



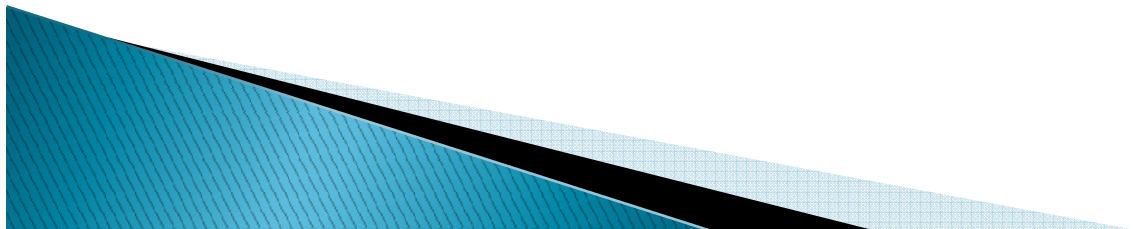
Modelo Integrado de Manutenção de Vias Férreas

José João Pires
LTP - EPUSP

São Paulo, Julho (2016)

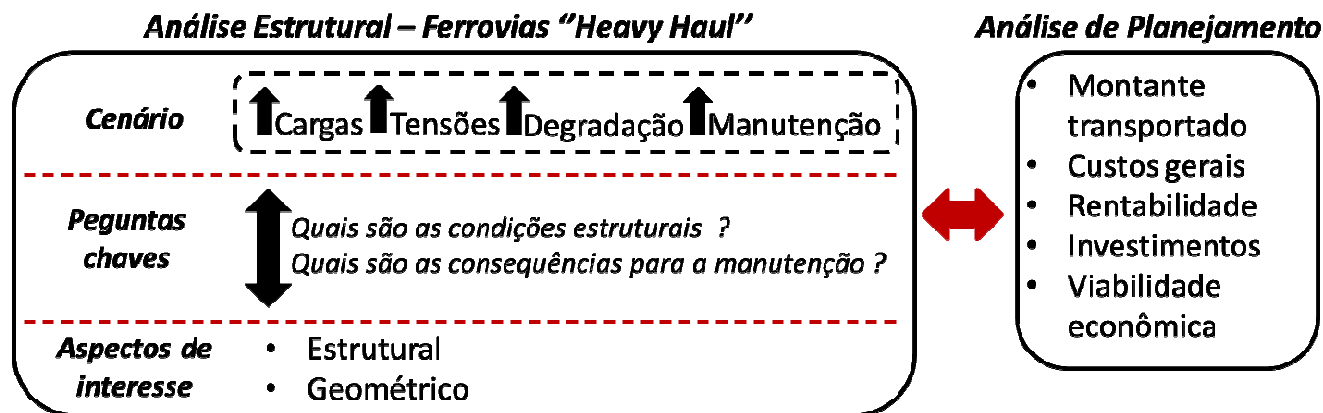
Conteúdo

- ▶ Contexto
- ▶ Aspectos Gerais
- ▶ IMM-TRACK (Características e Estudo de Caso)
- ▶ Recomendações de Implementações
- ▶ Conclusões



Contexto – Ferrovias “Heavy Haul”

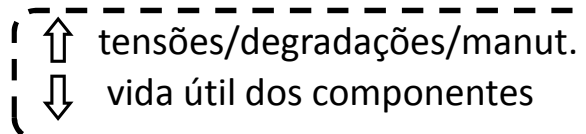
- Estratégia de planejamento para aumento da eficiência baseado no aumento de carga
 - Excesso de esforços nos componentes da via
 - Aumento da degradação da via
 - Aumento no número de intervenções de manutenção
- ▶ Aumento da degradação em vias sujeitas a aumento de carga (TTCl, 2008).



CENÁRIO HH

Aumento na capacidade de transporte

Cenário de aumento de carga



*Quais as condições estruturais e consequências para a manutenção ?
Como otimizar a relação custo-benefício ?*

FERRAMENTA

Dados de via HH

IMM-TRACK

- Modelo de degradação acumulada
 - Nível global e componente
- Manutenção e qualidade da via

Análise
teórica/empírica

ANÁLISES

(1) Geometria

- Irregularidades
- STD

(2) Estrutural

- Via: Carga din., σ , def./degr.
- Comp.: σ , rugosidade, mom. fletores

(3) Manutenção

- Eficiência das ações
- Estratégias

(4) Custo-benefício

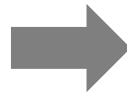
- Estratégias

RESPOSTAS

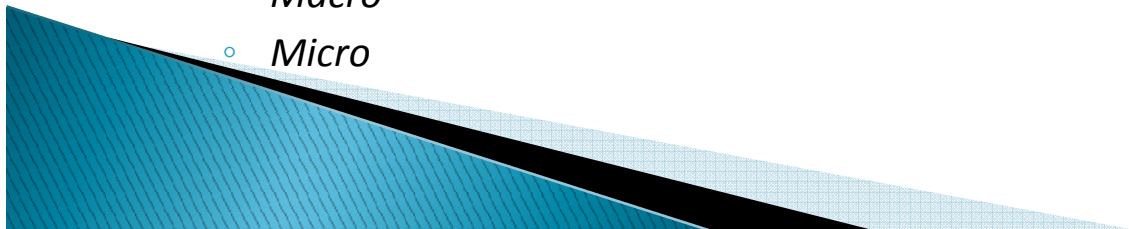
- Condições estruturais e geométricas sujeitas a acréscimo de carga
- Influência da manutenção incluindo análise de custo-benefício
- Indicação de uma possível estratégia de manutenção otimizada

Aspectos Gerais dos Modelos

- ▶ Modelos preditivos a partir de uma abordagem mecanística/estatística.
 - Simplificados baseados em aspectos “*chaves*”
 - Ex: Shenton (1985) , Sato (1997),...
 - Abordagens mais complexas com maior detalhamento dos fenômenos envolvidos
 - Ex: ITDM, DeCoTrack, EcoTrack,...
- ▶ Aspectos de interesse
 - *Estrutural*
 - *Geometria*
 - *Manutenções*
 - *Custos de manutenção*
- ▶ Nível de detalhes
 - *Macro*
 - *Micro*



