

TRILHOS:
EFICIÊNCIA E
NOVOS RUMOS



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

Nilton de Freitas

Lucas de Castro Valente

Felipe César Moreira Ciríaco

Admilson Martins da Silva

Ramon Henrique de Paula Dutra

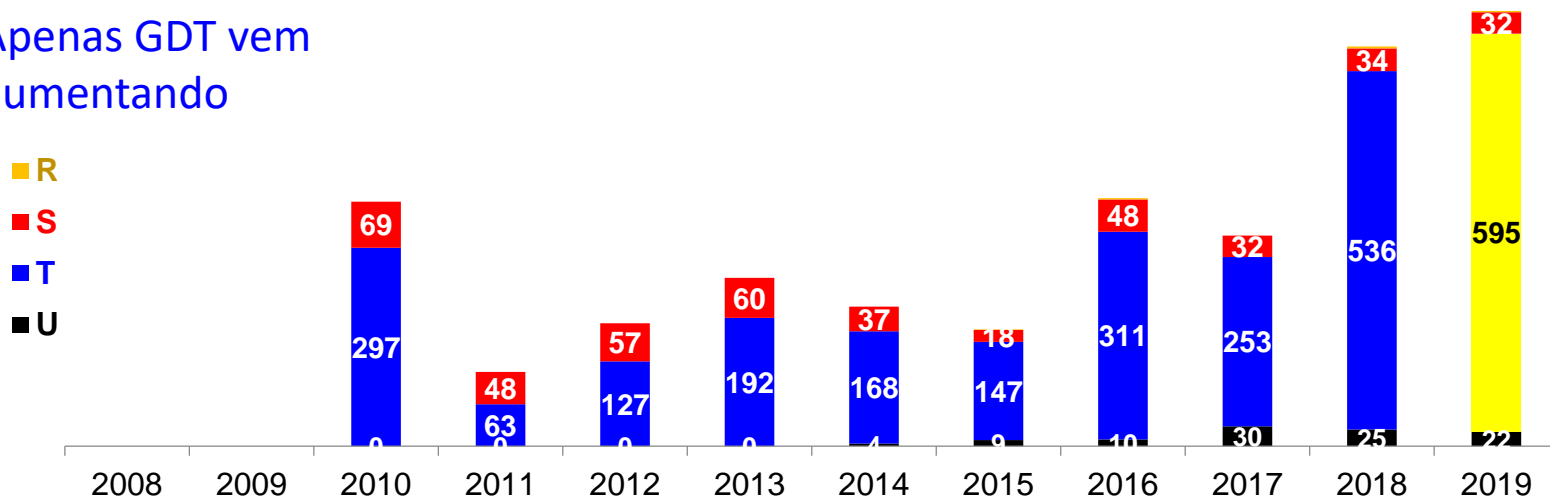
RailBAM vs Excesso de Carga e Reserva Elástica

Introdução

De 2016 a 2018 houve um aumento significativo em alarmes de RailBAM. Após análise dos rolamentos verificou-se que “Brinelamento” era o defeito que mais aumentou, encontrado geralmente na capa, sendo ocasionado por impacto no rolamento. Além desta evidência, também notou-se que as indicações de alarme de RailBAM ocorriam em mais de um rolamento por vagão, o que não é muito comum, sendo que o maior percentual de alarmes ocorreram em GDT e em truques Ride Master Retrofit 6.1/2"x9" e Swing Motion 6.1/2"x9". Neste período também foi relatado aumento no carregamento de vagões acima da capacidade nominal no mesmo período do aumento dos alarmes.

RailBAM

Apenas GDT vem aumentando



Limite de carregamento de vagões

Os vagões da MRS foram projetados para circular nos seguintes limites de Peso Bruto Máximo (PBM):

- Vagão manga T - 130t (Truques Ride master 6.1/2"x9", Ride Control 6.1/2"x9", Barber S2-F 6.1/2"x9" e Swing Motion e rodeiros com mancal 6.1/2" x 9" – Tipo K);

Manga	PMB	Eixo	Diferença entre Truques
T (130)	5%	10%	10%

Estes são os limites para os quais os vagões foram projetados. Assim, não se deve ter como rotina a utilização acima destes."

Em 2015 foi solicitado pela Engenharia de Transportes a revisão dos limites da Especificação Técnica de Engenharia (ETE) de peso de carregamento dos vagões, pois já eram praticados **valores maiores do que a ETE.**

Limite de carregamento de vagões

Como os rolamentos apresentavam baixo índice de falhas, o foco da revisão foi voltado para a dinâmica do vagão “Relatório Técnico do TCI (TD07-001 - Modelling Imbalanced Loads – 2007)”, assim garantindo que desvios pontuais de carga acima do PMB não colocaria a operação em risco.

Contudo, carga superior ao PBM compromete a vida útil dos componentes dos Vagão e da VIA

Manga	PMB	Eixo	Diferença entre Truques
T (130)	5%	10%	10%

Até
06/2015

+ 5% + 12% + 15%

Manga	PMB	Eixo	Diferença entre Truques
T (130)	10%	22%	25%

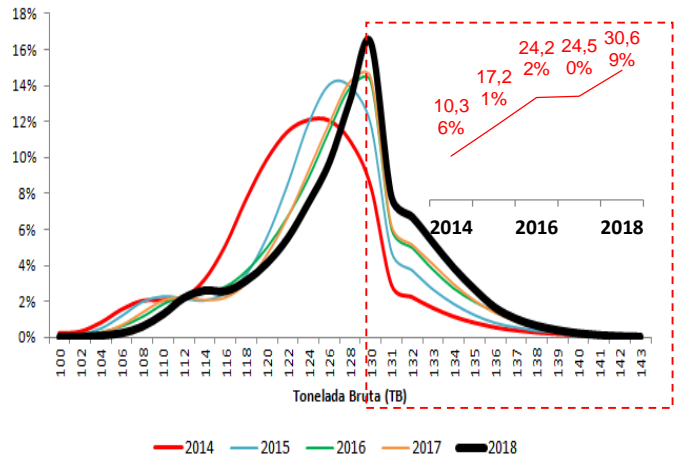
Após
06/2015

Neste mesmo período foi solicitado um **controle rígido** para a VALE referente a eixo com **carga superior a 36t/eixo** (visando as Obras de Arte). Os terminais da VALE conseguiram reduzir estes valores através de **uma melhor distribuição na carga do vagão**, o que posteriormente possibilitou um **maior carregamento médio do vagão**. Porém o percentual de vagões com PBM maior que o nominal aumentou.

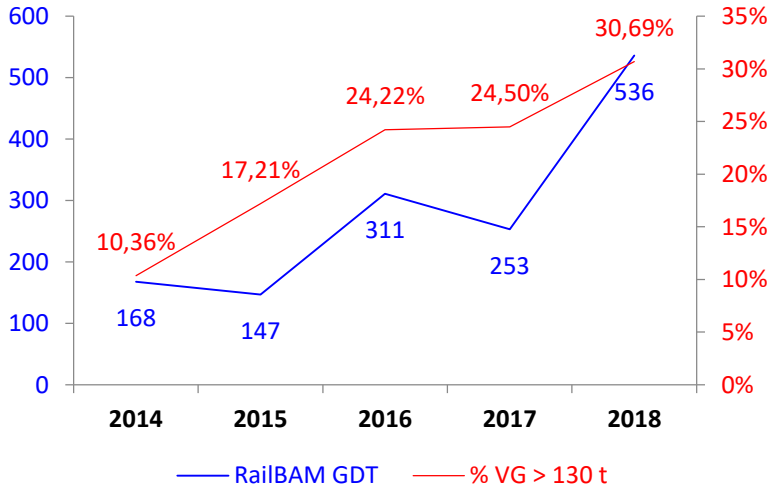
Impactam vagões – Elevada quantidade de RailBAM em GDT

2014 a 2018 houve um aumento no carregamento de vagões acima da capacidade nominal, sendo que os vagões são projetados para carregar o peso nominal e não mais que o nominal.

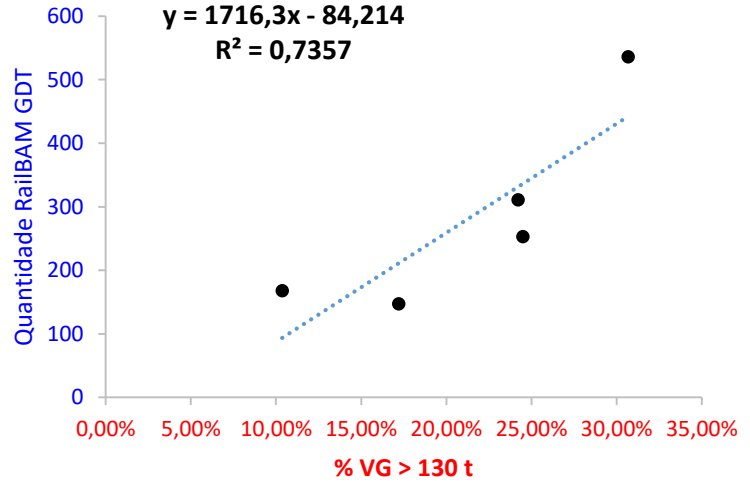
Evolução da Distribuição de Peso - GDT130 2014-2018



RailBAM vs Carregamento > 130 t



Apresenta forte relação



Impactam vagões – Elevada quantidade de Brinelamento

Fotos encaminhadas pela Produção Industrial mostrando os eventos com Brinelamento, na capa do rolamento

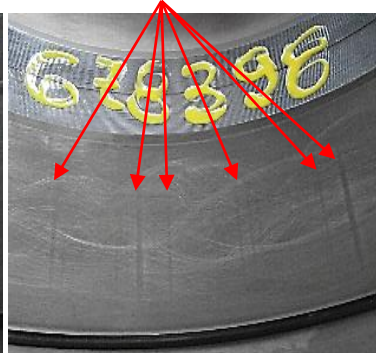
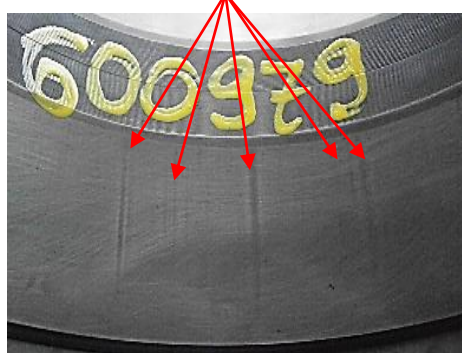


