

CATEGORIA 3

INFLUÊNCIA DA RESERVA ELÁSTICA DE TRUQUES FERROVIÁRIO NA VIA PERMANENTE E VAGÕES MRS

AUTORES

INTRODUÇÃO

Segundo informações da ANTF (Associação Nacional dos Transportadores Ferroviário), as ferrovias de cargas ampliaram significativamente o volume transportado, que atingiu o recorde de 538 milhões de toneladas úteis em 2017, representando um aumento de 112,5% desde 1997 – época do início das concessões [1]. Este aumento expressivo no transporte de carga na malha ferroviária torna cada vez mais indispensável a utilização de equipamentos de monitoramento instalados ao longo da via, sendo a principal função destes equipamentos o monitoramento dinâmico dos ativos que por ela circulam a fim de identificar possíveis defeitos nos mesmos, estes

equipamentos denominam-se Waysides. Dessa forma, as ferrovias têm uma grande massa de dados, que devem ser analisados e correlacionados para dar suporte à manutenção e operação dos ativos, buscando sempre garantir um equilíbrio entre a confiabilidade e a disponibilidade dos ativos. Dentre os vários equipamentos “Waysides”, este trabalho abordará dois deles, o RAILBAM e TRUCK VIEW.

O Truck View é um equipamento que, através de câmeras (Figura 1), capta imagens que posteriormente são processadas e convertidas em coordenadas, as quais possibilitam a extração dos parâmetros do sistema de amortecimento do truque, possibilitando a inspeção de cunhas de fricção e molas de suspensão do truque (responsável pelo amortecimento vertical do vagão). Estas inspeções são feitas automaticamente sem a necessidade de inspeções visuais [2].



Figura 1 - Câmeras do Truck View instaladas ao lado da via.

O Rail Bearing Acoustic Monitor (RailBAM) é um sistema preditivo de monitoramento acústico que identifica falhas de rolamentos através dos ruídos gerados e captados por microfones (Figura 2) durante a passagem dos trens. Ele é capaz de detectar e classificar falhas de rolamento, alertando quanto a rolamentos com potencial de falha [3].



Figura 2 - Microfones do RailBAM instaladas ao lado da via.

Este artigo também utilizou simulações dinâmicas com sistemas multicorpos para o estudo do comportamento da interação veículo-via, buscando reproduzir em ambiente virtual a realidade dessas interações. O principal parâmetro avaliado como resultado das simulações foi o fator dinâmico. Tal parâmetro conceitua-se pela razão da força vertical dinâmica pela força vertical estática.

Através dos Waysides, simulações e instrumentação foi possível um melhor entendimento do impacto da reserva elástica dos truques sobre os vagões e via permanente, identificando oportunidade de melhoria, bem como traçar ações mais claras e factíveis, mostrando limites a serem obedecidos para se ter menor impacto, tanto no vagão como na via permanente, visando redução nos alarmes de manutenção e aumento na vida útil dos componentes ferroviários.

DIAGNÓSTICO

Em junho de 2015 uma consultoria australiana esteve na MRS para realizar uma avaliação das condições das Obras de Arte Especiais visando à operação do GDU Pleno. Durante esta visita foram identificados vagões GDT carregados com mola sólida estaticamente (vagões carregados parados no pátio). A partir de então, deu-se início a

inspeção visual nas composições e marcação dos vagões estaticamente constatados com mola sólida.

A engenharia começou uma investigação de Causa e Efeito a partir da realização de um Plano de Diagnóstico utilizando como ferramenta o diagrama de Ishikawa (Figura 3) [4], assim traçando ações para reduzir o índice de vagões com mola sólida.

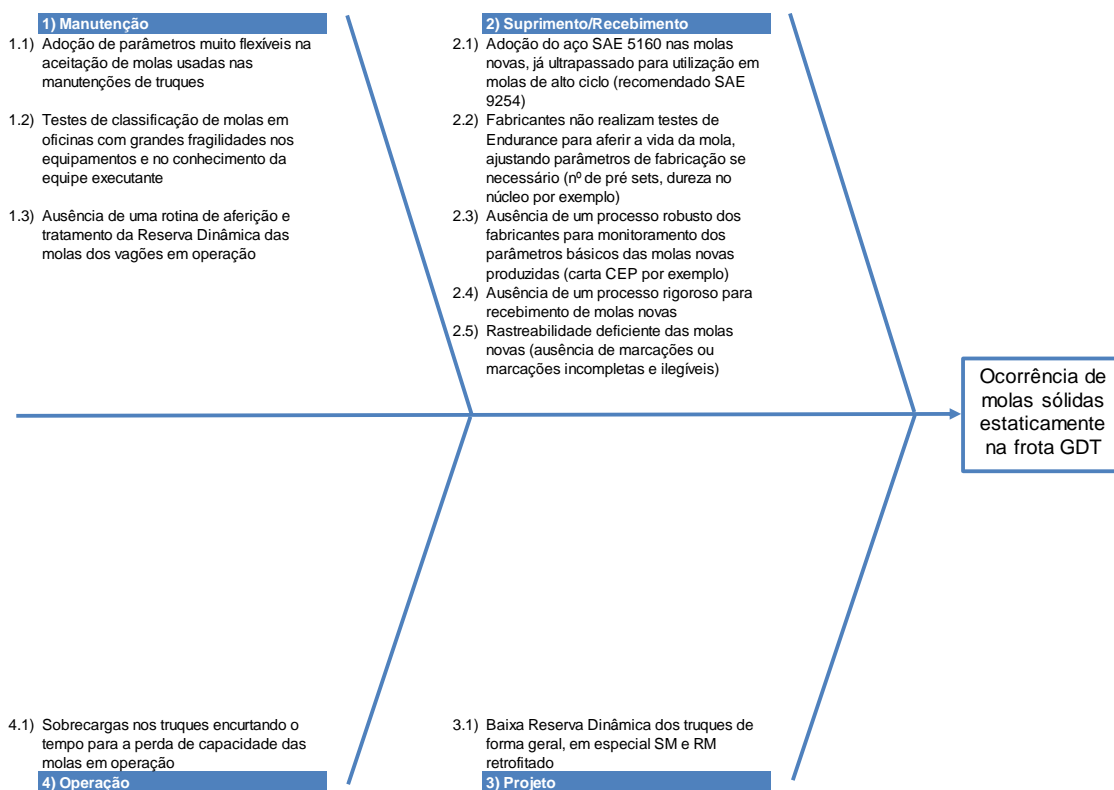


Figura 3 - Diagrama de Causa e Efeito (Ishikawa) – Mola Sólida

Várias causas foram apontadas desde parâmetros de manutenção, material de fabricação das molas e baixa reserva elástica em alguns truques. Um dos fatores que influenciam na ocorrência desse defeito nas molas tem origem em um aço inadequado para as aplicações em molas ferroviárias por parte dos fabricantes: aço SAE 5160. Este

é considerado inferior ao SAE 9255, liga que vem substituindo o aço anterior. Deve-se enumerar também a mudança no critério de avaliação de manutenção das molas, foram identificados critérios pouco restritivos nos testes com dinamômetro realizados nas oficinas de manutenção da MRS. Tal fato foi devidamente corrigido.