- *Análise de manutenção*
- *Análise da viabilidade*

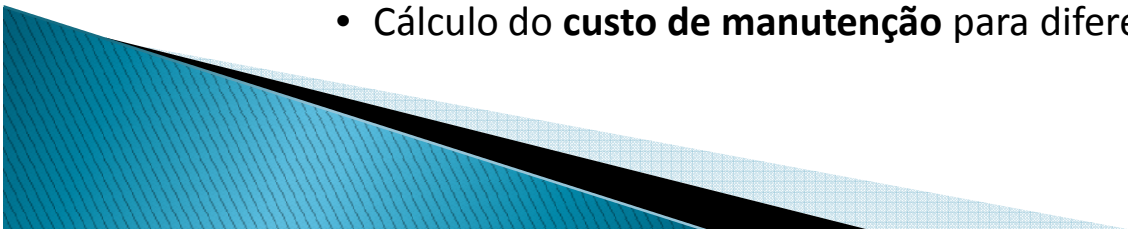


IMM-TRACK – CARACTERÍSTICAS GERAIS

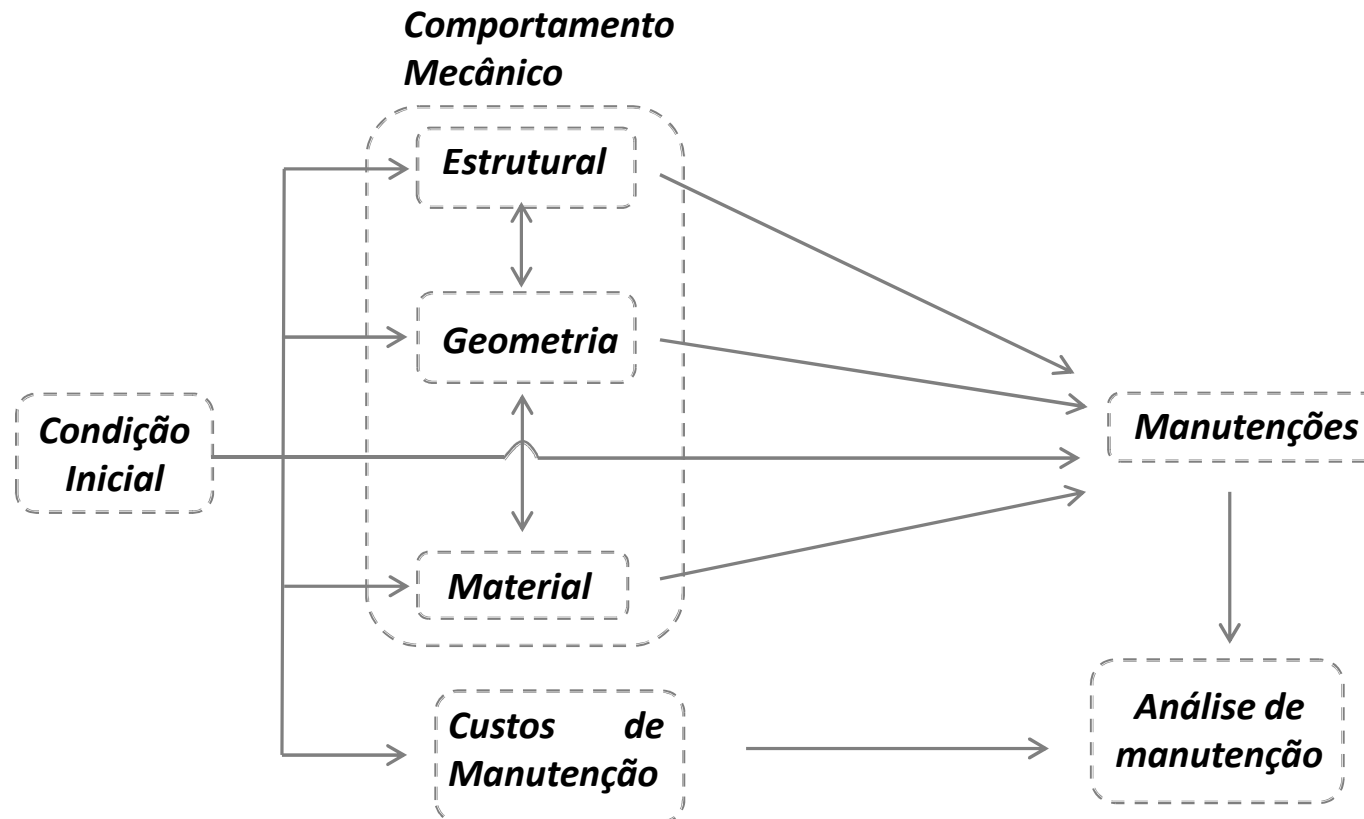
- ▶ Ferramenta de avaliação do comportamento da via (*Heavy Haul*) considerando as condições geométricas e estruturais (degradação) dos componentes ao longo do tráfego e manutenção
- ▶ Baseado no modelo de Shimatake (1997)
- ▶ Respostas relacionadas à condição estrutural/geométrica sob aumento de carga e sua consequência nas manutenções

- ▶ **Características Gerais**

- **Perfil estrutural:** trilho, dormente de concreto, lastro e subleito
- $T_{\text{step}}=01$ mês; $T_{\text{simulação}}=15$ anos
- Cálculo/atualização dos **parâmetros estruturais/geométricos**
- **Degradação dos componentes** da via de forma **acumulativa**.
- **Reconhecimento** da variação **da geometria** e **necessidades de manutenção**
- **Diferentes ações de manutenção:** socaria/esmerilhamento/substituição do lastro
- Possibilidade de **definição da eficiência** de cada manutenção
- Avaliação de **diferentes estratégias de manutenção** (ativa/reativa)
- Cálculo do **custo de manutenção** para diferentes estratégias