Marca de impactos dos roletes na capa

Marca de impactos dos roletes na capa

Marca de impactos dos roletes na capa

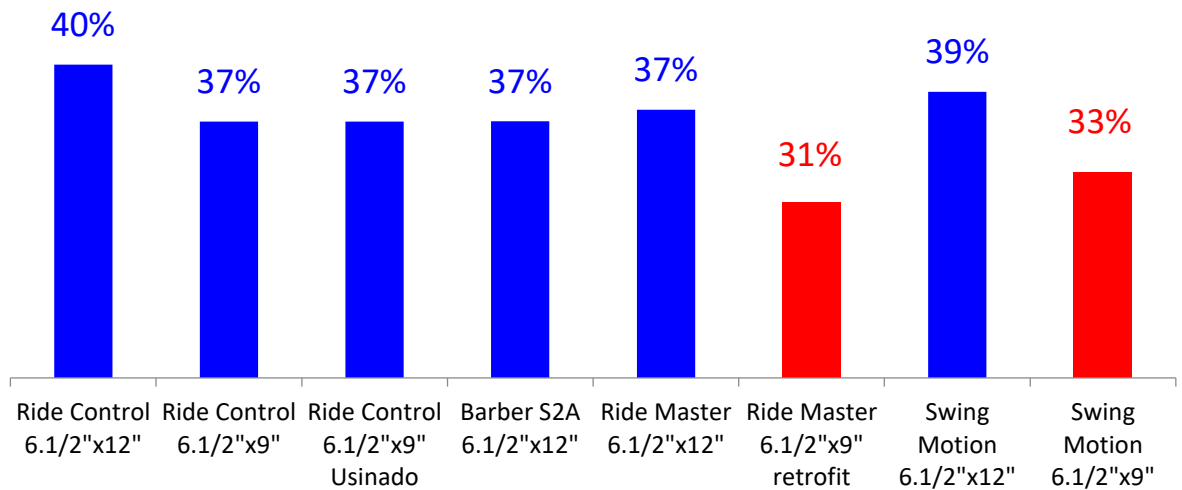
Marca de impactos dos roletes na capa



Impactam vagões – Reserva Elástica nos Truques GDT

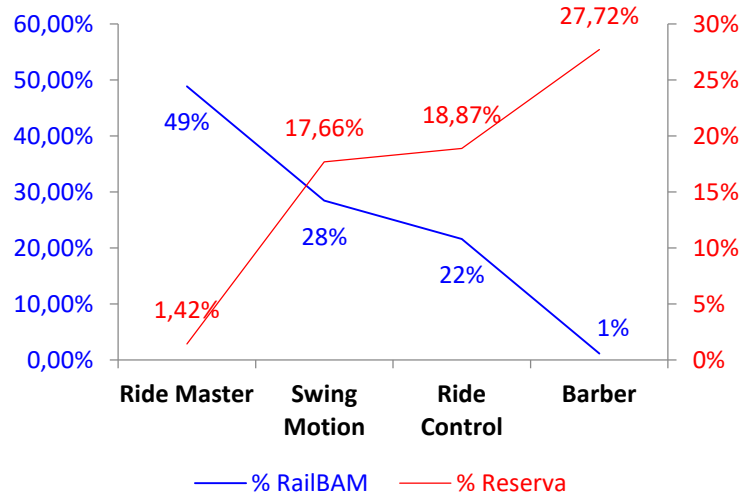
A oficina do km 460 segregou os rolamentos alarmados em RailBAM de outubro de 2018 a janeiro de 2019, identificando o truque e encaminhando a PI para análise, sendo foi verificado que 49% dos alarmes eram em **truques Ride Master Retrofit 6.1/2"x9"**

Truques vs % Reserva Elástica de Projeto

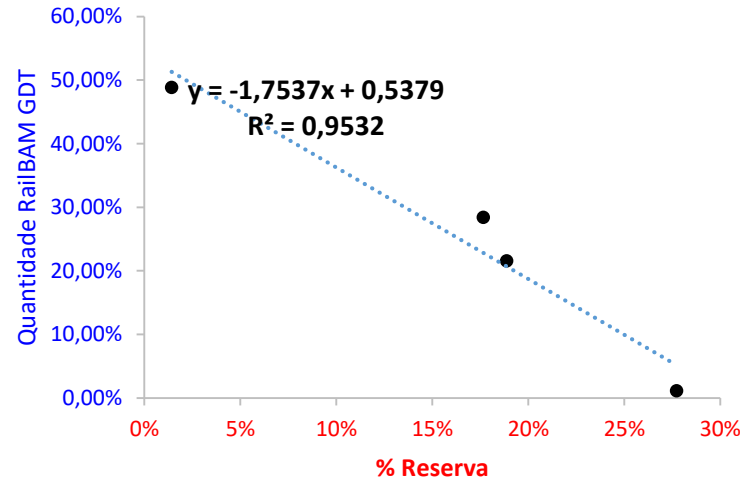


Impactam vagões – Reserva Elástica nos Truques GDT

RailBAM vs % Reserva Elástica nos VGs com RailBAM



Apresenta forte relação

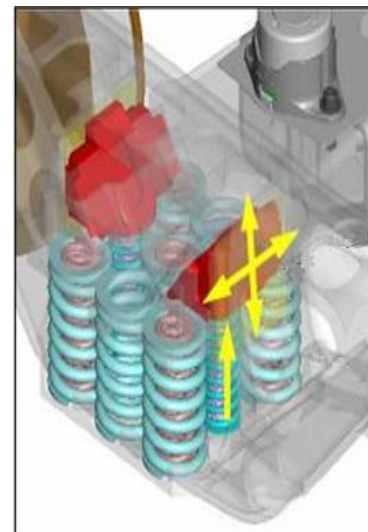


Função das cunhas e pacote de molas

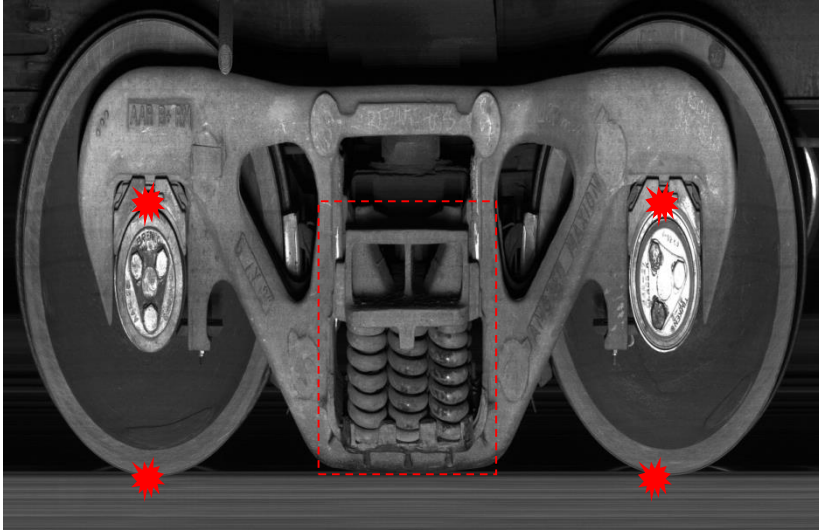
Amortecimento do Truque: É composto por **MOLAS DA SUSPENSÃO** e **CUNHAS DE FRICÇÃO**, o conjunto de amarelecimento tem como função amortecer alguns movimentos verticais indesejados que ocorre na dinâmica veicular devido a irregularidade e geometria de VIA, na ausência ou deficiência deste conjunto os esforços são intensificado no veiculo e na VIA.

Fatores que reduzem o desempenho do Amortecimento do Truque:

- Reserva elástica Baixa
- Cunha Alta
- Peso do vagão maior do que o determinado por projeto



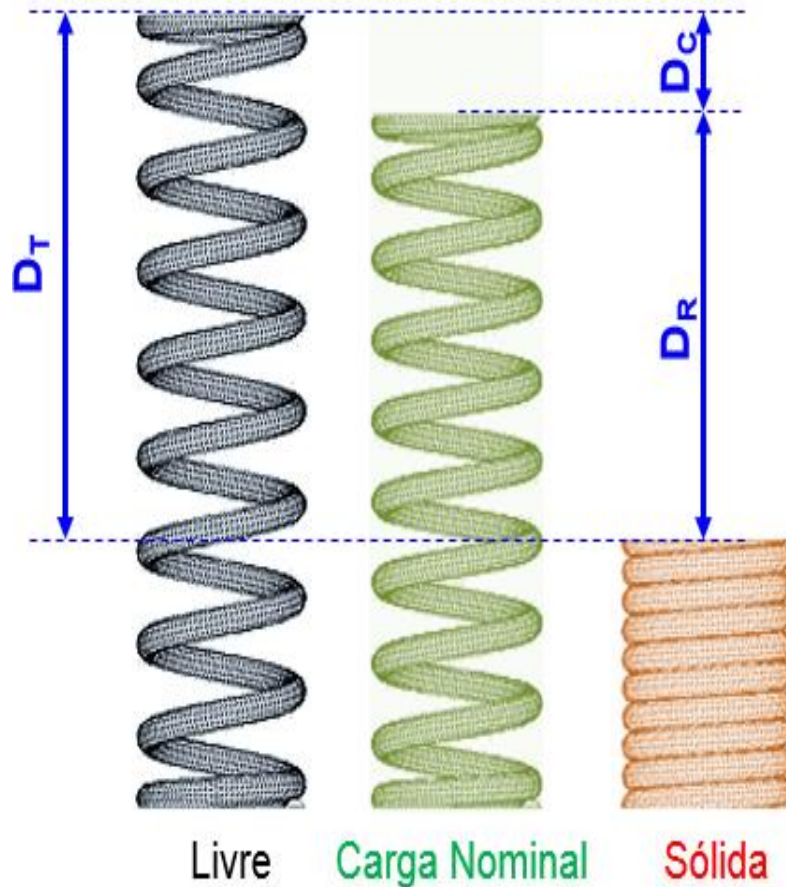
Função das cunhas e pacote de molas



☀ Pontos Críticos

- Mola sólida aumenta os esforços sobre a VIA em até **2 VEZES**.
- Simulações apontam que Reserva elástica **menor que 15% apresenta iminência toque de espiras**.
- **Excesso de carga** reduz a Reserva elástica e conseqüentemente a eficiência do amortecimento do truque

Apresentação do problema



$$RE = \frac{D_R}{D_T} \times 100$$

RE: % de Reserva Elástica

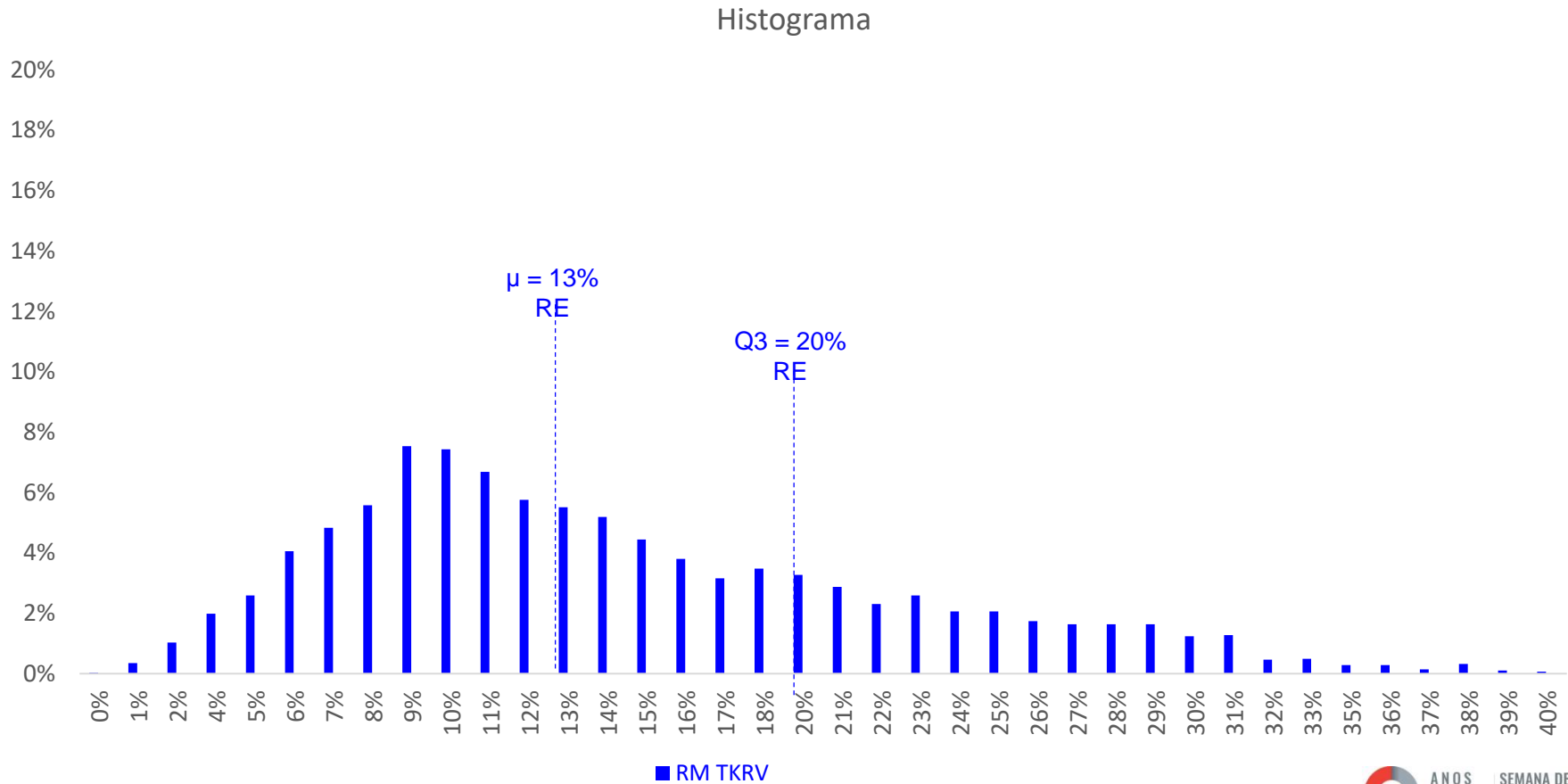
D_T: Deflexão Total

D_C: Deflexão da Carga

D_R: Deflexão de Reserva

Impactam vagões – Reserva Elástica nos Truques GDT - Histograma

Frota Ride Master Retrofit 6.1/2"x9" de GDT - MRS: **Mediana = 13% de RE e Q3 = 20% RE**