ANÁLISE DOS RESULTADOS

1. Proposta Aumento do Valor de Reserva Elástica

Será focado aqui apenas o estudo da solução técnica para ajuste da reserva elástica dos truques Ride Master 6.1/2"x9" retrofit e Swing Motion 6.1/2"x9", que apresentaram os menores percentuais de reservas elásticas na frota GDT, deixando-os vulneráveis a ocorrência de mola sólida. A definição da solução técnica para ajuste da reserva do truque foi realizada através de simulações em VAMPIRE (software de simulações dinâmicas com sistemas multicorpos) e montagem de protótipos. A adaptação do percentual de reservas elásticas tem como objetivo a redução do fator dinâmico sobre pontes e viadutos, aumento da vida útil do pacote de mola, padronização do percentual de reserva elástica entre os truques e a redução da porcentagem de mola sólida na frota. A MRS está adotando este ajuste de reserva desde junho de 2018.

Define-se como reserva elástica (RE) a razão entre o valor de deflexão com carga até ficar sólida sobre a deflexão total (mola livre até mola sólida), conforme ilustrado na Figura 4.

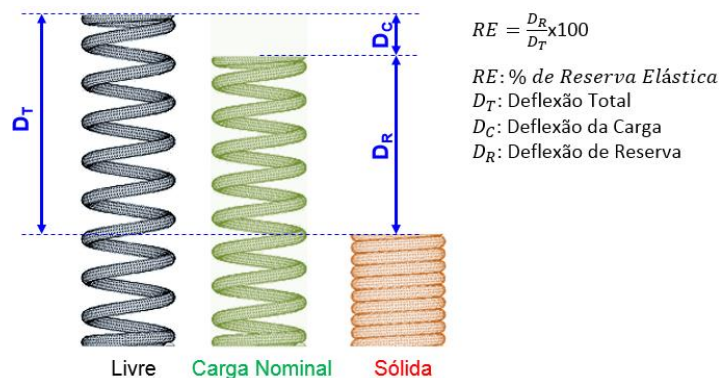


Figura 4 - Mola livre, mola com carga e mola sólida

Após calcular as RE para os truques da frota GDT encontrou-se para os Ride Master 6.1/2"x9" retrofit e Swing Motion 6.1/2"x9" os menores valores de RE conforme se observa na Figura 5, e nas inspeções visuais nos pátios também se encontrava o maior número de molas sólidas para estes truques.

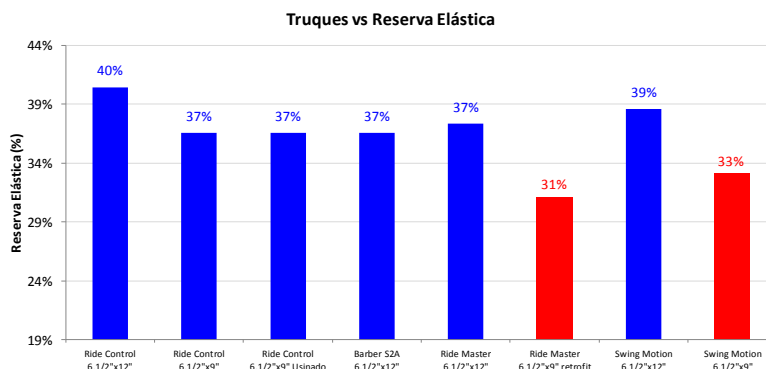


Figura 5 - Reserva elástica de projeto para os truques da frota GDT

a. Ride Master 6.1/2"x9" retrofit

Após análise, a solução mais prática para o Ride Master 6.1/2"x9" retrofit sem a necessidade de homologação novas molas ou adaptações no truque foi a adição de 3 molas D6A e 2 molas D5 internas conseguindo uma RE de 39% para o cálculo teórico da RE, bem próximo dos demais truques da MRS. A nomenclatura de molas aqui

utilizada é encontrada na norma AAR [5]. A configuração do pacote com ajuste e sem ajuste pode ser visualizada na Figura 6.

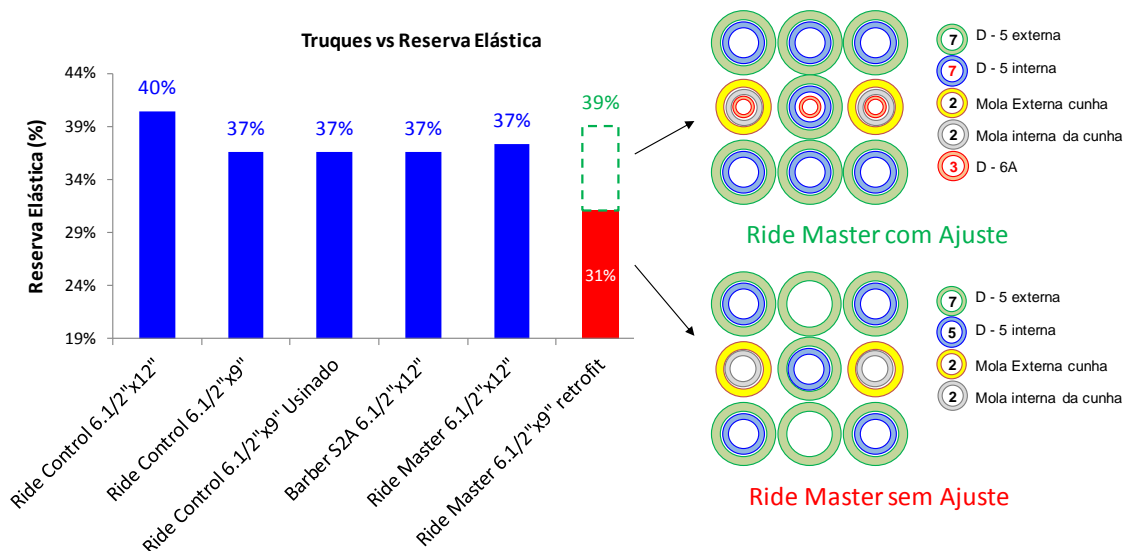


Figura 6 - Reserva elástica do pacote ajustado para Ride Master 6.1/2"x9" retrofit

b. Swing Motion 6.1/2"x9"

Para o Swing Motion 6.1/2"x9" a solução mais prática sem a necessidade de homologação novas molas ou adaptações no truque foi a adição de 6 molas D6A, resultando em uma RE de 38% para o cálculo teórico da RE, bem próximo dos demais truques da MRS. As ilustrações dos dois pacotes podem ser verificadas abaixo na Figura 7.

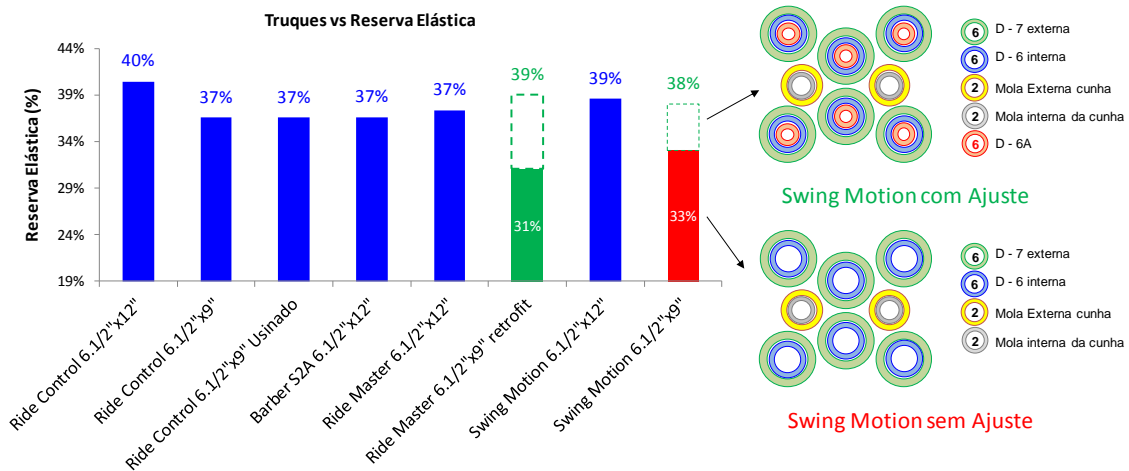


Figura 7 - Reserva elástica do pacote ajustado para Swing Motion 6.1/2"x9"

2. Simulações Multicorpos

As simulações multicorpos foram utilizadas para melhor compreensão da interação veículo-via. Nesse contexto, o software VAMPIRE foi aplicado para análise dos resultados sob a ótica do fator dinâmico no contato roda/trilho. As simulações também foram importantes para avaliar os benefícios e possíveis efeitos colaterais causados pela modificação no pacote de molas dos truques atuais. Assim, foi realizada a modelagem dos truques com modificações no pacote e testados na velocidade de 56 km/h. A figura 8 ilustra as variáveis de entrada e os resultados obtidos das simulações.

