inclusive, abranger o número e tipo de vagões mapeados por esse critério.

REFERÊNCIAS

Brunoro, Adilson. *Gestão de parada de trem em função da modelagem matemática do fenômeno Hot Wheel aplicada em vagões ferroviários.* Trabalho técnico apresentado no VIII Prêmio AmstedMaxion de Tecnologia Ferroviária realizado em São Paulo, 2010.

Freitas, Nilton de. 2015. *FUNDAMENTOS DE VAGÕES MRS.* Juiz de Fora : s.n., 2015.

Freitas, Nilton de. 2016. *PROPOSTA NOVO CRITÉRIO ALARME HOT WHEEL CARREGADO V02.* Juiz de Fora : s.n., 2015.

Hungria, L.H. 2014. *SEGURANÇA OPERACIONAL DE TRENS DE CARGA.* Curitiba, 10 de Outubro de 2014.

Silva, J. C. M. C. *Quais os fatores que influenciam nas aplicações de Emergências Indesejadas na Operação dos Trens da MRS.* Rio de Janeiro : s.n., 2012.

WANG, KEXIU e PILON, RICHARD, *Railroad Investigation Of Heat Treating Of Railroad Wheels And Its Effect On Braking Using Finite Element Analysis,* Griffin Wheel Company. 2002.

ANEXO 1 – TERMO DE AUTENTICIDADE



UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
FACULDADE DE ENGENHARIA

Termo de Declaração de Autenticidade de Autoria

Declaro, sob as penas da lei e para os devidos fins, junto à Universidade Federal de Juiz de Fora, que meu Trabalho de Conclusão de Curso do Curso de Graduação em Engenharia Mecânica é original, de minha única e exclusiva autoria. E não se trata de cópia integral ou parcial de textos e trabalhos de autoria de outrem, seja em formato de papel, eletrônico, digital, áudio-visual ou qualquer outro meio.

Declaro ainda ter total conhecimento e compreensão do que é considerado plágio, não apenas a cópia integral do trabalho, mas também de parte dele, inclusive de artigos e/ou parágrafos, sem citação do autor ou de sua fonte.

Declaro, por fim, ter total conhecimento e compreensão das punições decorrentes da prática de plágio, através das sanções civis previstas na lei do direito autoral¹ e criminais previstas no Código Penal², além das cominações administrativas e acadêmicas que poderão resultar em reprovação no Trabalho de Conclusão de Curso.

Juiz de Fora, ____ de _____ de 20____.

NOME LEGÍVEL DO ALUNO (A)

Matrícula

ASSINATURA

CPF

¹ LEI N° 9.610, DE 19 DE FEVEREIRO DE 1998. Altera, atualiza e consolida a legislação sobre direitos autorais e dá outras providências.

² Art. 184. Violar direitos de autor e os que lhe são conexos: Pena - detenção, de 3 (três) meses a 1 (um) ano, ou multa.

ANEXO 2 – DECLARAÇÃO DA EMPRESA

Declaro para os devidos fins, que Eduardo Campolina Martins Siano possui autorização para divulgar o nome da empresa MRS Logística S/A bem como dados não confidenciais na elaboração de seu trabalho de conclusão de curso apresentado à Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro Mecânico.

Juiz de Fora, 23 de Junho de 2017.

Nilton de Freitas
(carimbo da empresa)