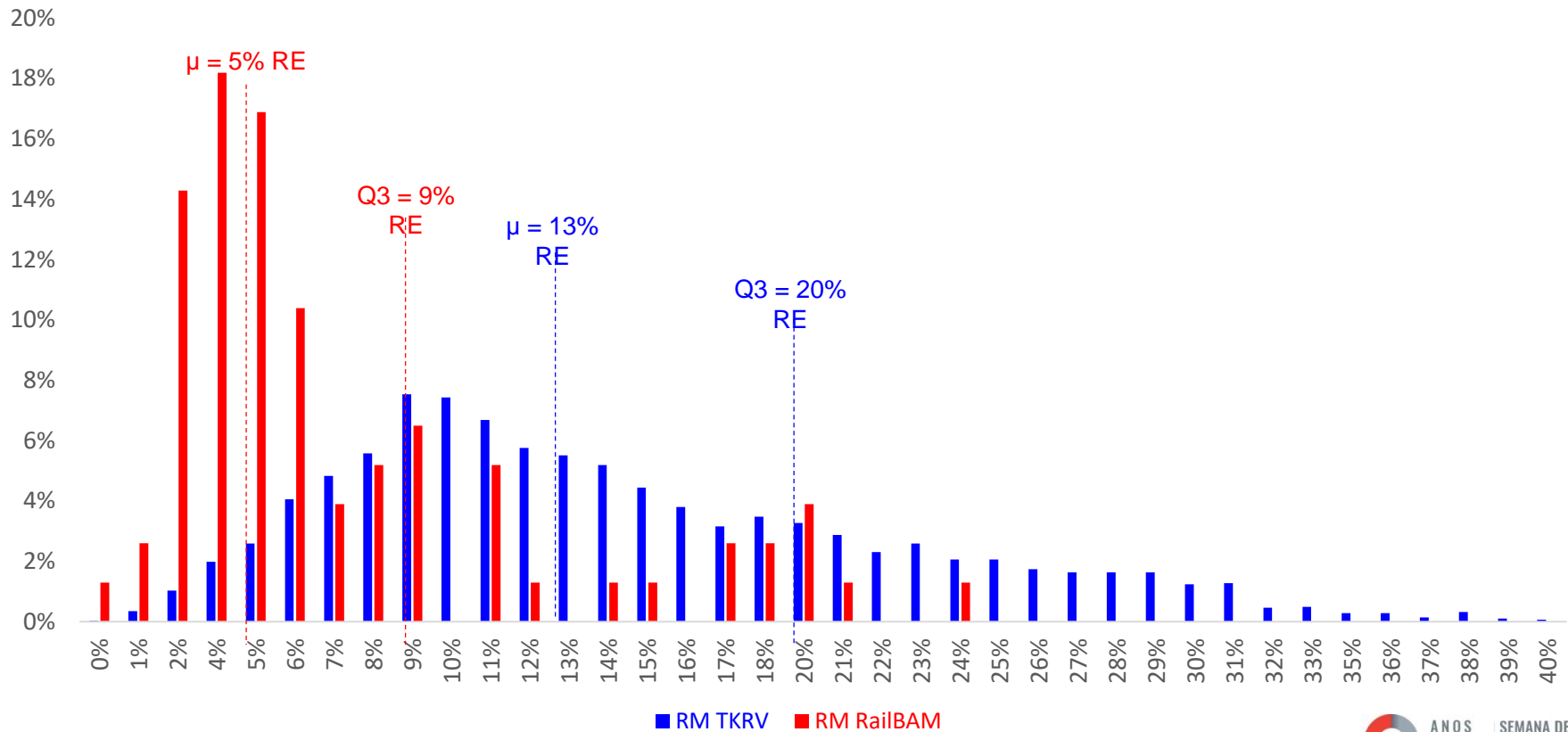


Impactam vagões – Reserva Elástica nos Truques GDT - Histograma

Frota Ride Master Retrofit 6.1/2"x9" de GDT - MRS: **Mediana = 13% de RE e Q3 = 20% RE**

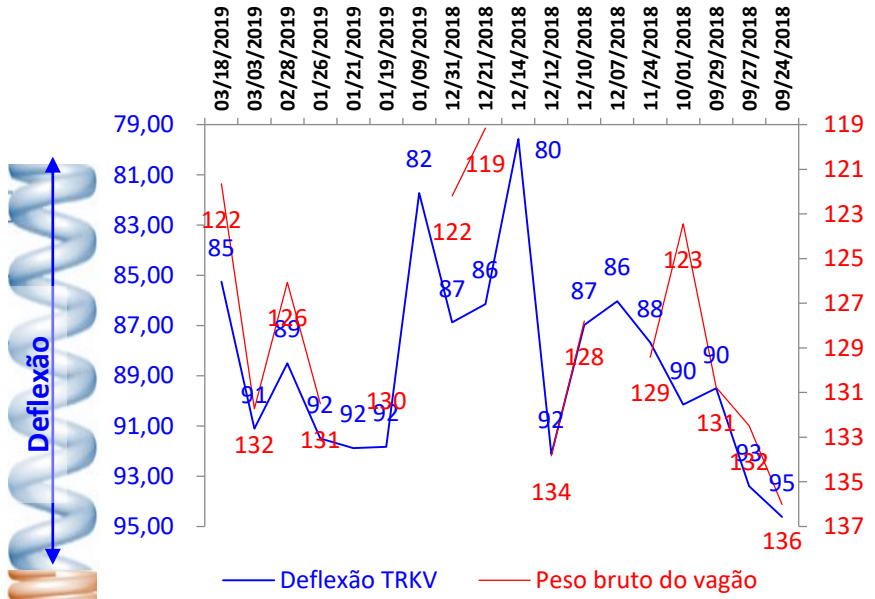
Frota Ride Master Retrofit 6.1/2"x9" de GDT com RailBAM - MRS: **Mediana = 5% de RE e Q3 = 9% RE**

Histograma

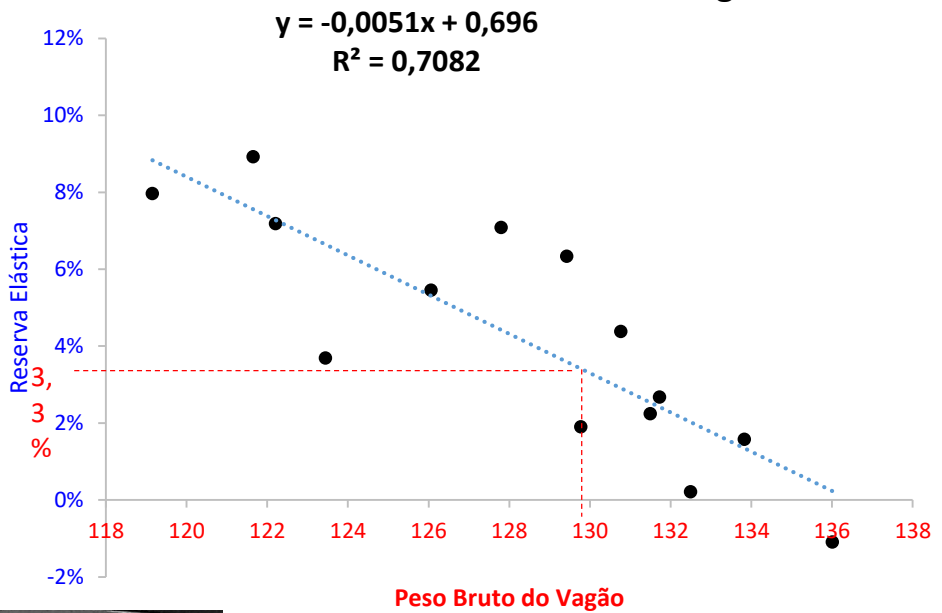


GDT- 612727 Reincidente RailBAM no mesmo Rolamento

RailBAM Eixo 2 – Lado Direito: 1º - Aberta em 04/09/2018 e Fechada em 08/10/2018
 2º - Aberta em 20/03/2019



Reserva Elástica vs Peso Bruto do Vagão

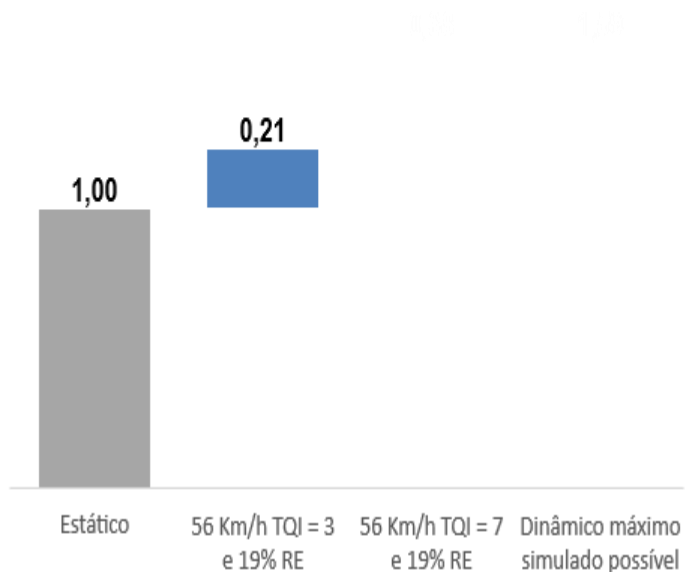


Simulação Dinâmica - Veículo/Via

As simulações servem para nos orientar onde temos maior oportunidade e de melhoria, bem como traçar ações mais claras e factíveis.

As irregularidades da via excita os veículos o que acarreta maior esforço sobre a mesma para um TQI 3 há um **acréscimo de 21%** no esforço

Acrescimento de carga de referencia (32,5 t/eixo)

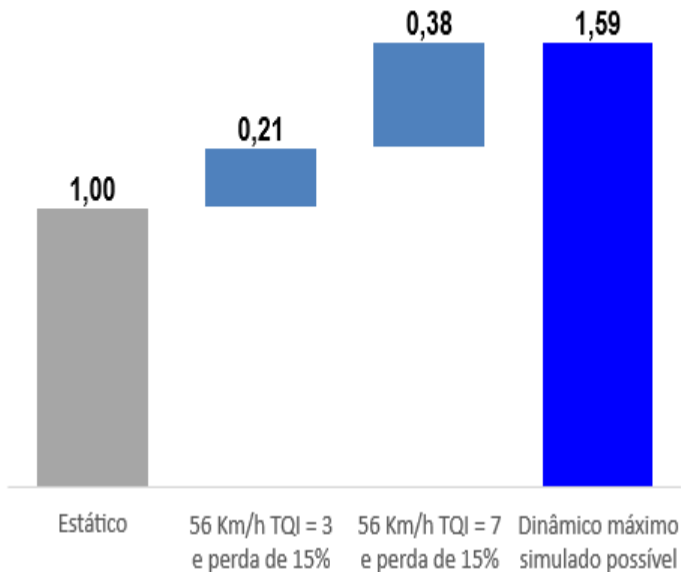


Simulação Dinâmica - Veículo/Via

As simulações servem para nos orientar onde temos maior oportunidade e de melhoria, bem como traçar ações mais claras e factíveis.