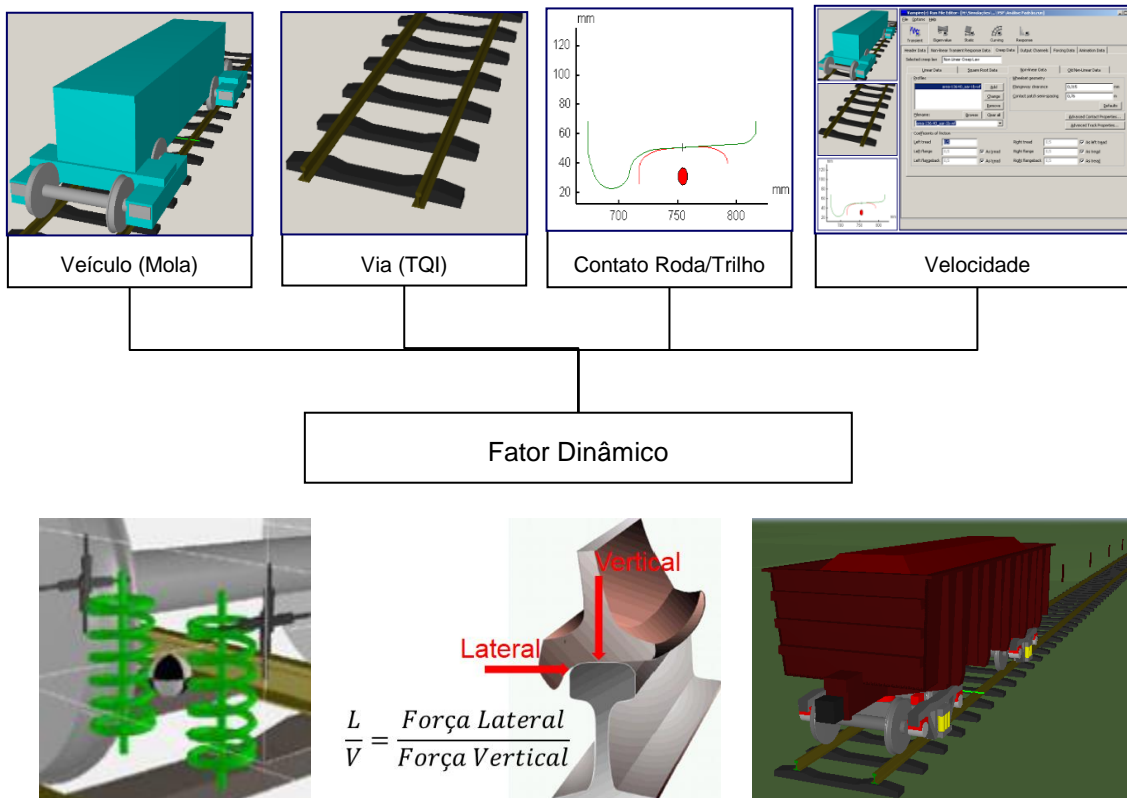
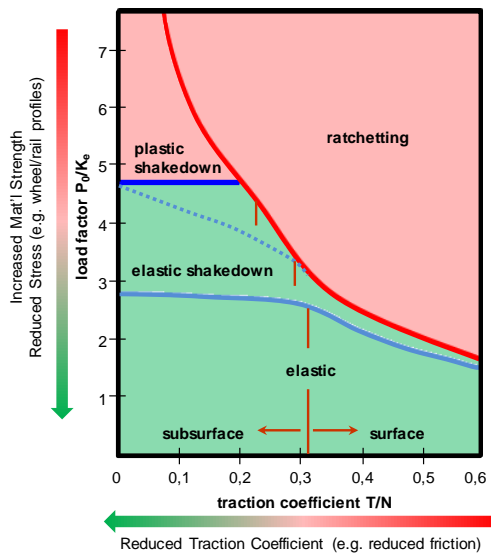


Figura 8 - Fatores utilizados na simulação

A necessidade do aumento da reserva elástica para garantia do ciclo de vida de manutenção das molas reduz o fator de amortecimento do truque quando novo, constituindo um *trade-off*. Dessa forma, avaliou-se se a haveria perda significativa de amortecimento por aumentar a rigidez da suspensão. Essa perda deveria ser avaliada tendo enfoque no desempenho dos truques em inscrição em curva sob o risco de fadiga de contato roda/trilho. A metodologia para essa avaliação da capacidade de inscrição em curva da nova configuração dos truques foi realizada mediante uma análise comparativa utilizando o diagrama de *Shakedown*[6], apresentado na Figura 9.



Eixo x: Traction coefficient

$$\mu = \frac{F_t}{F_z} = \frac{\sqrt{F_x^2 + F_y^2}}{F_z}$$

F_y : Creep force lateral
 F_x : Creep force longitudinal
 F_z : Creep force vertical

Eixo y: Load factor

$$\frac{P_0}{K_e} \quad P_0 = \frac{3 F_z}{2 A}$$

P_0 : Pressão de contato
 K_e : Limite de escoamento ao cisalhamento
 F_z : Creep force vertical
 A : Área de elipse de contato

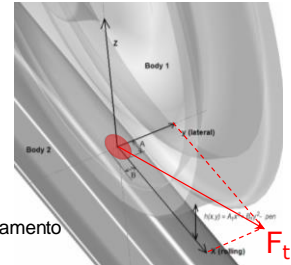


Figura 9 - Diagrama de Shakedown

Através do diagrama, avalia-se a probabilidade de ocorrência de fadiga de contato roda/trilho (RCF) quando os parâmetros avaliados, obtidos pela simulação, são dispostos no mapa. A região que apresenta alta probabilidade de ocorrência de fadiga é conhecida como *ratchetting*.