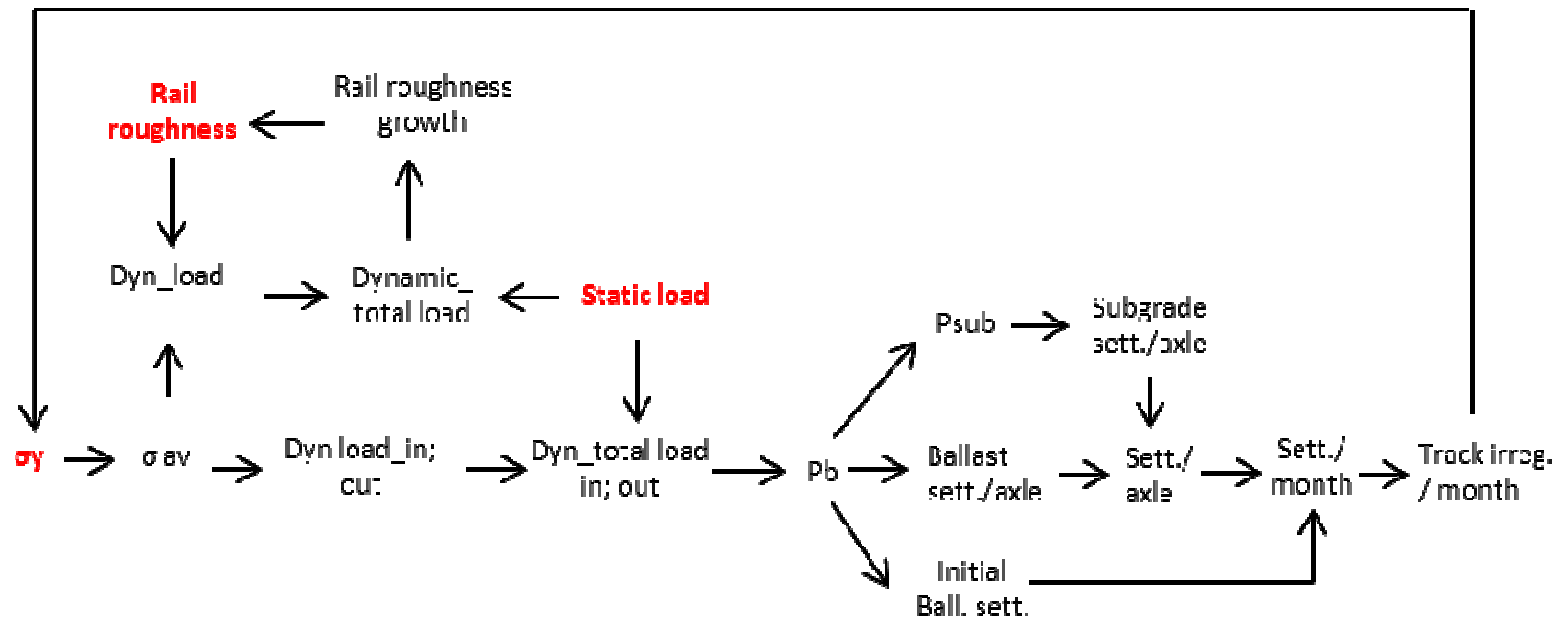
IMM-TRACK – ASPECTOS GERAIS



IMM-TRACK – INPUT'S

Tipo de dados	Dados
Operacionais	Traffic per day, operational speed, static axle load and number of wagons.
Vagões	Net weight, wheel radius and gravity center.
Componentes da via	• Rails – Inertia moments, Young's modulus, section areas, tensile/yield strength, section modulus, coefficient for rail roughness growth and initial roughness. • Sleeper – general dimensions, spacing and flexural characteristics. • Ballast – thickness, stiffness, initial ballast deterioration. • Subgrade – ground reaction coefficient.
Geometria	Track radius, gauge, cant and standard deviation of vertical irregularity.
Desempenho da manutenção	• Tamping – efficiency rate, deterioration growth due to tamping. • Grinding – roughness removal. • Ballast replacement – efficiency rate
Manutenção	• Active – predetermined value of Millions Gross Tonnes (MGT) to perform tamping, grinding and ballast replacement. • Reactive – threshold values for standard deviation of vertical track irregularity, rail roughness and ballast deterioration to perform tamping, grinding and ballast replacement respectively.
Intervenções da manutenção	Intervention period, machine speed, process capacity, distance between worksite and sidings, time of installation/uninstallation of the equipment, Rate ($T_{movein}/T_{moveout}$).
Custos de Manutenção	• Machine – general costs, lifetime, number of working periods, time per period, days per week and percentage of use. • Workers – number of employees/intervention, salary per worker and salary increase per year. • Maintenance – rate between maintenance and machines costs. • Fuel – machine consumption per kilometer, cost of the fuel liter, annual increase of the cost. • Ballast material (tamping) – cost and volume of the material and annual increase of the material value. • Ballast material (ballast replacement) – Value of the material, annual increase of its cost and percentage of ballast to be replaced. • Unavailability (tamping and ballast replacement) – cost of the product to be transported and annual increase of the material cost.
Outros	Simulation duration, track length considered, working days/month, track modulus, Kv (wagon's vertical vibration coefficient), and percentage of track components.

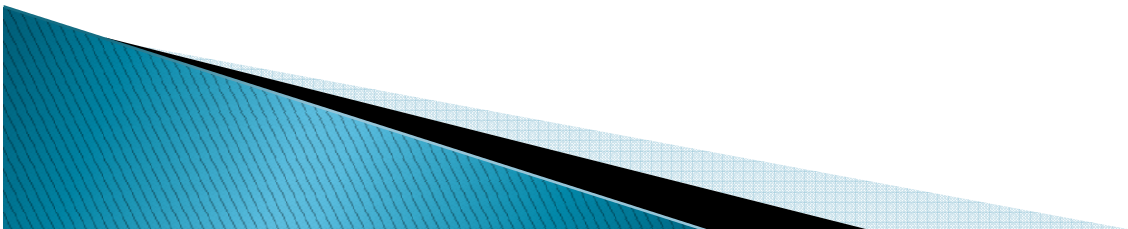
IMM-TRACK – ESTRUTURA DE CÁLCULO



IMM-TRACK – CONSIDERAÇÕES GERAIS

- ▶ Carga Dinâmica
- ▶ Estruturais - equações segundo o conceito “*beam in an elastic support*”
 - Degradação: - Lastro
- Trilhos
- ▶ Manutenções
 - Socaria, esmerilhamento e substituição do lastro
 - Estratégias ativa e reativa
- ▶ Custo das Manutenções

$$C_T = C_{máq.} + C_{trab.} + C_{lastro} + C_{comb.} + C_{ind.}$$



IMM-TRACK – ESTUDO DE CASO

- ▶ Estudo de caso – baseado em uma ferrovia *Heavy Haul*

Características	Valor
Bitola	1600 mm
Tráfego	19 trains/day
Velocidade Média	60 Km/h
Número de vagões	220
Carga/eixo	22.5;27.5;32.5;37.5 ton/eixo

- ▶ Características Estruturais

- Trilho AREMA 136RE10 (I_x , I_y , resistência ao escoamento/última,...)
- Dormente de concreto (espaçamento, dimensões, resistência a flexão,...)
- Lastro e subleito (coeficientes elásticos, coef. vibração, espessuras, qualidade inicial,...)