As irregularidades da via excita os veículos o que acarreta maior esforço sobre a mesma para um TQI 3 há um **acréscimo de 21%** no esforço, quando o **TQI aumenta de 3 para 7** pode-se elevar os esforços em **31,4%**

Acrescimento de carga de referencia (32,5 t/eixo)



Simulação Dinâmica - Veículo/Via

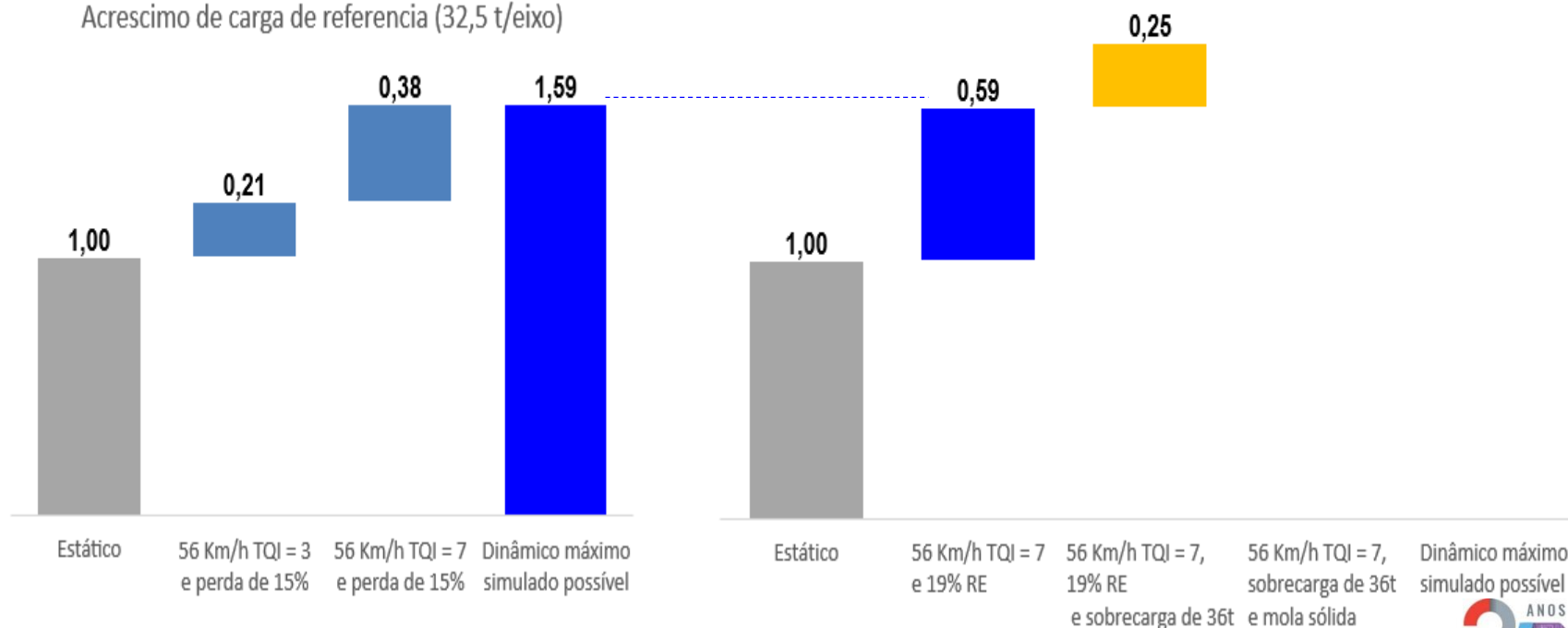
As simulações servem para nos orientar onde temos maior oportunidade e de melhoria, bem como traçar ações mais claras e factíveis.

As irregularidades da via excita os veículos o que acarreta maior esforço sobre a mesma para um TQI 3 há um **acréscimo de 21%** no esforço, quando o **TQI aumenta de 3 para 7** pode-se elevar os esforços em **31,4%**

Acréscimo de carga de referencia (32,5 t/eixo)

Uma via de **TQI para 7** com sobrecarga pode-se elevar os esforços em **15,7%**,

Acréscimo de carga de referencia (32,5 t/eixo)

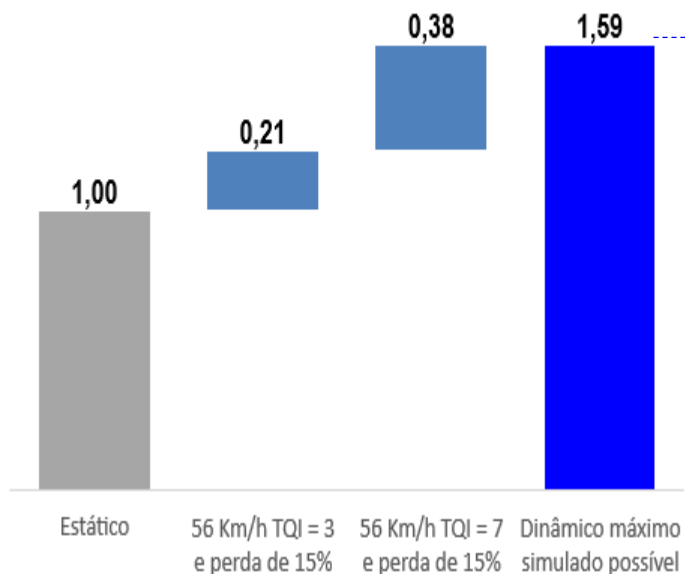


Simulação Dinâmica - Veículo/Via

As simulações servem para nos orientar onde temos maior oportunidade e de melhoria, bem como traçar ações mais claras e factíveis.

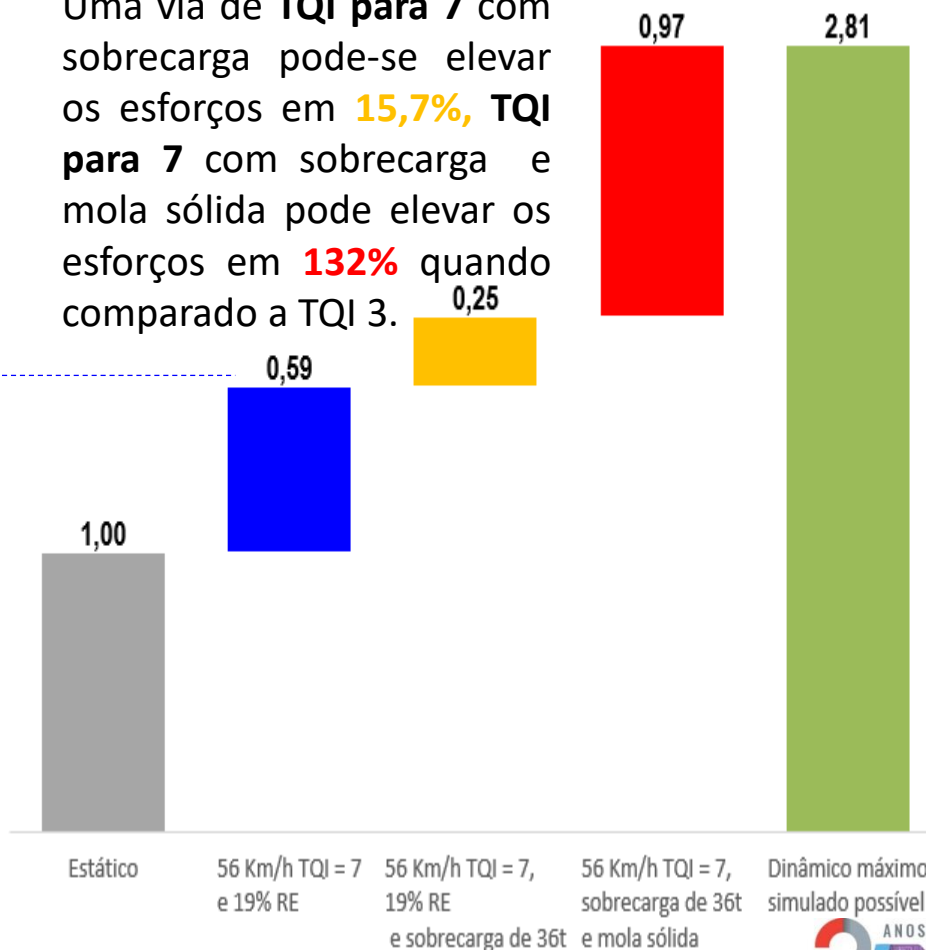
As irregularidades da via excita os veículos o que acarreta maior esforço sobre a mesma para um TQI 3 há um **acréscimo de 21%** no esforço, quando o **TQI aumenta de 3 para 7** pode-se elevar os esforços em **31,4%**

Acréscimo de carga de referencia (32,5 t/eixo)

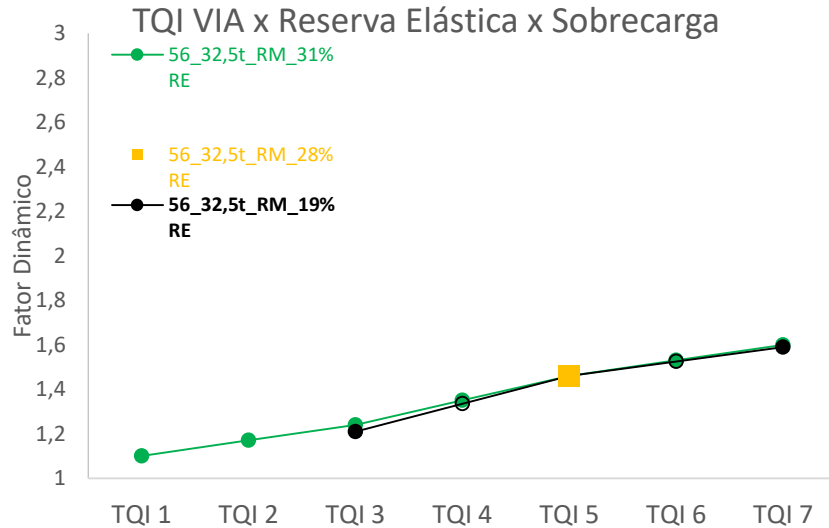


Acréscimo de carga de referencia (32,5 t/eixo)

Uma via de **TQI para 7** com sobrecarga pode-se elevar os esforços em **15,7%**, **TQI para 7** com sobrecarga e mola sólida pode elevar os esforços em **132%** quando comparado a TQI 3.