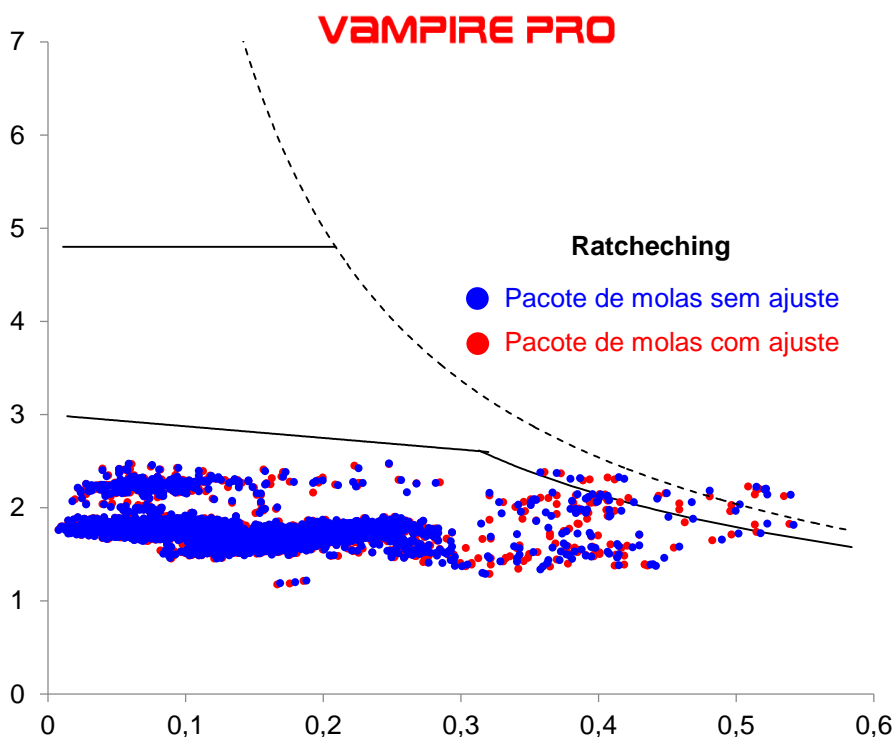


Figura 10 - Truque original x proposto na Ferrovia do Aço

O gráfico da Figura 10 ilustra a dispersão dos pontos em um trecho de via com o vagão carregado realizando a comparação dos resultados para um truque sem ajuste do pacote de molas e o truque com ajuste de pacote de molas. Assim, examinando a dispersão dos pontos pode-se observar uma equivalência no desempenho dos truques para esse parâmetro. Resultado importante para se descartar quaisquer efeitos não desejados ao aumentar a reserva elástica.

3. Protótipos e Medições em Campo

Com os novos arranjos de molas já definidos e a simulação realizada, foram montadas 10 duplas para teste, sendo 5 duplas com truques Ride Master 6.1/2"x9" retrofit e 5

duplas com truques Swing Motion 6.1/2"x9" em oficina. Cada dupla de vagões foi montada um com pacote sem ajuste e outro com o pacote com ajuste, assim possibilitando a comparação dos pacotes de molas em mesmas condições de carga e operação. Os testes em campo foram a medição da Força Lateral/ Força Vertical do contato roda/trilho através de instrumentação da via com Strain Gauges conforme pode-se observar na Figura 11. Outro teste de campo foi o monitoramento com o Truck View, o qual é capaz de medir as deflexões das molas possibilitando o cálculo da RE.



Figura 11 - Strain Gauges anexados na VIA para medição de L/V

Durante a etapa de montagem dos pacotes de molas proposto, não foi relatado nenhuma barreira ou algo que se demonstra inviabilidade no novo arranjo de molas. Os resultados das simulações mostraram, em todos os testes, desempenho dinâmico semelhante do truque com o pacote de molas ajustado e sem ajuste, assim a proposta do novo pacote possivelmente não irá alterar o desempenho já adquirido pelos truques em utilização. Os valores de L/V foram bem semelhantes entre o truque com

pacote ajustado e sem ajuste conforme observado na Figura 12, com medidas bem abaixo de valores considerados críticos (AAR L/V > 1,0) [7].

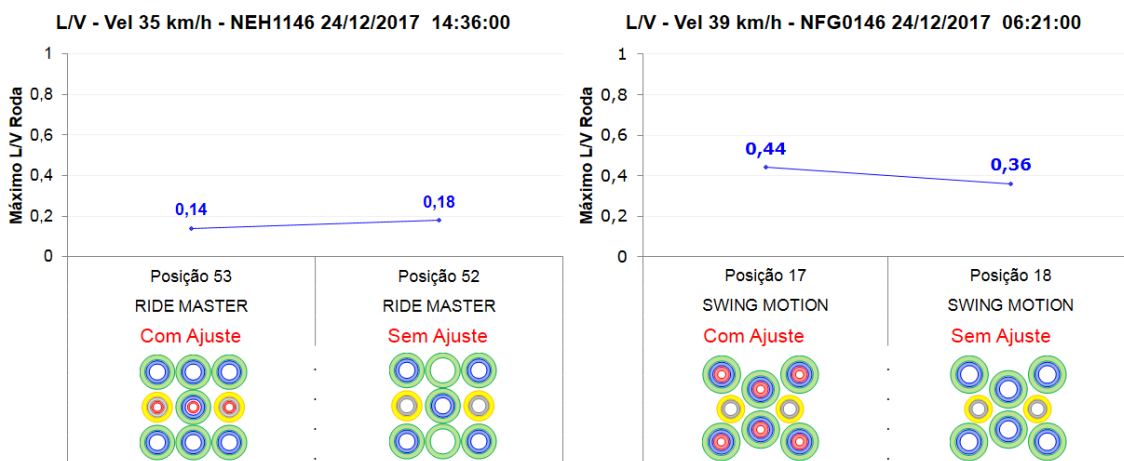


Figura 12 – L/V do pacote ajustado e sem ajuste.

O Truck View também demonstrou melhoras significativas na reserva elástica dos pacotes ajustados conforme se pode observar na Figura 13.

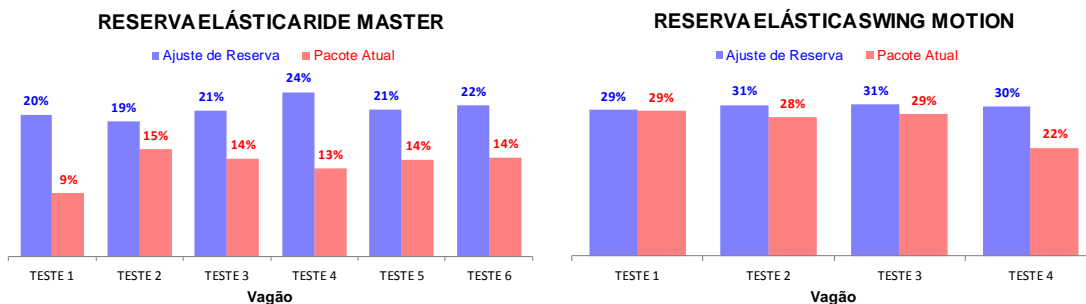


Figura 13 - Reserva elástica do pacote ajustado e sem ajuste.

O Truck View possibilita o monitoramento contínuo dos truques. Assim foi analisado também os dados do Truck View (TRKV) de 15/09/2018 a 05/04/2019, cruzando com os dados de pesagens na balança para as 5 duplas com Ride Master 6.1/2"x9" retrofit que foram colocadas em testes desde dez/2017, sendo que vagão principal recebeu os

truques com ajuste de reserva e o secundário ficou com o pacote sem ajuste, o que possibilitou a verificação do desempenho dos vagões com e sem ajuste da reserva elástica em diferentes condições de carregamento. A Figura 14 mostra os resultados das RE x Peso bruto dos vagões. Verifica-se que há alta variabilidade no sistema, mas as retas resultantes da regressão linear são quase paralelas, sendo a com ajuste 8,3% superior ao sem ajuste.

Ainda com base na Figura 14, pode-se observar também que os vagões são frequentemente carregados acima da sua capacidade nominal de 130t. Para o pacote sem ajuste houve um carregamento de 140,67t que resultou em uma reserva elástica de 2,46%. Já para o pacote com ajuste teve um carregamento de 141,91t, resultando em uma reserva de 16,67%, isto indica que os pacotes sem ajuste de reserva são altamente susceptíveis a solidificar molas pela atual variabilidade de carregamento.