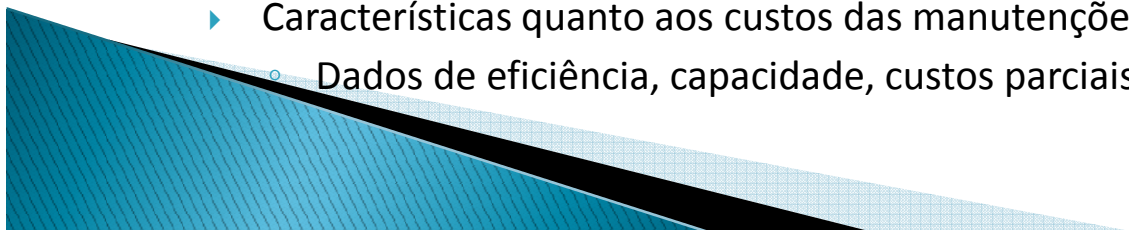
- ▶ Características das manutenções

- Eficiência e critérios de execução

Condições	Ativo	Reativo
Socaria	100 MTBT	$STD_{vert} \geq 4.0$ mm
Esmerilhamento	30 MTBT	Rugosidade ≥ 0.7 mm
Subst. lastro	1500 MTBT	Deterioração ≥ 1.0

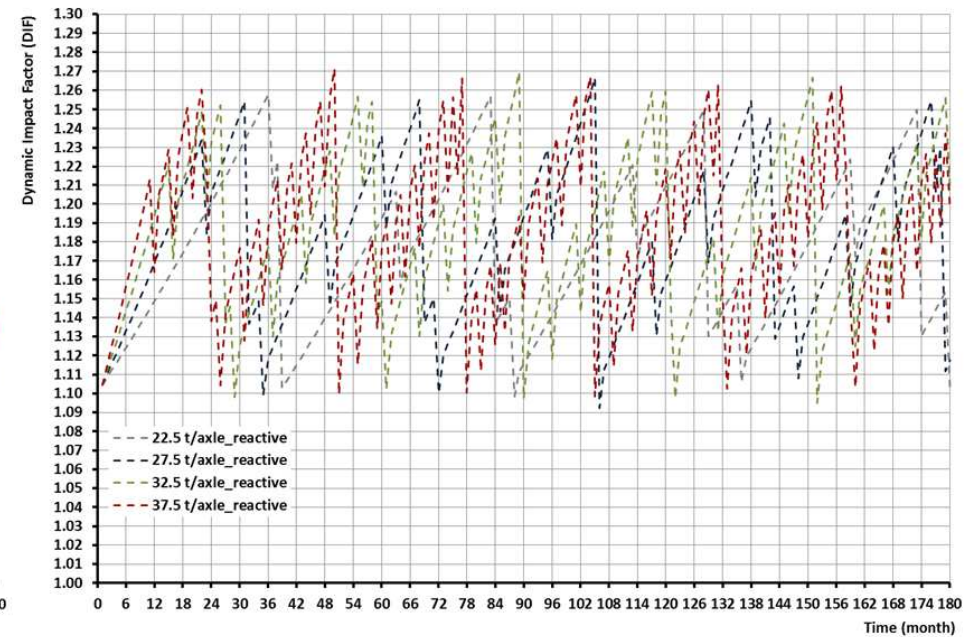
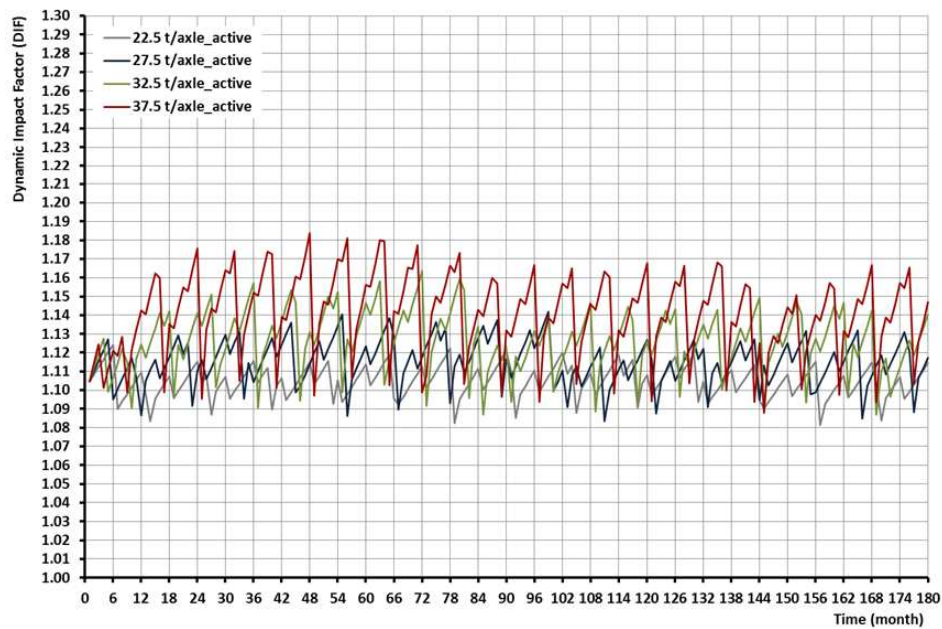
- ▶ Características quanto aos custos das manutenções

- Dados de eficiência, capacidade, custos parciais, valores de materiais, correção e etc.