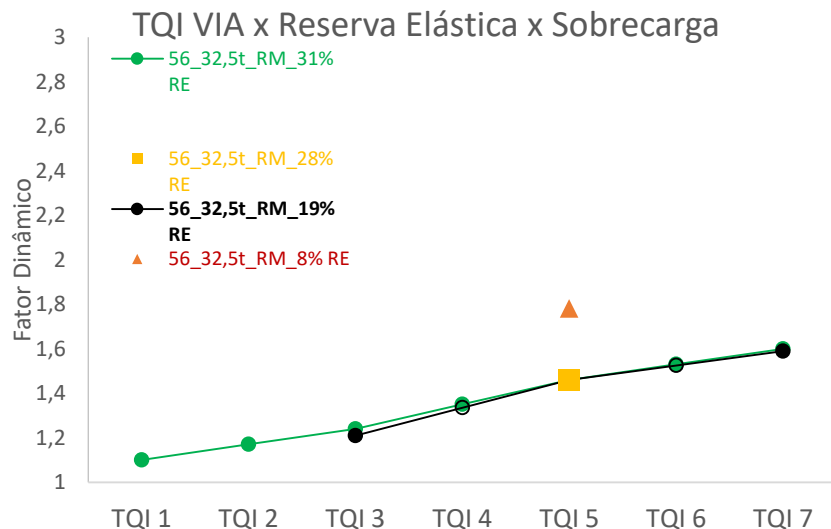


Simulações - Reserva Elástica, TQI e Sobre Carga



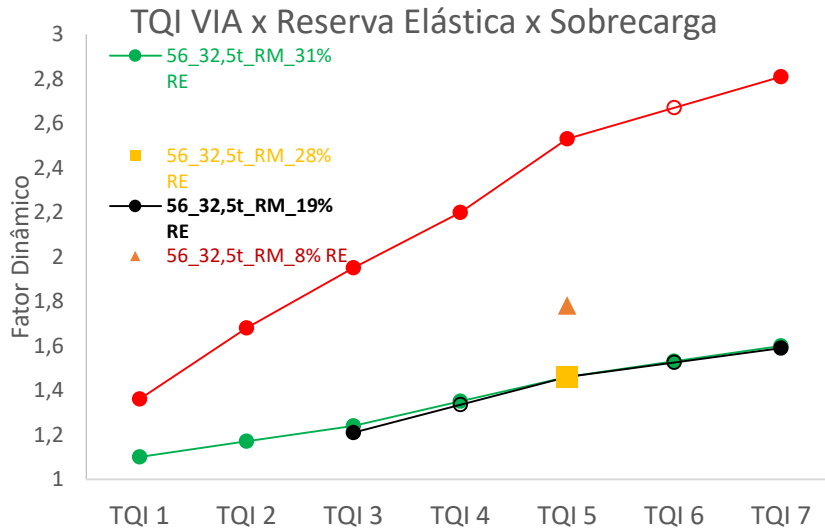
- **56_32,5t_RM_31%RE**, **28%RE** e **19%RE**, Ride Master com reserva elástica 31%, 28% e 19% respectivamente, observou-se que o fator dinâmico varia linearmente com o TQI de 1,1 a 1,59 um acréscimo de 44,5% no fator dinâmico apenas com a variação do TQI, a variação na reserva praticamente não alterou o fator dinâmico;

Simulações - Reserva Elástica, TQI e Sobre Carga



- **56_32,5t_RM_31%RE**, **28%RE** e **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;
- **56_32,5t_RM_8%RE**, 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;

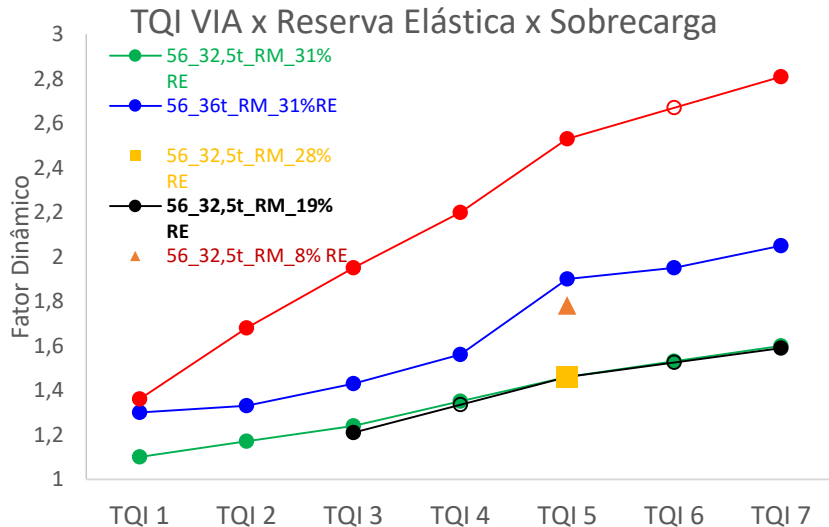
Simulações - Reserva Elástica, TQI e Sobre Carga



- **56_32,5t_Sólida**, o fator dinâmico varia linearmente com o TQI de 1,36 a **2,81** um acréscimo de **106,6%** no fator dinâmico;

- **56_32,5t_RM_31%RE**, **28%RE** e **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;
- **56_32,5t_RM_8%RE**, 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;

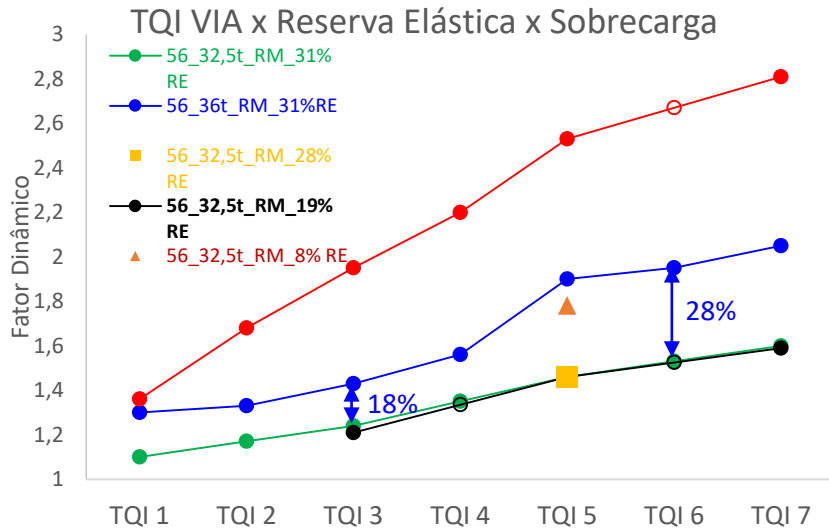
Simulações - Reserva Elástica, TQI e Sobre Carga



- **56_32,5t_RM_31%RE**, **28%RE** e **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;
- **56_32,5t_RM_8%RE**, 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;

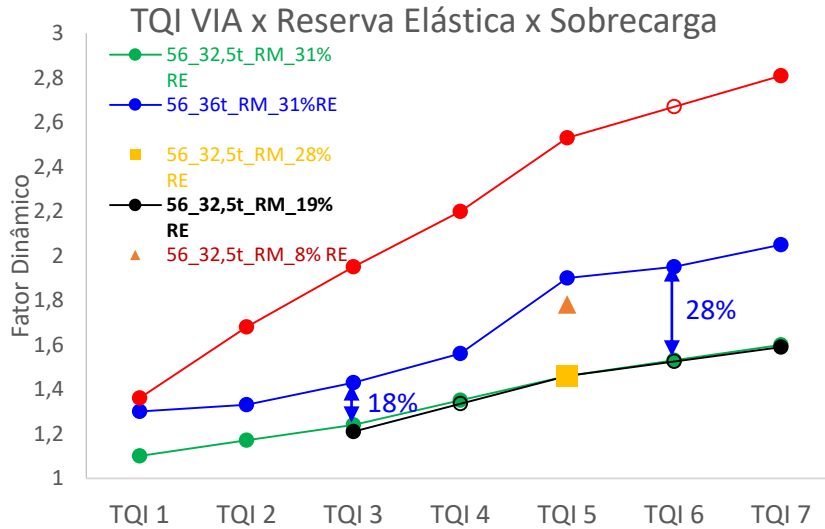
- **56_32,5t_Sólida**, o fator dinâmico varia linearmente com o TQI de 1,36 a **2,81** um acréscimo de **106,6%** no fator dinâmico;
- **56_36t_31%RE**, com sobrecarga (36t/eixo), o fator dinâmico varia linearmente com o TQI 1 a TQI 4 de **1,30** a **1,56**, um acréscimo de **20%** no fator dinâmico, de um TQI 4 para TQI 5 temos um salto no fator dinâmico de **1,56** a **1,90**, um acréscimo de **21,8%** no fator dinâmico, para TQI 5 a TQI 7 varia linearmente chegando a um fator dinâmico de **2,05** para TQI 7;

Simulações - Reserva Elástica, TQI e Sobre Carga



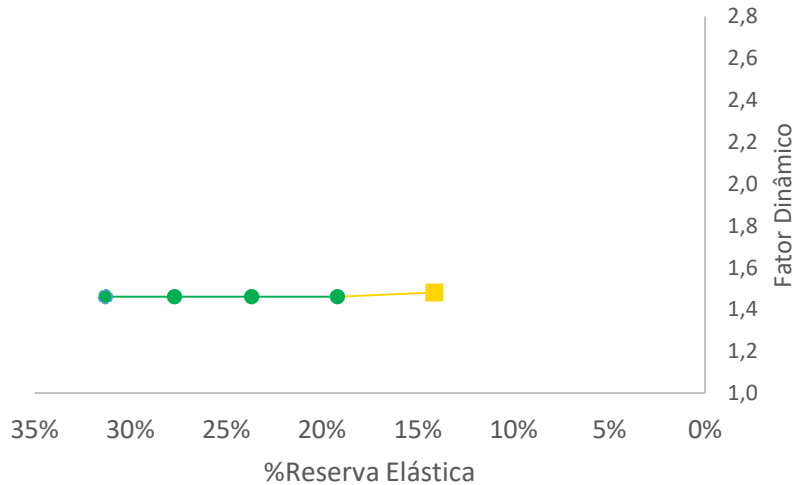
- 56_32,5t_RM_31%RE**, **28%RE** e **19%RE**, Ride Master com reserva elástica 31%, 28% e 19% respectivamente, observou-se que o fator dinâmico varia linearmente com o TQI de 1,1 a 1,59 um acréscimo de 44,5% no fator dinâmico apenas com a variação do TQI, a variação na reserva praticamente não alterou o fator dinâmico;
- 56_32,5t_RM_8%RE**, 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**, o fator dinâmico varia linearmente com o TQI de 1,36 a **2,81** um acréscimo de **106,6%** no fator dinâmico;
- 56_36t_31%RE**, com sobrecarga (36t/eixo), 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**, um acréscimo de **21,8%** no fator dinâmico, para TQI 5 a TQI 7 varia linearmente chegando a um fator dinâmico de **2,05** para TQI 7;
- 56_32,5t_RM_31%RE** para **56_36t_31%RE**, o modelo variou o peso por eixo de 32,5t para 36t, 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%**;

Simulações - Reserva Elástica, TQI e Sobre Carga

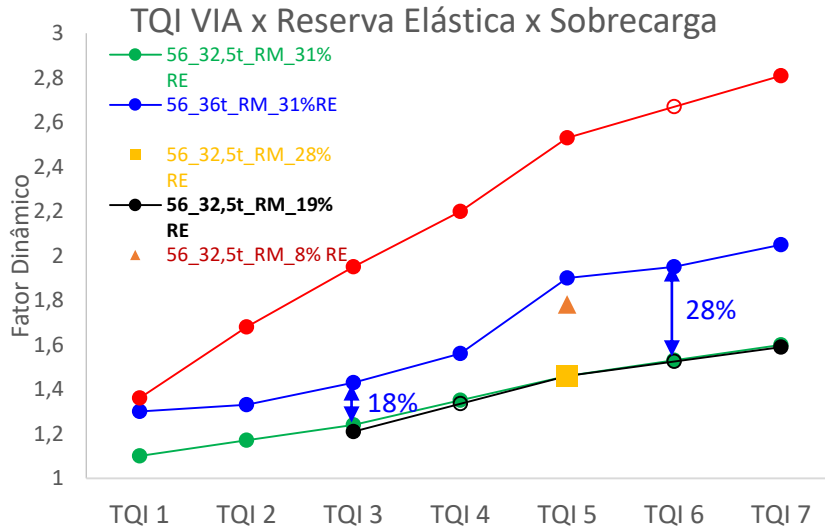


- Reserva elástica variando de **31%** a **14%** em um TQI 5, o Fator Dinâmico não varia, porém reserva elástica entre **19%** a **14%** é observado toque de espiras, mas sem transferência de carga;