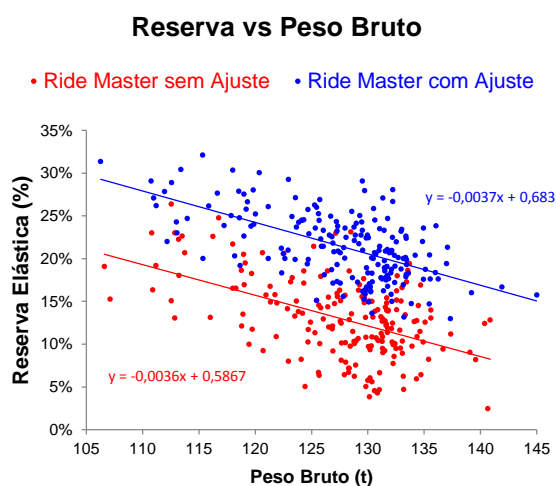


Figura 14 - Reserva elástica do pacote com ajuste e sem ajuste com o peso bruto

4. Influência da Reserva Elástica na Via e Vagões

De 2016 a 2018 houve um aumento significativo em alarmes de RailBAM. Após análise dos rolamentos verificou-se que Brinelamento (Figura 15) era o defeito que mais aumentou.



Figura 15 - Brinelamento encontrado nos rolamentos manga "T"

O Brinelamento se encontrava geralmente na capa, sendo ocasionado por impacto do rolete na capa, além desta evidencia também se notou que as indicações de alarme de RailBAM ocorriam em mais de um rolamento por vagão, o que não é comum em alarmes de RailBAM. O maior percentual de alarmes ocorreu em vagões GDT e em truques Ride Master 6.1/2"x9" retrofit e Swing Motion 6.1/2"x9". Também foi relatado aumento no carregamento de vagões acima da capacidade nominal no mesmo período do aumento dos alarmes.

Na Figura 16 nota-se que houve um grande aumento nos alarmes a partir de 2015 e que este aumento ocorreu apenas em manga "T" (6.1/2"x9"), o que chama a atenção para uma análise das ocorrências. É válido destacar que os valores de 2019 são os valores dos últimos 12 meses, isto é, do intervalo julho/2018 a junho/2019.

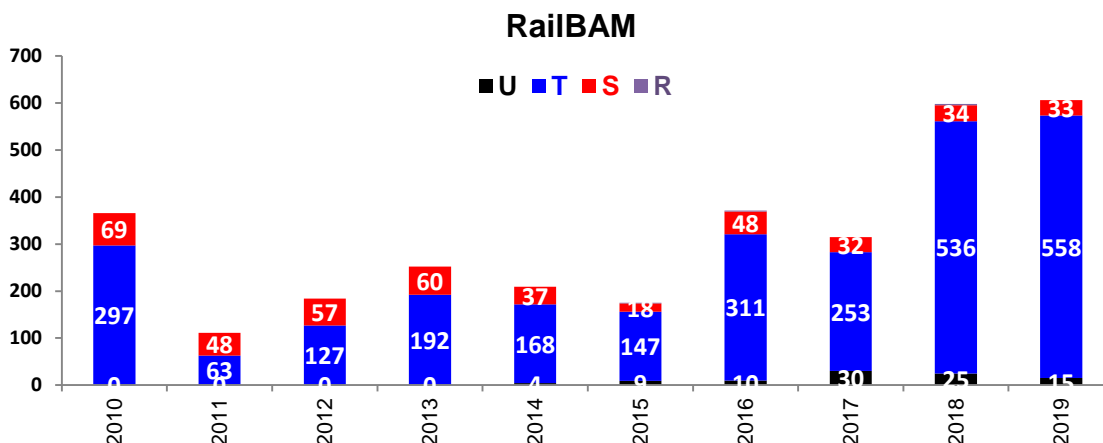


Figura 16 - Quantidade de vagões indicados em alarme RailBAM por ano

Na Figura 17 observa-se que de 2014 a 2019 houve um aumento no carregamento de vagões acima da capacidade nominal em vagões GDT, sendo que os vagões são projetados para carregar o peso nominal de 130 t e não mais que este.

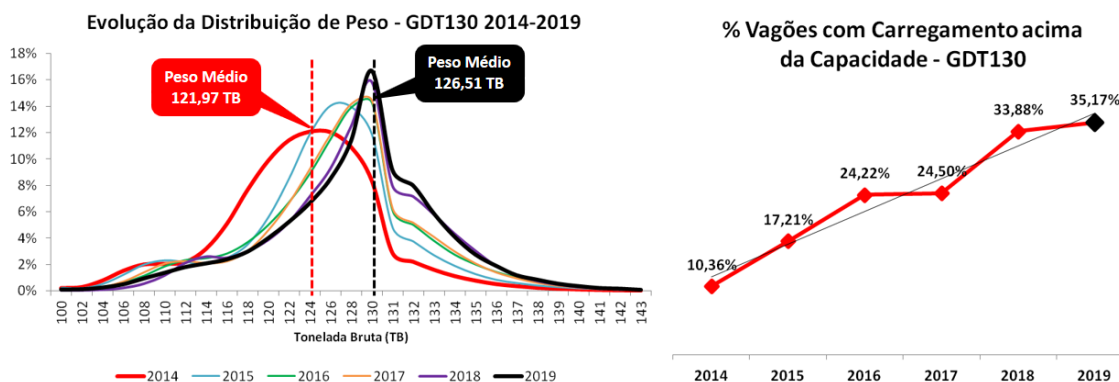


Figura 17 - Evolução da Distribuição de Peso em GDT 130 ano a ano

A relação entre o peso acima da capacidade nominal com os alarmes de RailBAM demonstrou ter forte relação conforme pode ser observado na Figura 18.

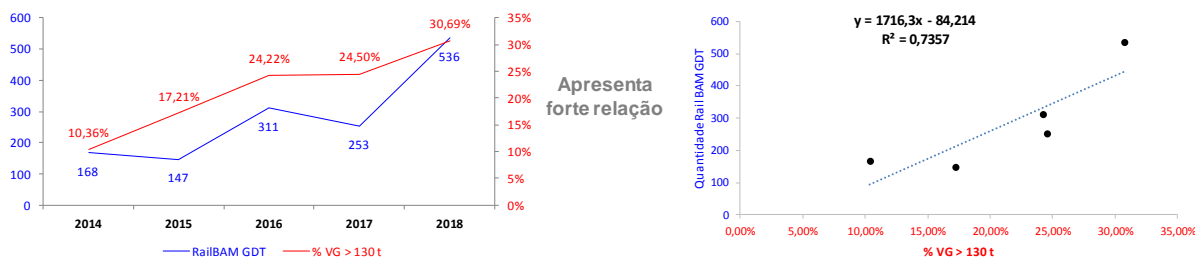


Figura 18 - Relação entre o carregamento acima da capacidade nominal e Alarmes RailBAM

Junto às análises dos rolamentos das ocorrências de RailBAM de outubro de 2018 a janeiro de 2019, foi verificado qual o tipo de truque estava instalado no vagão no momento do alarme RailBAM bem como a Reserva Elástica no Truck View para o vagão antes do alarme de RailBAM, e verificou que 49% dos alarmes eram em truques Ride Master 6.1/2"x9" retrofit com pacote de mola sem ajuste, e a Reserva Elástica para os truques que alarmaram RailBAM era extremamente baixa em média 1,42% conforme Figura 19.