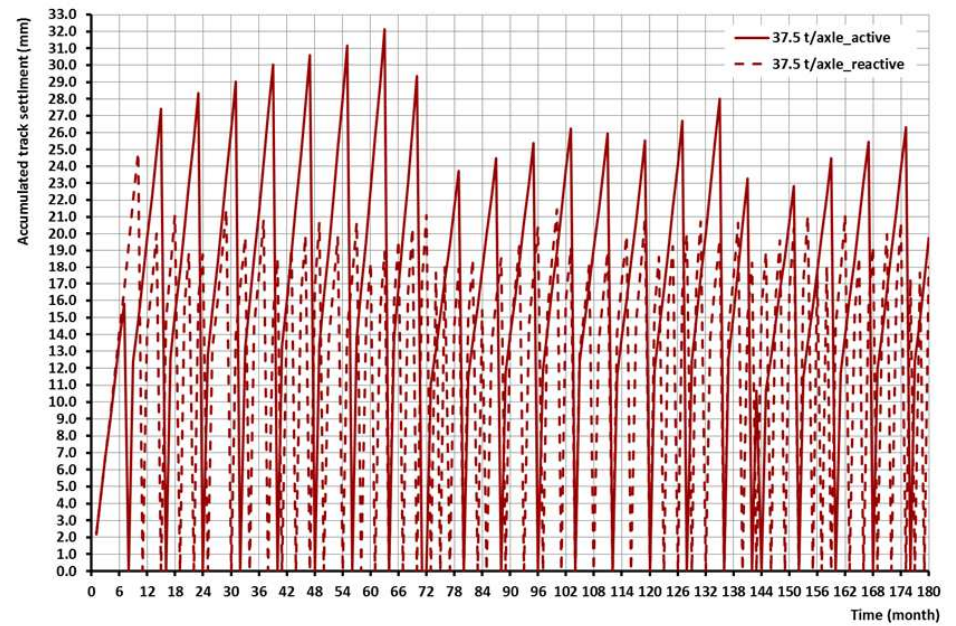
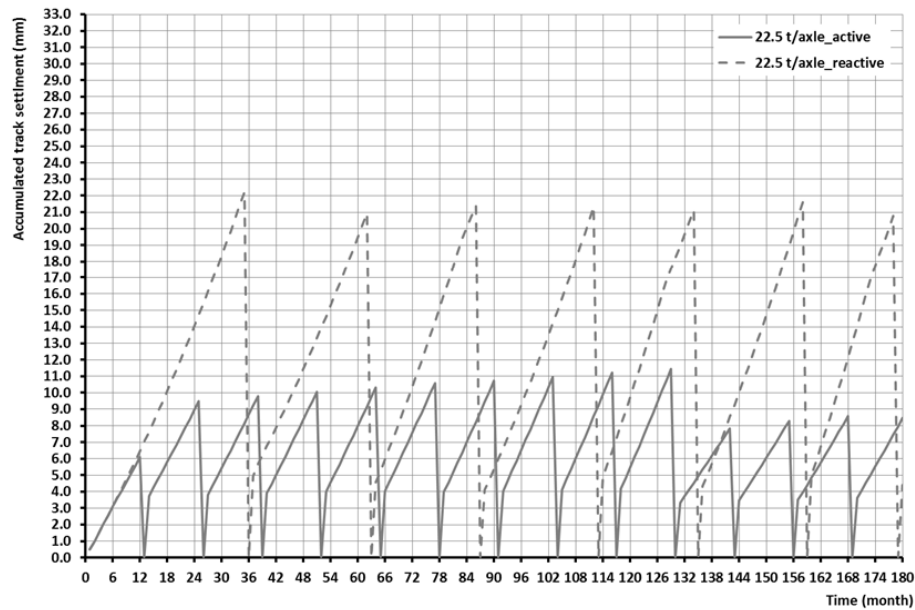
ESTUDO DE CASO - RESULTADOS

► Fator Dinâmico



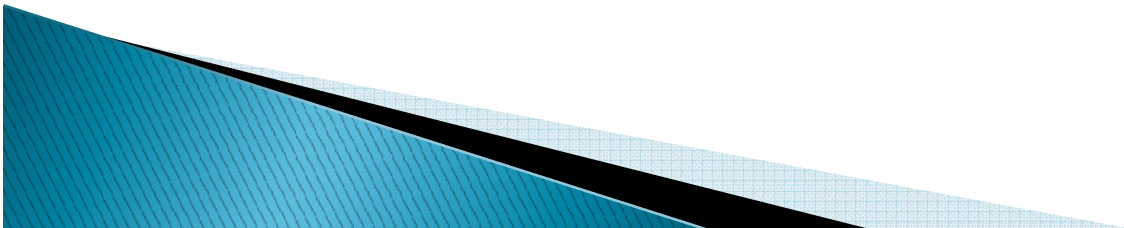
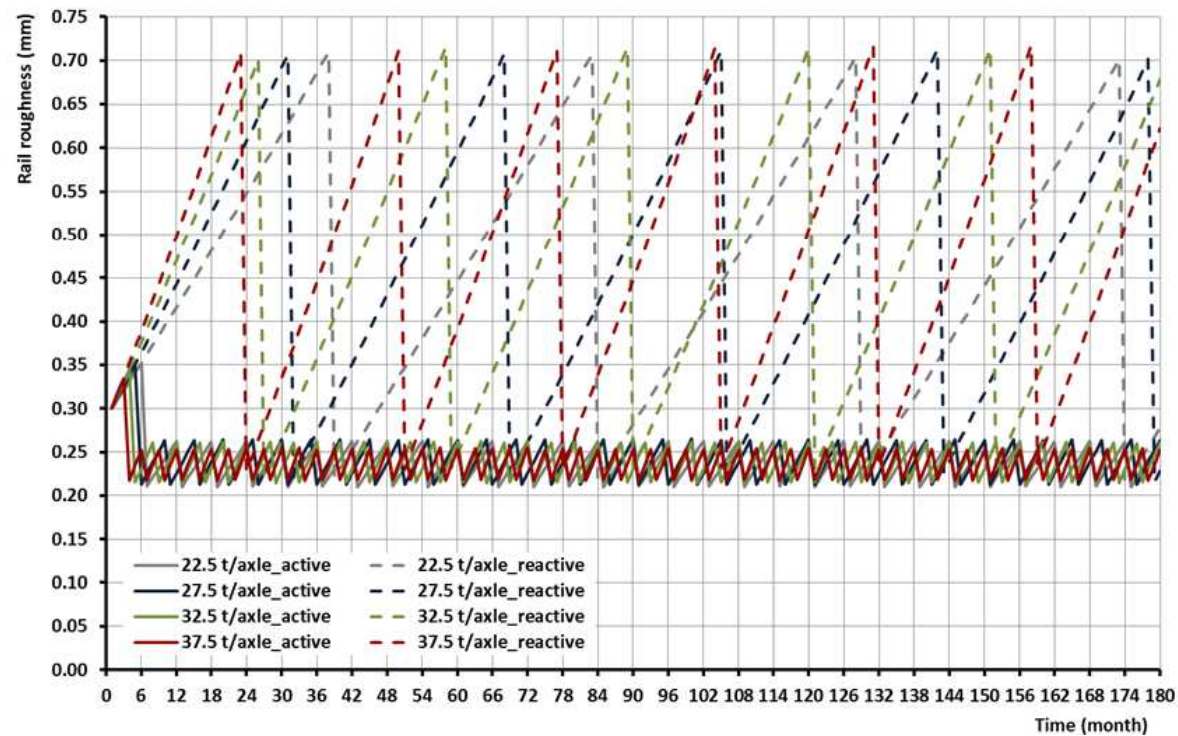
ESTUDO DE CASO - RESULTADOS