% Reserva Elástica RM 56 km/h TQI 5 32,5 t

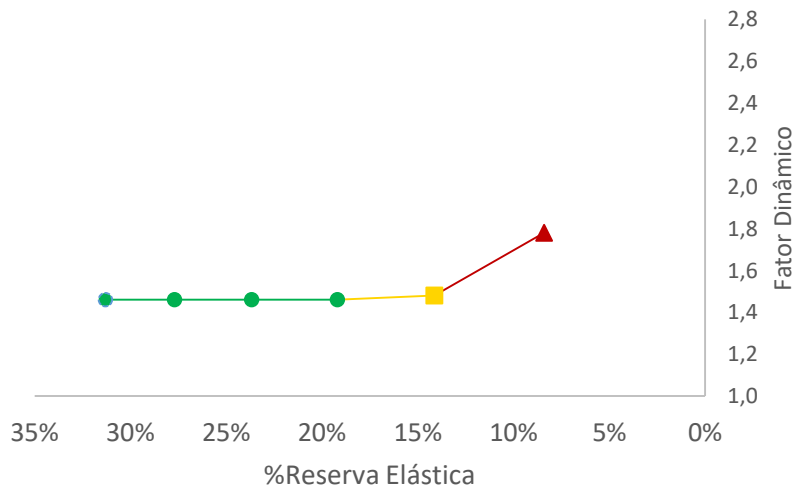


Simulações - Reserva Elástica, TQI e Sobre Carga

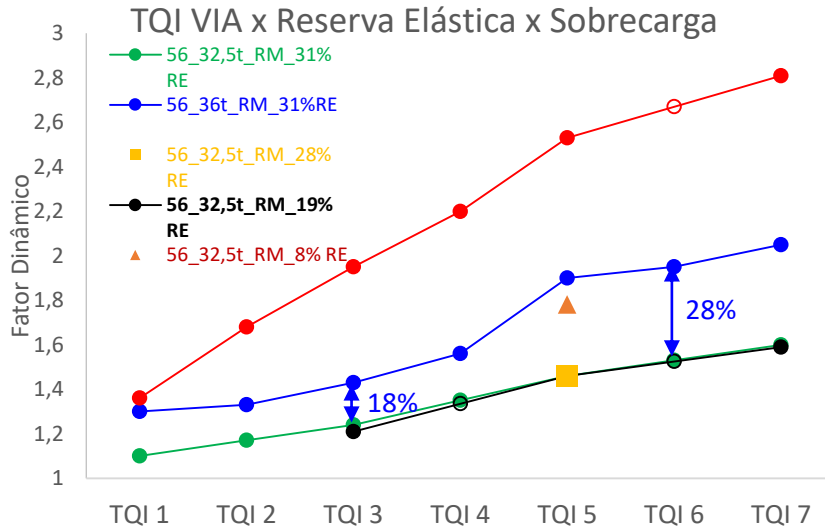


- Reserva elástica variando de **31%** a **14%** em um TQI 5, o Fator Dinâmico não varia, porém reserva elástica entre **19%** a **14%** é observado toque de espiras, mas sem transferência de carga;
- Reserva elástica variando de **14%** a **8%** há toque de espira **com transferência de carga** aumentando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

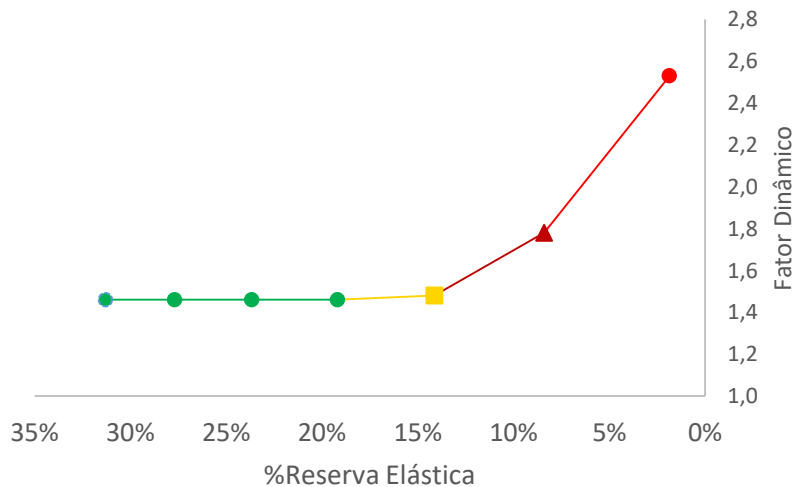
% Reserva Elástica RM 56 km/h TQI 5 32,5 t



Simulações - Reserva Elástica, TQI e Sobre Carga



% Reserva Elástica RM 56 km/h TQI 5 32,5 t



- 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 espira **com transferência de carga** aumentando o fator dinâmico em **20,2%**;
- Reserva elástica menor que **8%** há toque de espira **com transferência de carga severo** aumentando o fator dinâmico em até **73%** quando a Reserva igual a **0% (mola sólida)**;

Instrumentação - Ponte Belizário



Grupo com 4 vagões

Grupo 1: GDU Pleno sem desvios

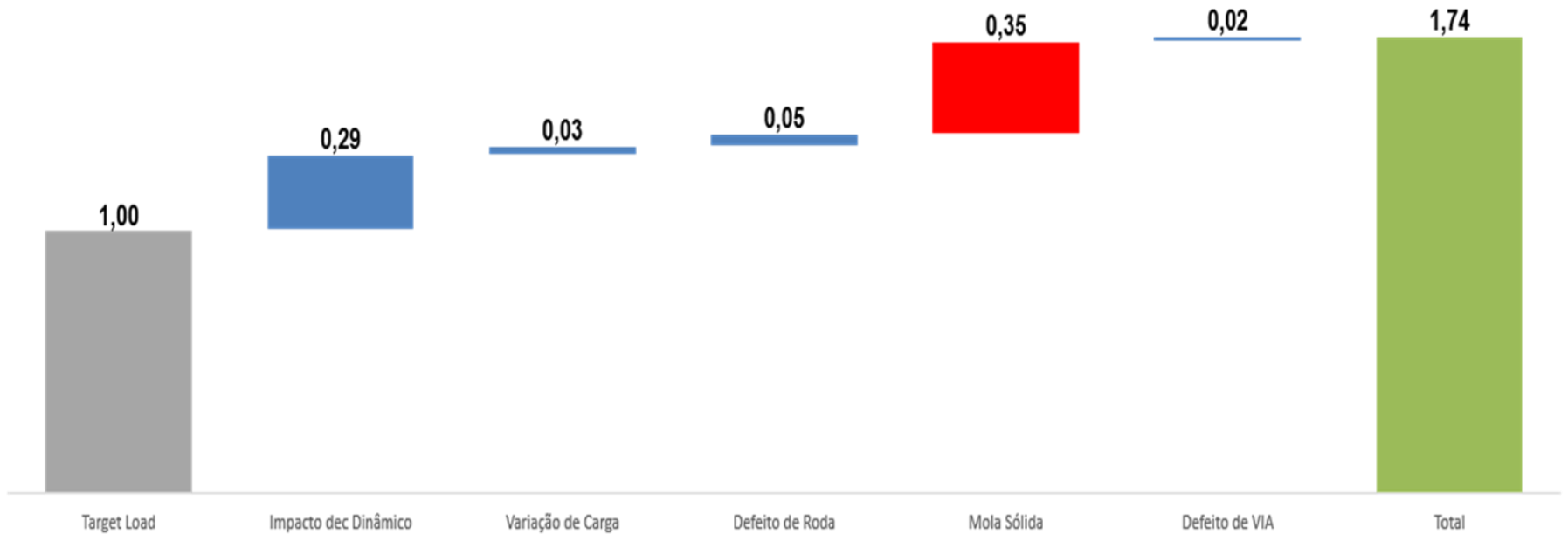
Grupo 2: GDT com desvio de Carregamento

Grupo 3: GDT com defeito de Roda

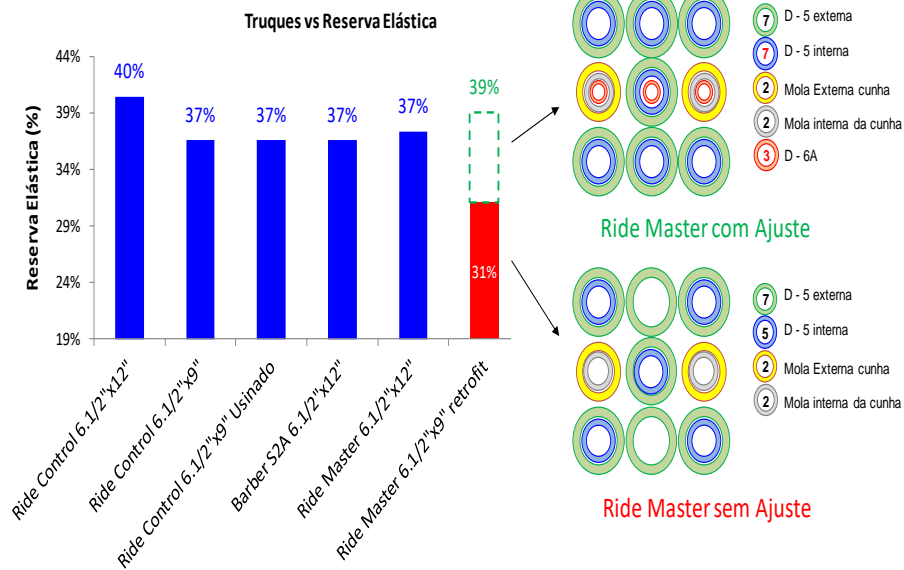
Grupo 4: GDT com mola cansada



Acrescimento de carga de referencia (36 t/eixo)



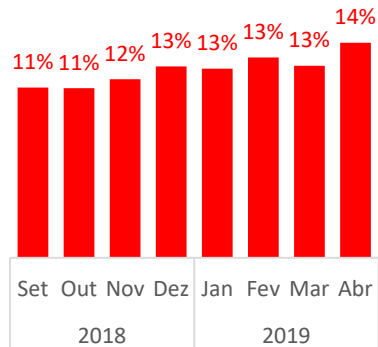
Reserva Elástica - Ajuste do Pacote RM e SM



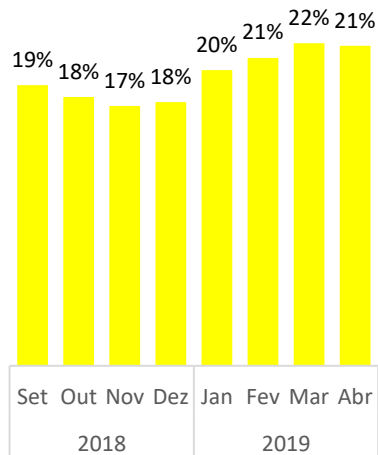
Projeto - Ajuste do Pacote RM e SM

- Mai/2018 – Criação e Treinamento: EPS-ENG-6006 - AJUSTE DOS PACOTES DE MOLAS DOS TRUQUES RIDE MASTER E SWING MOTION 6.1/2"x9" – PROJETO RESERVA;
- A partir Jun/2018 – Todos os Truques Ride Master Retrofit 6.1/2"x9" e Swing Motion 6.1/2"x9" que entrarem para Revisão Geral, saem com o pacote ajustado segundo a EPS – ENG;
- Previsão de Ajuste dos pacotes em 100% frota até Dez/2021, atualmente temos 14% com pacote ajustado;