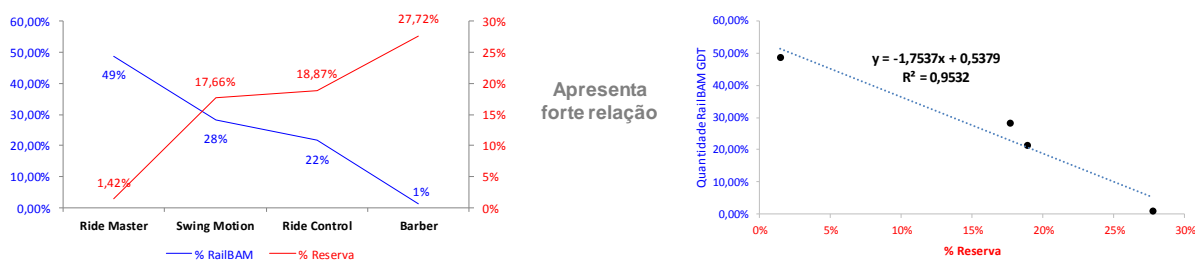


Figura 19 - Relação entre Tipo de Truque, Reserva Elástica e Alarmes RailBAM

Através dos dados coletados pelo Truck View, foi possível construir um histograma da Reserva Elástica dos vagões com Ride Master 6.1/2"x9" retrofit que apresentou alarme de RailBAM e dos Ride Master 6.1/2"x9" retrofit de frota total de GDT, assim

encontrou-se como mediana 5% de Reserva Elástica para os vagões com alarme RailBAM e 13% para a Frota total de Ride Master 6.1/2"x9" retrofit de GDT, como pode ser observado na Figura 20. Isto indica que 50% dos vagões GDT Ride Master 6.1/2"x9" retrofit com alarme de RailBAM possuem reserva elástica inferior à 5%, evidenciando que os vagões alarmados em RailBAM apresentam ineficiência no sistema de amortecimento do vagão podendo não absorver os esforços verticais devido a interação veículo/via.

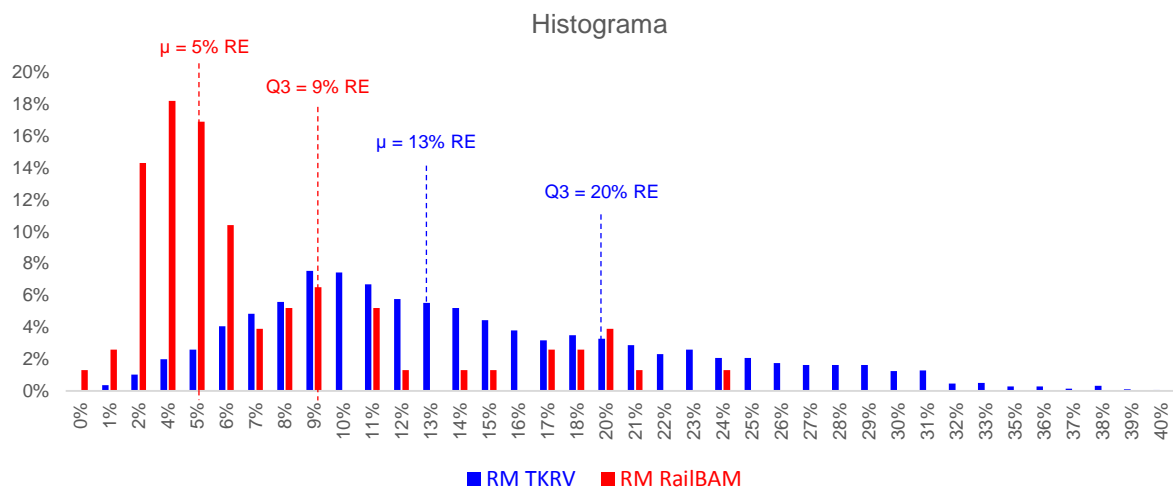


Figura 20 - Histograma da Reserva Elástica da Frota Ride Master 6.1/2"x9" retrofit

Para compreender melhor o aumento dos alarmes de RailBAM, analisou-se o caso do GDT- 612727, que apresentou reincidência em alarme de RailBAM para o rolamento na mesma posição alarmada da primeira vez. O primeiro alarme foi no Eixo 2 – Lado Direito indicado em 04/09/2018 e tratada 08/10/2018 com a troca do rodeiro, mas em 20/03/2019 foi indicado um novo alarme para o rolamento da mesma posição, o que levou a análise da Reserva Elástica do truque deste vagão, assim observou-se que o

vagão estava com uma baixa reserva elástica e o vagão foi várias vezes carregado acima do seu peso nominal 130 t. Com o carregamento superior a 130t, o mesmo chegou a atingir mola sólida (Reserva Elástica igual a 0%), conforme pode ser observado na Figura 21.

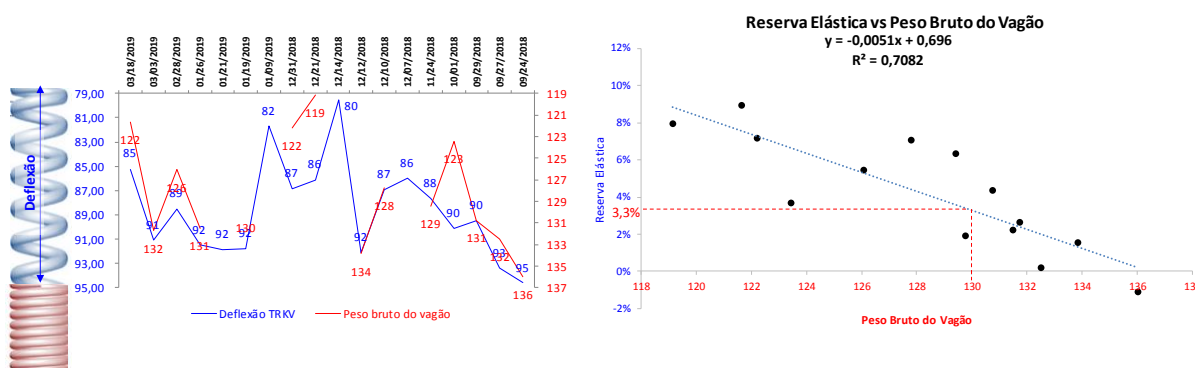


Figura 21 - Reserva Elástica vs Peso bruto do GDT- 612727

Na Figura 22 observa-se o pacote de molas GDT- 612727 para o truque cabeceira B lado direito com as molas praticamente sólidas o que indica deficiência no amortecimento do vagão aos esforços verticais devido à interação veículo/via. Também observamos a capa do rolamento com marcas de Brinelamento, que são ocasionados por impacto no rolamento, reforçando que o amortecimento do truque está com deficiência, o que neste caso não adianta apenas a troca do rodeiro e sim deve ser corrigido o pacote de molas para aumentar a reserva elástica e evitar novos casos de Brinelamento para este vagão. Outra boa pratica é não carregar os vagões acima da capacidade nominal visto que influencia diretamente na reserva elástica.

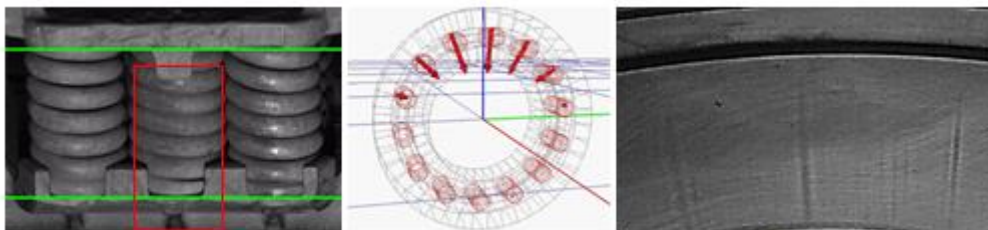


Figura 22 - Baixa Reserva Elástica do truque para GDT- 612727 e Brinelamento no Rolamento

É importante salientar que o amortecimento do truque é composto por MOLAS DA SUSPENSÃO e CUNHAS DE FRICÇÃO. O conjunto de amortecimento tem como função dissipar a energia ocasionada por alguns movimentos verticais indesejados que ocorrem na dinâmica veicular devido a irregularidade e geometria de via, na ausência ou deficiência deste conjunto os esforços são intensificados no veículo e na via. O Brinelamento no rolamento foi relatado como um dos defeitos que pode ocorrer no veículo, mas sabe-se que se há impacto no veículo, o mesmo é transferido para a via visto que o truque está com seu amortecimento comprometido devido à baixa reserva elástica. A Figura 23 indica os ponto mais crítico de esforço e o sistema de amortecimento do truque.