▶ Deformações acumuladas



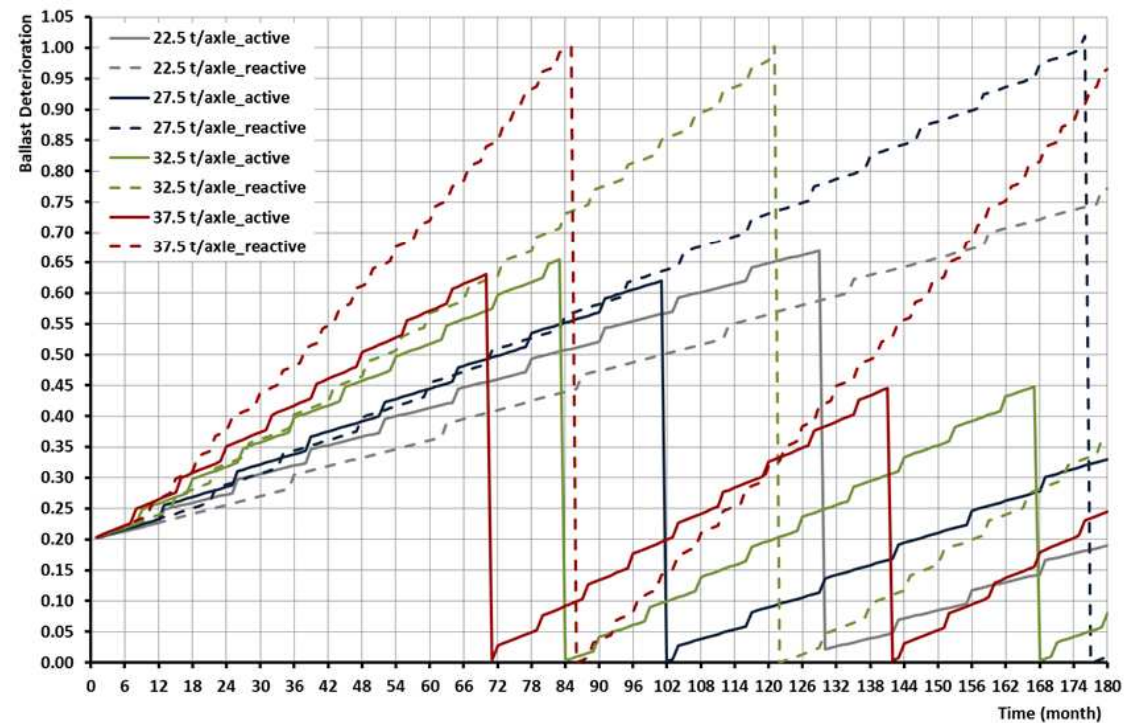
ESTUDO DE CASO - RESULTADOS

► **Rugosidade**



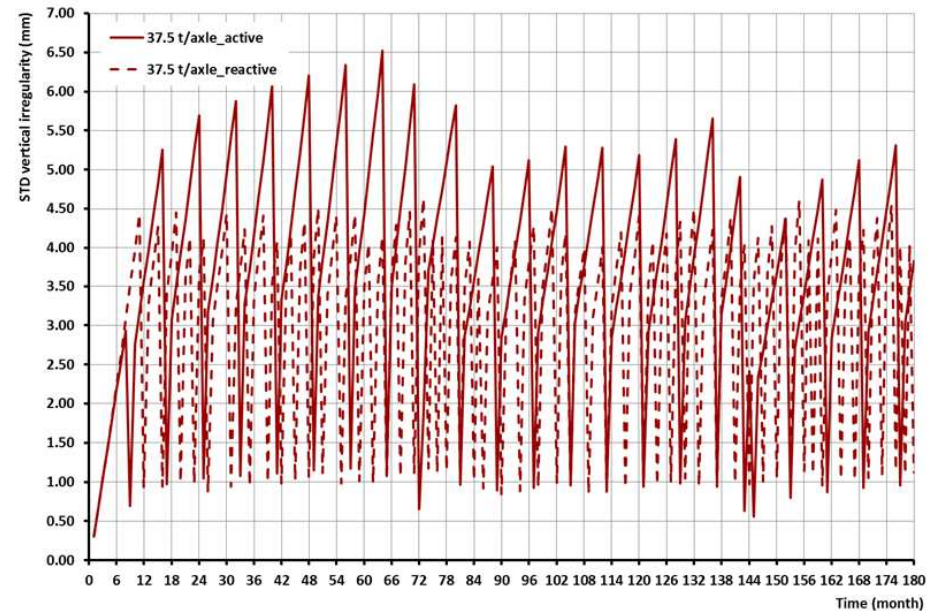
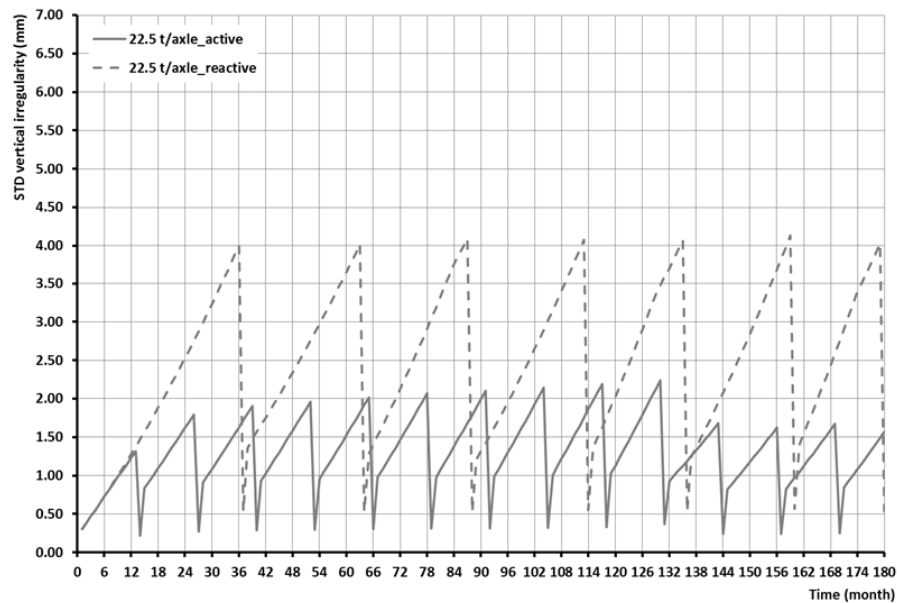
ESTUDO DE CASO - RESULTADOS