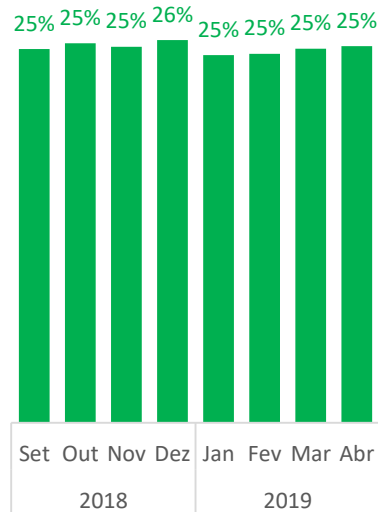
Ride Master



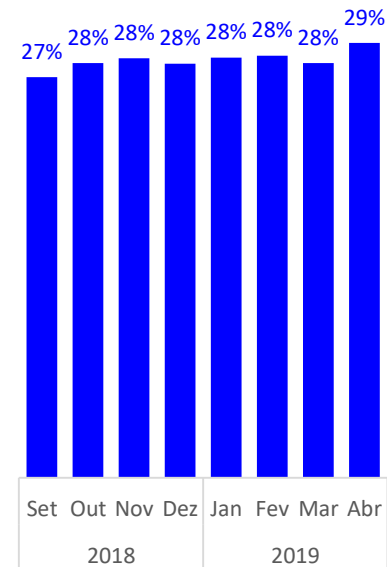
Barber



Swing Motion

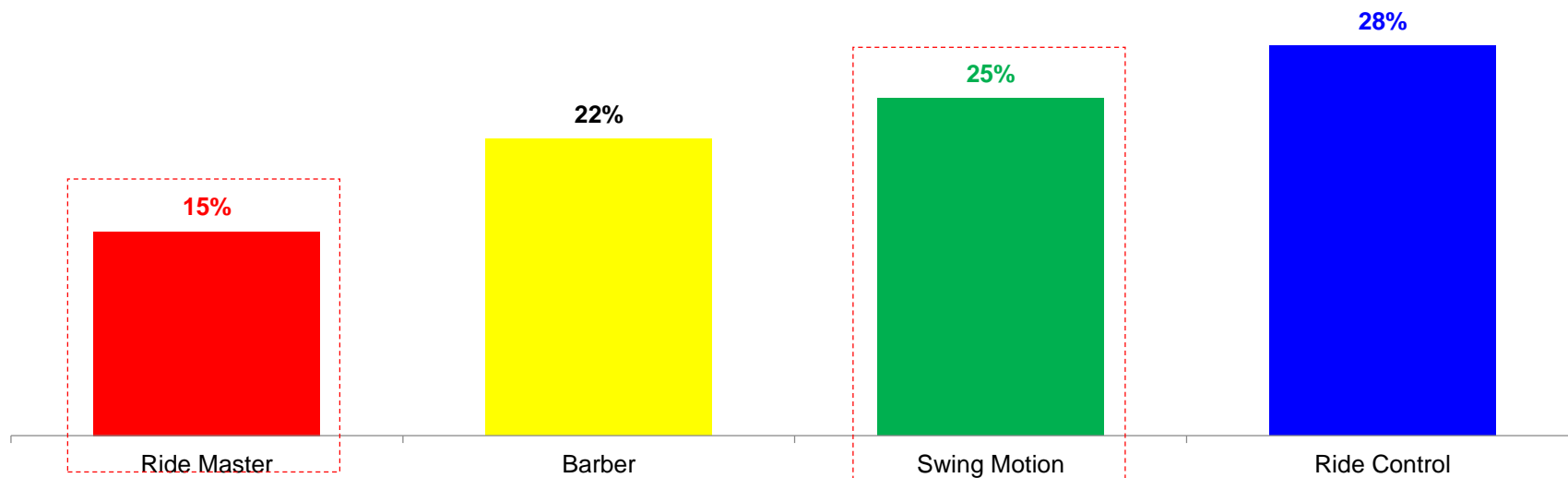


Ride Control

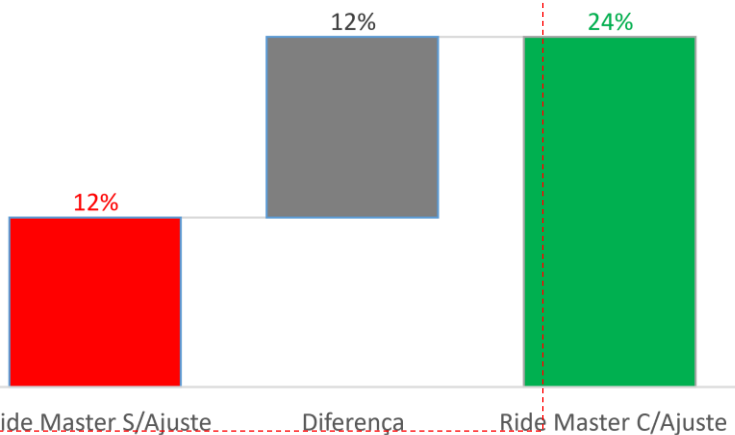


Projeto - Ajuste do Pacote RM e SM

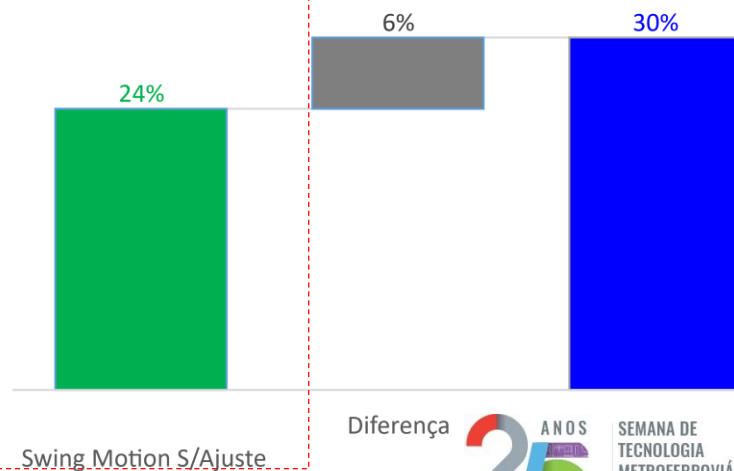
Reserva Elástica - Frota GDT



Reserva Elástica - Ride Master



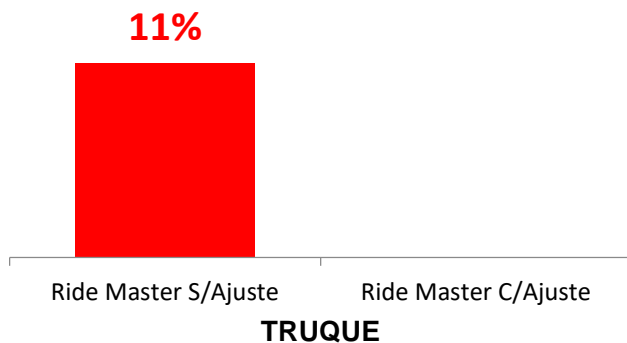
Reserva Elástica - Swing Motion



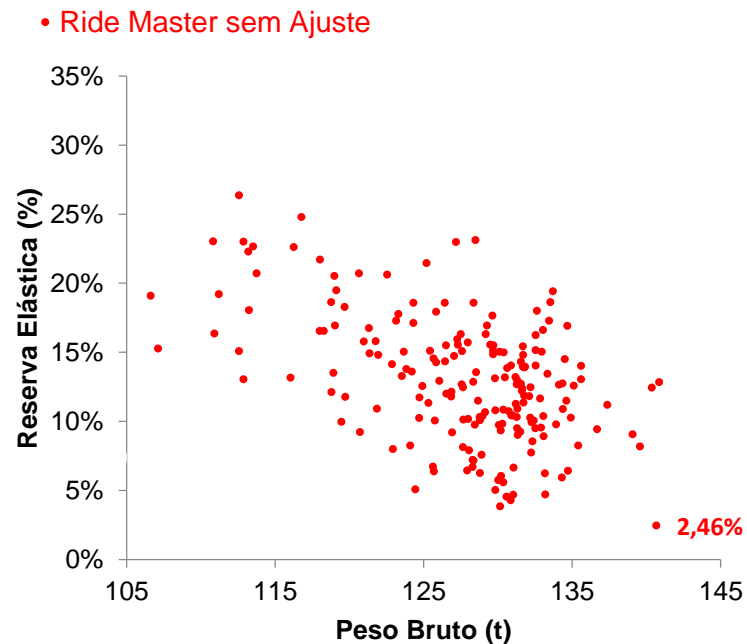
Projeto - Ajuste do Pacote RM e SM

- **Sem Ajuste** há alta variabilidade no sistema, um carregamento de **140,67t** a reserva elástica foi de **2,46%**, , isto indica que os pacotes sem ajuste de reserva não devem ser carregados acima de sua capacidade nominal grande risco de tocar espiras.

RESERVA ELÁSTICA MÉDIA



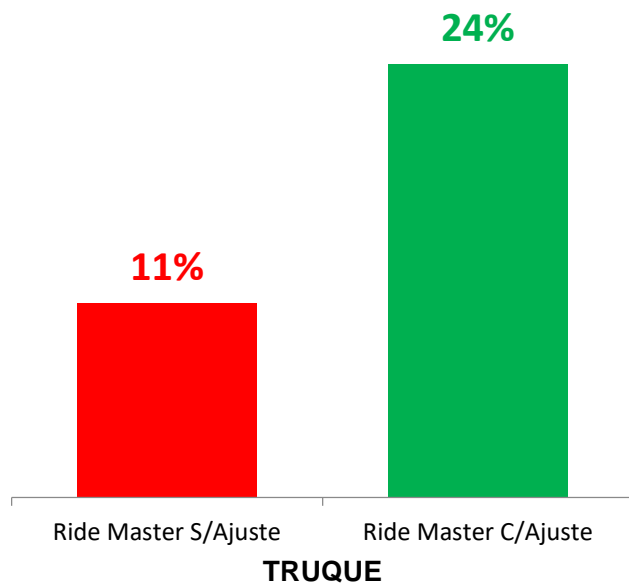
Reserva vs Peso Bruto



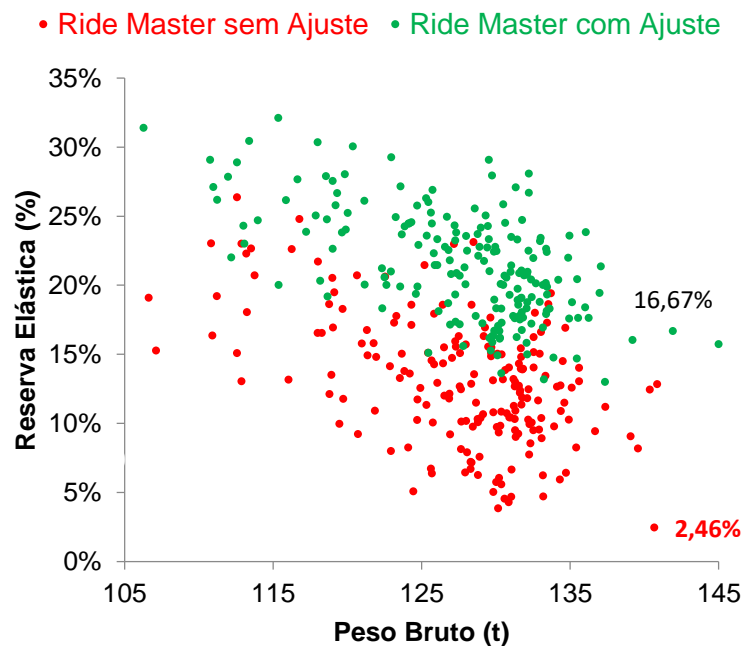
Projeto - Ajuste do Pacote RM e SM

- **Sem Ajuste** há alta variabilidade no sistema, um carregamento de **140,67t** a reserva elástica foi de **2,46%**, , isto indica que os pacotes sem ajuste de reserva não devem ser carregados acima de sua capacidade nominal grande risco de tocar espiras.
- **Com ajuste** há alta variabilidade no sistema, um carregamento de **141,91t**, resultando em uma reserva de **16,67%**.