Figura 23 - Ponto críticos devido à falta de amortecimento do truque

5. Simulações Interação Veículo/Via

Para melhor entendimento do impacto da reserva elástica dos truques sobre a via foram feitas simulações no VAMPIRE, as quais servem para orientar onde há maior oportunidade de melhoria, bem como traçar ações mais claras e factíveis, pois se trata de uma interação veículo/via conforme citado anteriormente e só há necessidade de amortecimento quando se encontra irregularidade. Como é praticamente impossível uma via perfeita, assim como um veículo perfeito, as simulações e instrumentações podem mostrar limites os quais devem ser obedecidos para que se tenha o menor impacto no vagão e na via.

Foram feitas simulações variando o TQI (Track Quality Index, ou em português Índice de Qualidade de Via), Reserva Elástica (RE) e sobrecarga no veículo (acima do nominal 32,5t/eixo), em uma velocidade de 56 km/h atualmente praticada na MRS para trens carregados [8].

A irregularidade da via excita os veículos o que acarreta maior esforço sobre a mesma, saindo de um TQI de 3 para 7 (sedo TQI 7 uma via com mais irregularidades do que TQI 3), os esforços podem ser elevados em 31,4%, como pode ser observado na Figura 24 lado esquerdo. Para uma via de TQI 7 com sobrecarga (36t/eixo) e mola sólida pode-se elevar os esforços em até 181%, como pode ser observado na Figura 24 lado direito.

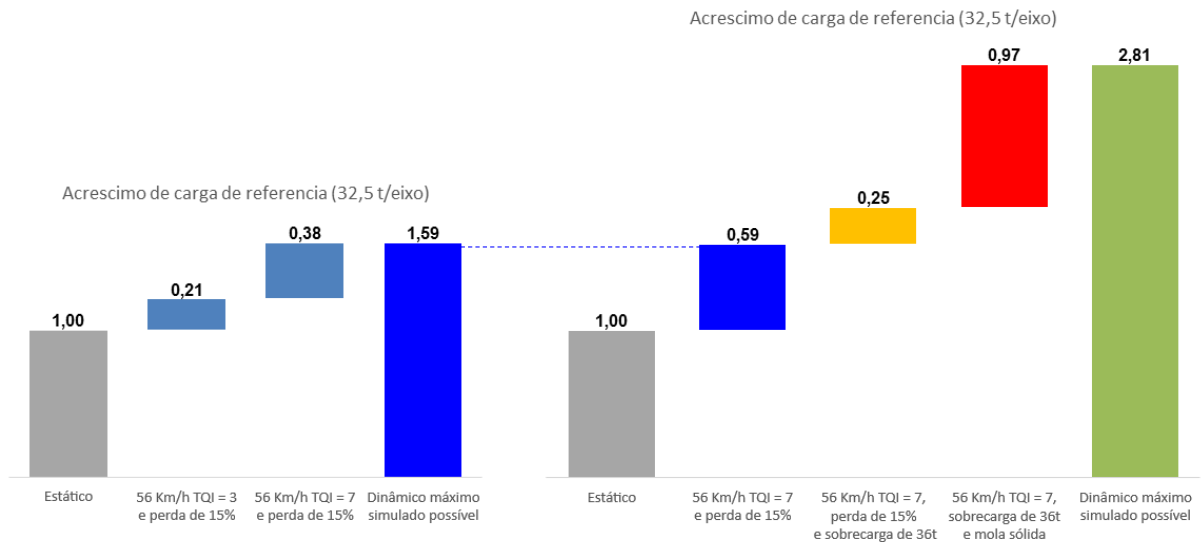


Figura 24 - Simulações variando o TQI, a Reserva Elástica (RE) e sobrecarga no veículo

Na Figura 25 lado esquerdo variou-se o TQI para observar o fator dinâmico com diferentes condições de reserva elástica (RE) e foram obtidas as seguintes constatações:

- RM_31%RE, RM_28%RE e RM_19%RE, Ride Master com reserva elástica 31%, 28% e 19% respectivamente, observou-se que o fator dinâmico varia linearmente com o TQI de 1,1 a 1,59. Um acréscimo de 44,5% no fator dinâmico apenas com a variação do TQI, a variação na reserva praticamente não alterou o fator dinâmico;
- RM_8%RE, Ride Master com reserva elástica 8%, o fator dinâmico variou de 1,46 para 1,78 com um TQI 5. Um acréscimo de 21,9% no fator dinâmico devido a reserva do truque;
- 56_32,5t_Sólida, Ride Master com reserva elástica 0% (mola sólida), observou-se que o fator dinâmico varia linearmente com o TQI de 1,36 a 2,81. Um

acréscimo de 106,6% no fator dinâmico com a variação do TQI devido a não ter reserva elástica;

- 56_36t_31%RE, Ride Master com reserva elástica 31% com sobrecarga (36t/eixo), observou-se que o fator dinâmico varia linearmente com o TQI 1 a TQI 4 de 1,30 a 1,56. Um acréscimo de 20% no fator dinâmico. De um TQI 4 para TQI 5 temos um salto no fator dinâmico de 1,56 a 1,90, sendo um acréscimo de 21,8% no fator dinâmico, para TQI 5 a TQI 7 varia linearmente chegando a um aumento do fator dinâmico de 2,05 para TQI 7;
- RM_31%RE para 56_36t_31%RE, o modelo variou o peso por eixo de 32,5t para 36t. Observou-se que o fator dinâmico para TQI 1 a TQI 4 aumentou aproximadamente em 18% e para TQI maior 4 o fator dinâmico aumentou aproximadamente em 28%.

Na Figura 25 lado direito fixou-se o TQI em 5 e variou a reserva elástica para observar o fator dinâmico e conseguiu-se as seguintes constatações:

- Reserva elástica variando de 31% a 14% em um TQI 5, o Fator Dinâmico não varia, porém reserva elástica entre 19% a 14% é observado toque de espiras, mas sem transferência de carga;
- Reserva elástica variando de 14% a 8% há toque de espiro com transferência de carga, aumentando o fator dinâmico em 20,2%.

- Reserva elástica menor que 8% há toque de espira com transferência de carga severa, aumentando o fator dinâmico em até 73% quando a reserva igual a 0% (mola sólida).