► Deterioração do lastro



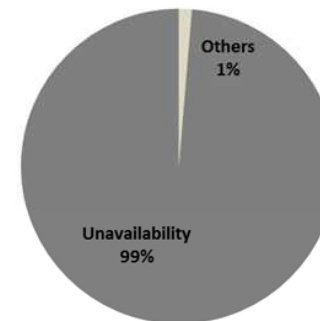
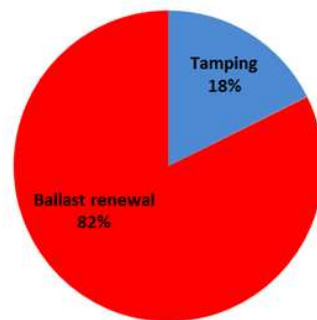
ESTUDO DE CASO - RESULTADOS

► Irregularidade vertical

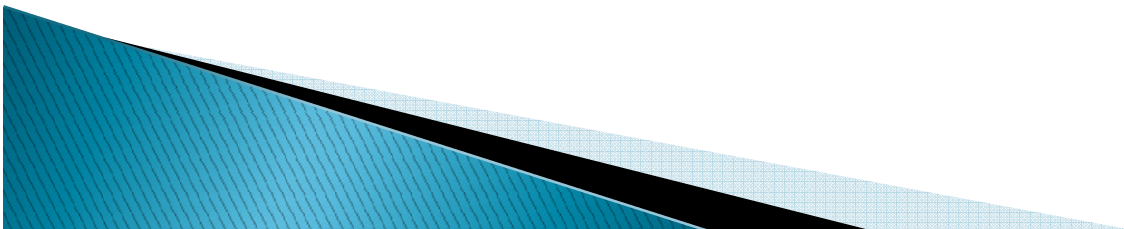


ESTUDO DE CASO - RESULTADOS

► Custos médios

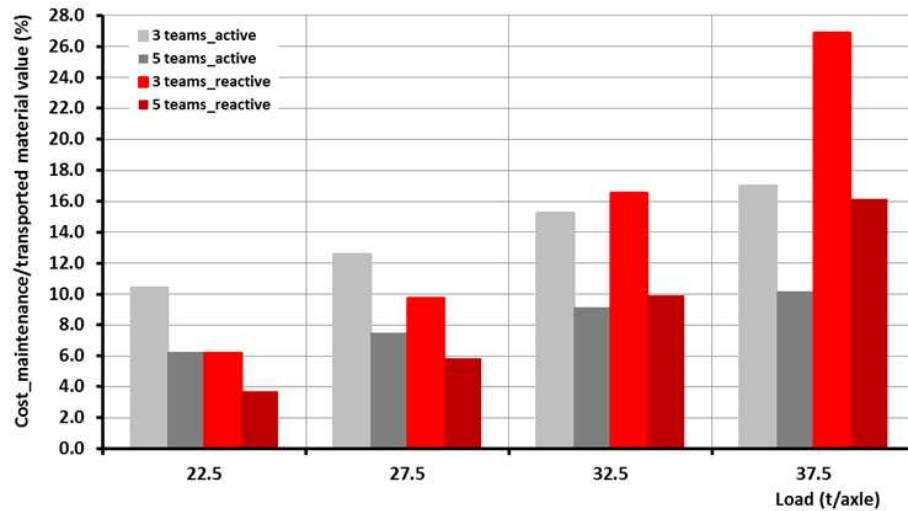


► Indisponibilidade da via



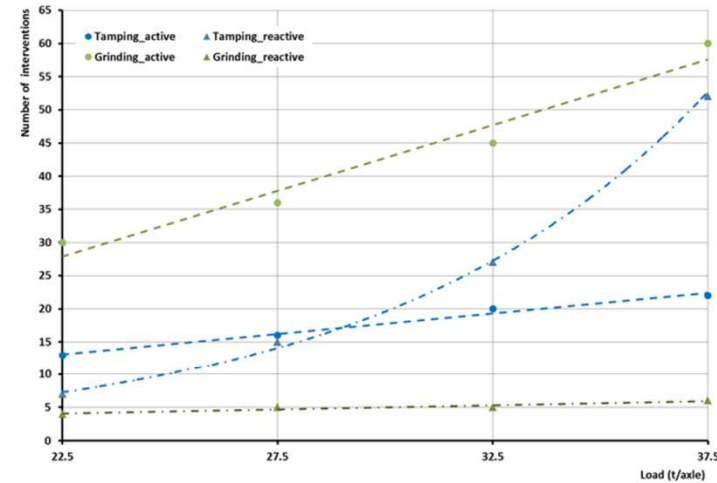