RESERVA ELÁSTICA MÉDIA



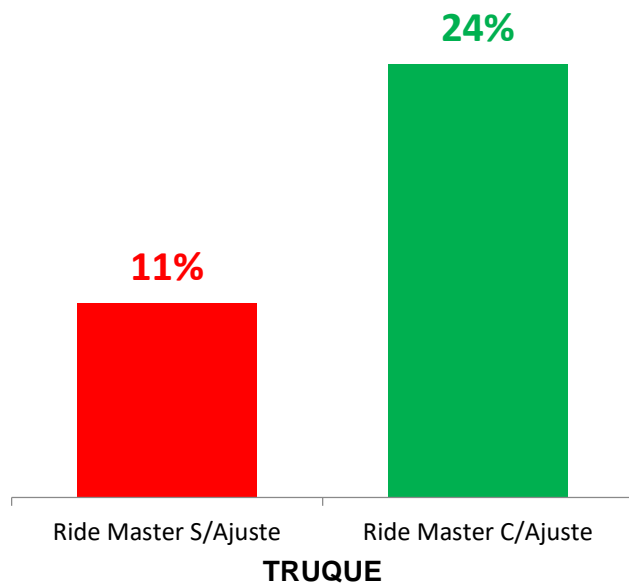
Reserva vs Peso Bruto



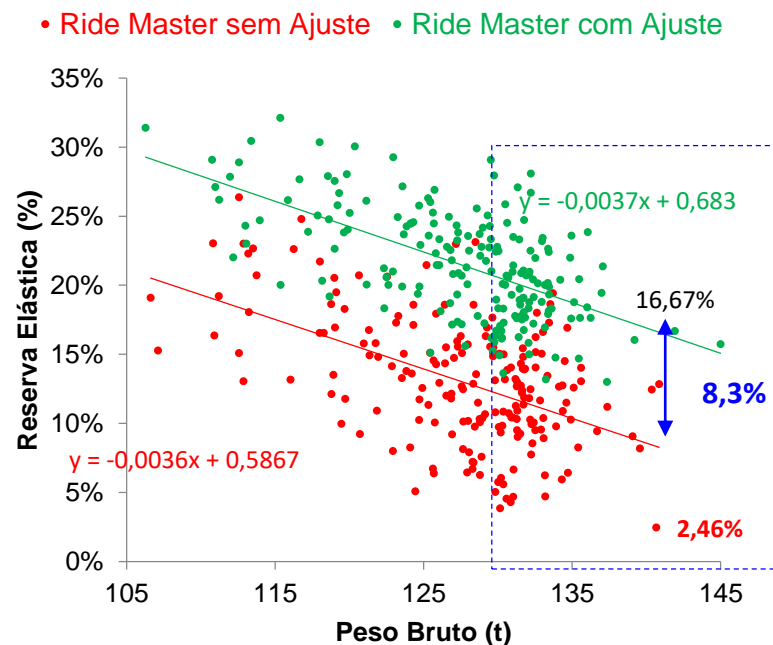
Projeto - Ajuste do Pacote RM e SM

- **Sem Ajuste** há alta variabilidade no sistema, um carregamento de **140,67t** a reserva elástica foi de **2,46%**, , isto indica que os pacotes sem ajuste de reserva não devem ser carregados acima de sua capacidade nominal grande risco de tocar espiras.
- **Com ajuste** há alta variabilidade no sistema, um carregamento de **141,91t**, resultando em uma reserva de **16,67%**.
- As retas resultantes da regressão linear são quase paralelas, sendo a com ajuste **8,3% superior** ao sem ajuste.

RESERVA ELÁSTICA MÉDIA



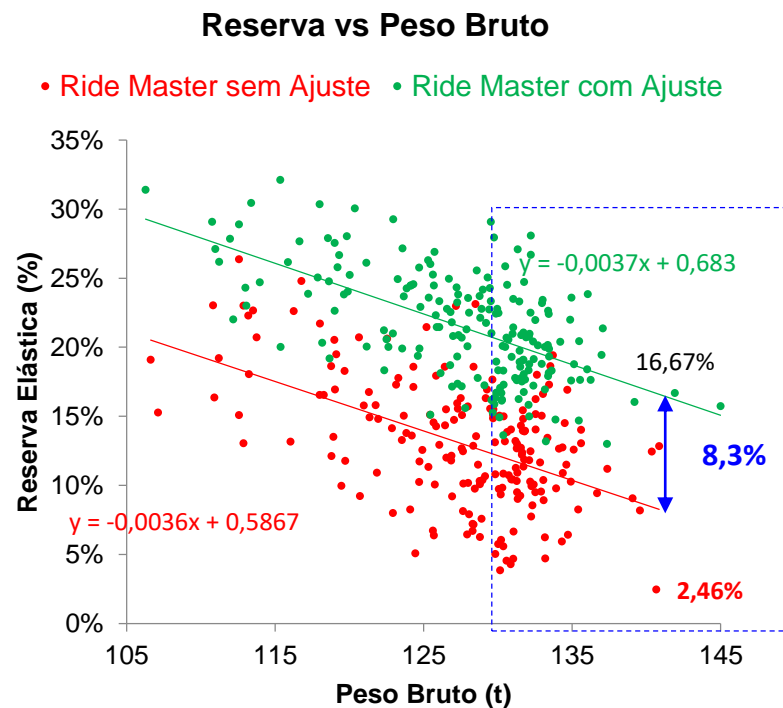
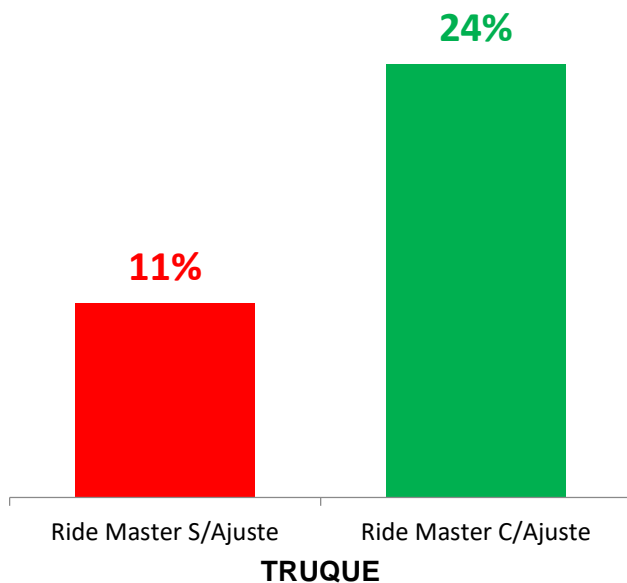
Reserva vs Peso Bruto



Projeto - Ajuste do Pacote RM e SM

- **Sem Ajuste** há alta variabilidade no sistema, um carregamento de **140,67t** a reserva elástica foi de **2,46%**, , isto indica que os pacotes sem ajuste de reserva não devem ser carregados acima de sua capacidade nominal grande risco de tocar espiras.
- **Com ajuste** há alta variabilidade no sistema, um carregamento de **141,91t**, resultando em uma reserva de **16,67%**.
- As retas resultantes da regressão linear são quase paralelas, sendo a com ajuste **8,3% superior** ao sem ajuste.
- Nota-se que os vagões são frequentemente carregados acima da sua capacidade nominal de **130t**.

RESERVA ELÁSTICA MÉDIA



Conclusões

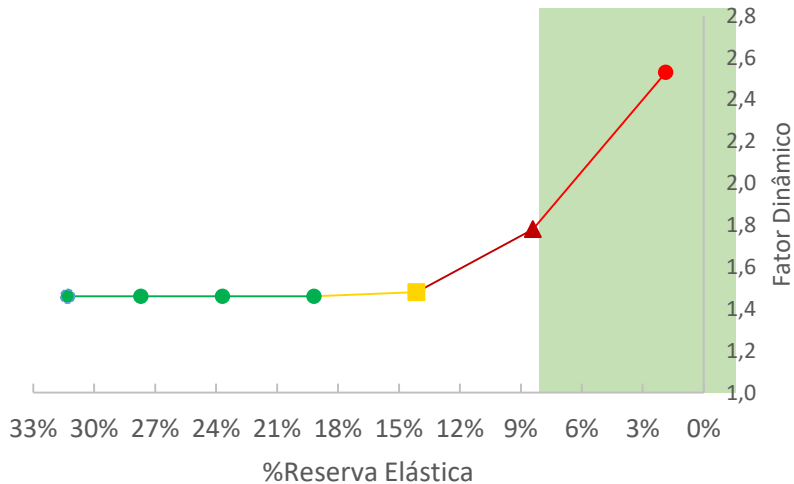
- Rolamentos instalados em Truques Ride Master Retrofit 6.1/2"x9" **sem ajuste** do pacote de molas são mais suscetíveis a ocorrências de Brinelamento, visto que tem baixa reserva elástica;
- Quanto maior o TQI da via maior o aumento do fator dinâmico;
- Reserva elásticas menores que 14% estão na eminência de tocar espiras o que pode ter como consequência danos ao rolamento e na via devido ao aumento do fator dinâmico;
- Truques Ride Master Retrofit 6.1/2"x9" **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.

Sugestão

- Vagões com Alarme RailBAM e Reserva inferior a 9% devem junto com a solicitação de RailBAM colocar a solicitação de SUSPENSÃO COM PERDA DE CAPACIDADE - SEVERO;
- No tratamento da SUSPENSÃO COM PERDA DE CAPACIDADE – SEVERO de Ride Master, ter como obrigatório o ajuste do pacote, talvez com recuperação e alterar o código do truque como U.
- Garantir junto com a Engenharia de Transporte um indicador de GDT > 130t, visto que o numero é crescente, pois pela ETE não se deve ter como rotina a utilização acima >130t;
- Verificar Junto ao PCM a possibilidade de encoste ou direcionar os vagões RM SEM AJUSTE para pelota;

Sugestão – Análises RailBAM e Reserva inferior a 9%

% Reserva Elástica RM 56 km/h TQI 5 32,5 t

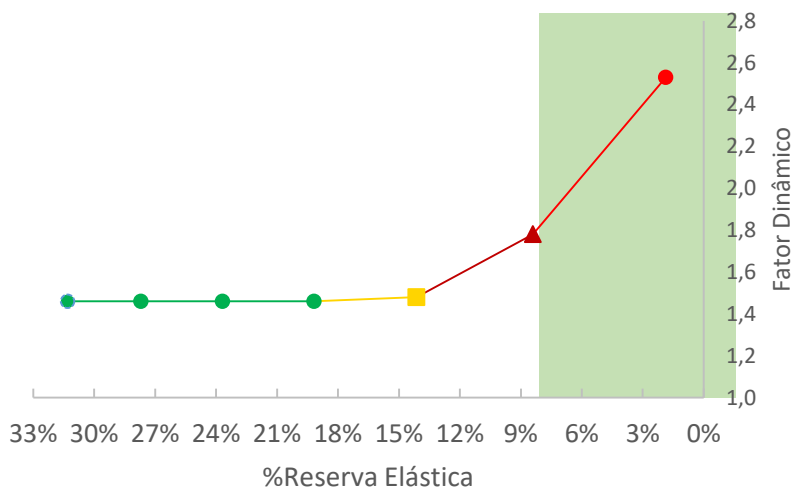


- Reserva elástica menor que **8%** há toque de espira com **transferência de carga severo** aumentando o fator dinâmico em até **73%** quando a Reserva igual a **0% (mola sólida)**;

	Reserva <= 9%		Total por tipo	
	#	%	#	%
Ride Control	0	0%	1050	23%
Barber	0	0%	117	3%
Ride Master	593	13%	2485	55%
Swing Motion	0	0%	836	19%
Total Analisado	593	13%	4488	100%

Sugestão – Análises RailBAM e Reserva inferior a 9%

% Reserva Elástica RM 56 km/h TQI 5 32,5 t



- Reserva elástica menor que **8%** há toque de espira com **transferência de carga severo** aumentando o fator dinâmico em até **73%** quando a Reserva igual a **0% (mola sólida)**;
- **13% da frota de GDT com reserva elástica <9%**, esta frota tem grande chance de gerar um Brinelamento nos rolamentos, estes 13% são **todos Ride Master sem ajuste de pacote**.

	Reserva <= 9%		Total por tipo	
	#	%	#	%
Ride Control	0	0%	1050	23%
Barber	0	0%	117	3%
Ride Master	593	13%	2485	55%
Swing Motion	0	0%	836	19%
Total Analisado	593	13%	4488	100%

TRILHOS:
EFICIÊNCIA E
NOVOS RUMOS



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

Nilton de Freitas

Lucas de Castro Valente

Felipe César Moreira Ciríaco

Admilson Martins Da Silva

Ramon Henrique de Paula Dutra