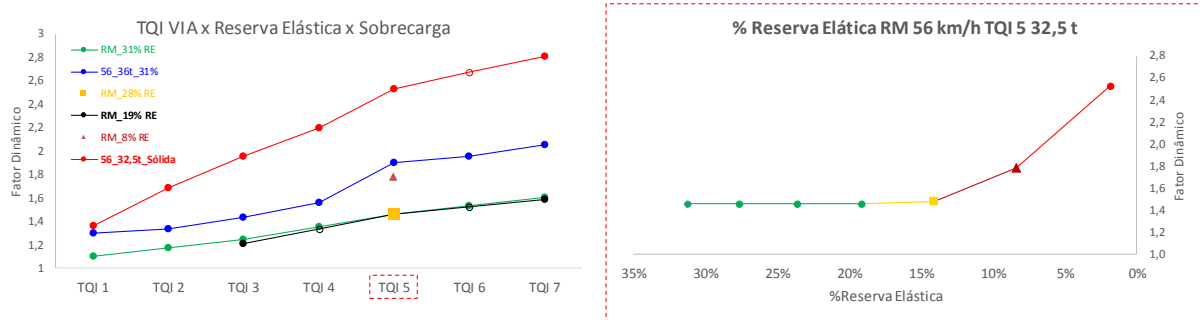


Figura 25 - Simulações variando o TQI, a Reserva Elástica (RE) e sobrecarga no veículo

6. Instrumentação – Ponte Belizário

Após consultoria australiana ter feito uma avaliação das condições das Obras de Arte Especiais a MRS instrumentou a Ponte de Belizário em 2017 para verificar os efeitos dos veículos na ponte com as seguintes condições: Grupo 1 (GDU Pleno sem desvios), Grupo 2 (GDT com desvio de carregamento), Grupo 3 (GDT com defeito de roda) e Grupo 4 (GDT com mola cansada “baixa reserva elástica”).

Os resultados descritos são os valores extremos (máximos) medidos para cada grupo de vagões do trem instrumentado. O valor de impacto máximo medido no grupo 1 de vagões e carga por eixo constante de 36tf/eixo foi de 1,29, ou seja, acréscimo de 9,42tf/eixo decorrente da dinâmica do trem. O valor máximo de amplificação dinâmica medido para o grupo 2 foi 3,3% superior ao do grupo 1, ou seja, acréscimo de 1,18tf/eixo em razão da variação do carregamento. O valor máximo de amplificação dinâmica medido para o grupo 3 foi 4,5% superior ao do grupo 1, isto é, acréscimo de

1,63tf/eixo em razão do defeito de roda. O valor de impacto máximo medido no grupo 4 de vagões, que é o grupo de vagões GDT com molas cansadas em diferentes níveis foi de 1,74, significando um aumento de 35% do valor extremo medido no grupo 1, ou seja, 12,62tf/eixo de acréscimo de carga. Quando comparados os valores extremos medidos entre a 1ª e a 2ª etapa com TQIs respectivamente iguais a 5,3 e 2,9, observa-se que na 1ª etapa foram medidos valores 2% superiores aos da 1ª etapa, isto é, acréscimo de carregamento de 0,72tf/eixo em razão das diferentes condições de via. Nesse caso ressalta-se novamente que o TQI elevado da 1ª etapa foi medido no trecho de via fora da ponte, na margem Morsing. Portanto, para uma melhor avaliação desses defeitos de via, recomenda-se que sejam monitoradas pontes com trecho de TQI elevado coincidente com trecho da ponte. Dos valores extremos medidos no monitoramento da ponte foi elaborado o gráfico da Figura 26, onde a partir da carga de referência de 36tf/eixo apresenta-se o acréscimo de carga decorrente de cada situação, ou seja, variação de carga, defeito de roda, molas cansadas e defeitos de via (fora da ponte). Se for considerada a superposição de todos os efeitos, chega-se a um acréscimo de 25,86tf/eixo para a Ponte Belizário, ou seja, aumento de 71,8% do carregamento estático [9].



Grupo com 4 vagões

- Grupo 1: GDU Pleno sem desvios
- Grupo 2: GDT com desvio de Carregamento
- Grupo 3: GDT com defeito de Roda
- Grupo 4: GDT com mola cansada



Acréscimo de carga de referência (36 t/eixo)

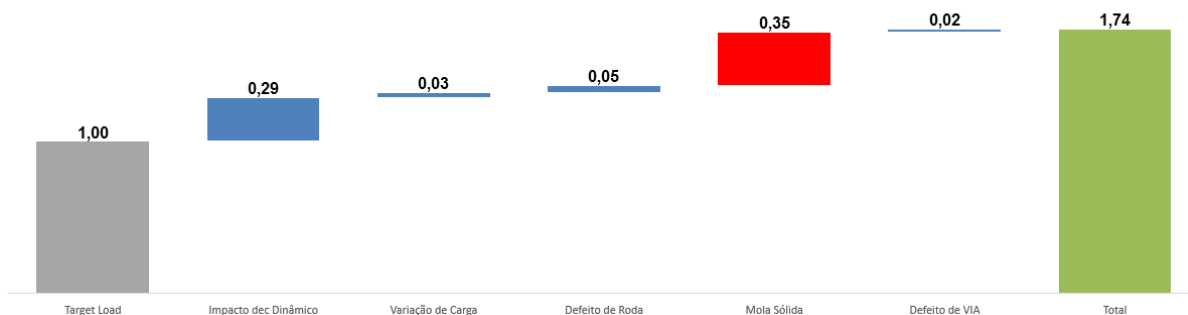


Figura 26 - Acréscimo de carga de referência (36tf/eixo) decorrente de cada situação, ou seja, variação de carga, defeito de roda, molas cansadas e defeitos de via (fora da ponte), determinados a partir dos valores extremos medidos na Ponte Belizário [9].

CONCLUSÕES

- Rolamentos instalados em Truques Ride Master 6.1/2"x9" retrofit sem ajuste do pacote de molas são mais suscetíveis a ocorrências de Brinelamento, visto que tem baixa reserva elástica;
- Quanto maior o TQI da via, maior o aumento do fator dinâmico;
- Reservas elásticas menores que 14% estão na eminência de tocar espiras, o que pode ter como consequência danos ao rolamento e na via devido ao aumento do fator dinâmico;
- Truques Ride Master 6.1/2"x9" retrofit sem ajuste não devem ser carregados acima da capacidade nominal visto que a reserva elástica é baixa;
- Mola sólida apresentou nas simulações bem como na instrumentação o maior impacto sobre a via.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1]. ANTF - ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS TRANSPORTADORES FERROVIÁRIOS. Informações Gerais. Disponível em: <<http://www.antf.org.br/informacoes-gerais/>>. Acesso em: 25 fev 2019.
- [2]. TRUCKVIEW OVERVIEW BV-TDOC-0094-V1.0 - Beena Vision Systems Inc., 2016.
- [3]. RailBAM TRENDING DATABASE USER MANUAL - Track-IQ, , 2011.
- [4] GESTÃO DE QUALIDADE. Ferramentas da qualidade. Disponível em: <<http://gestao-de-qualidade.info/ferramentas-da-qualidade/diagrama-de-ishikawa.html>>. Acesso em: 15 jan 2019
- [5]. MANUAL OF STANDARDS AND RECOMMENDED PRACTICES TRUCKS AND TRUCK DETAILS - Association of American Railroads, 2007.
- [6]. Oldknow, K. WHEEL-RAIL INTERACTION FUNDAMENTALS PART 1 - Seminário Internacional Roda Trilho, IME, 2019.
- [7]. MANUAL OF STANDARDS AND RECOMMENDED PRACTICES DESIGN, FABRICATION, AND CONSTRUCTION OF FREIGHT CARS - Association of American Railroads, 2007.
- [8]. Merheb, A. DYNAMIC LOADS EVALUATION IN EXISTING RAILROAD INFRASTRUCTURE UNDER INCREASING AXLE LOADS AND SPEED, 2017.
- [9]. AVALIAÇÃO ESTRUTURAL DA PONTE SOBRE O RIO BELIZÁRIO, KM097+327 DA LINHA DO CENTRO MENDES - LSE Bridge, 2018.