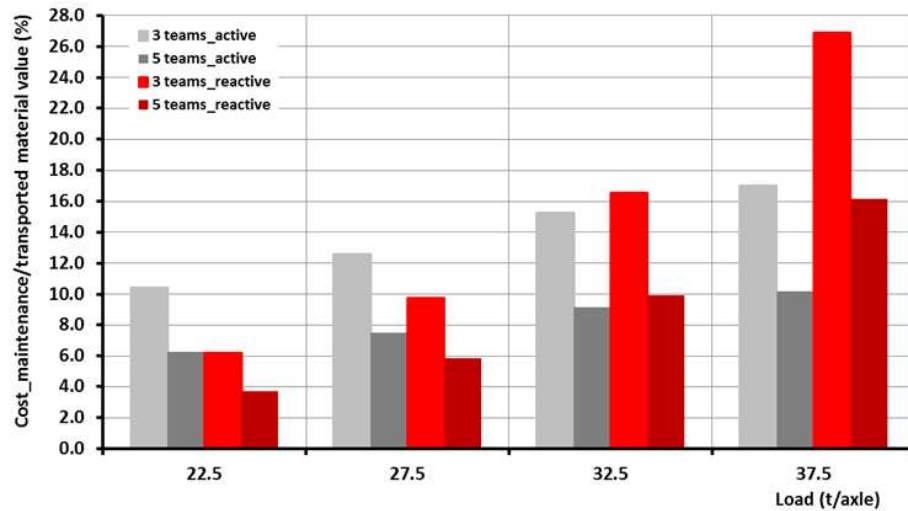
ESTUDO DE CASO - RESULTADOS

► Custo manutenção/benefício



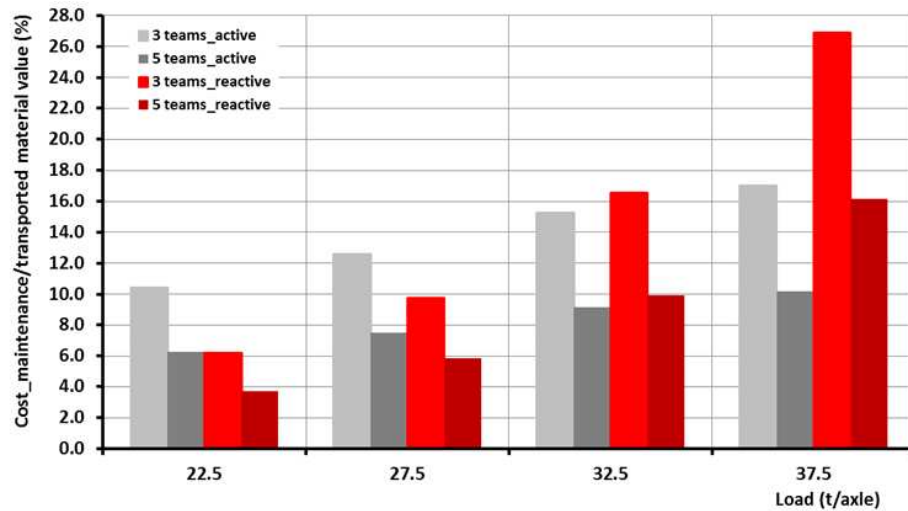
ESTUDO DE CASO - RESULTADOS

► Custo manutenção/benefício

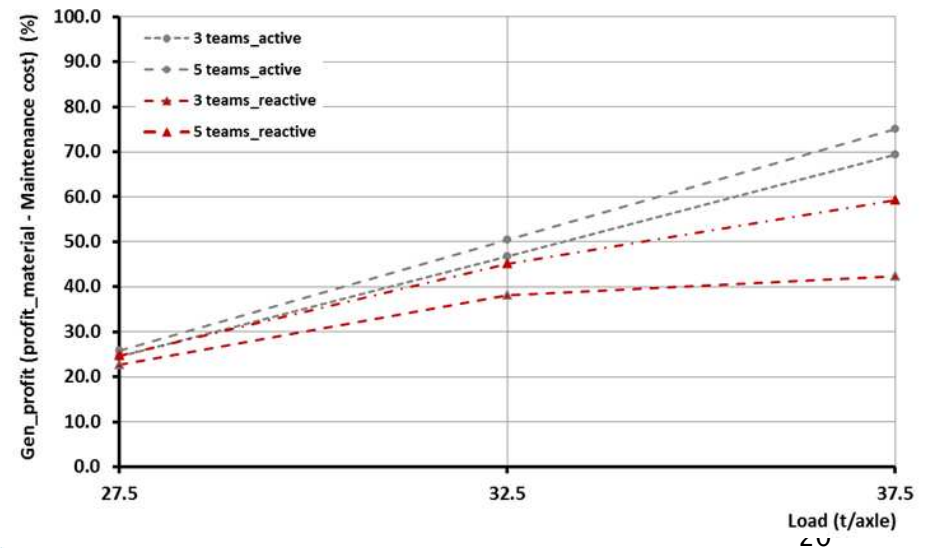


ESTUDO DE CASO - RESULTADOS

► Custo manutenção/benefício

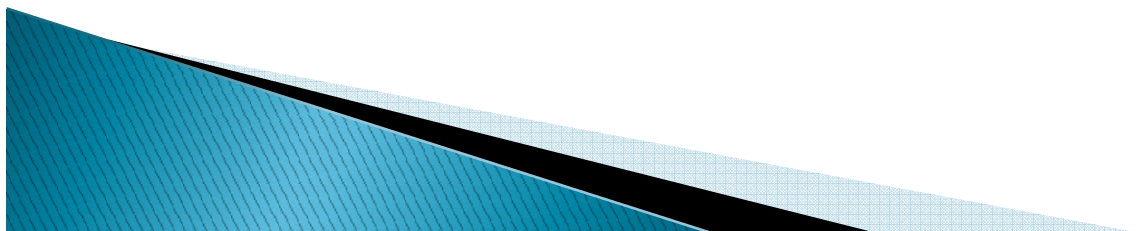


► Benefício



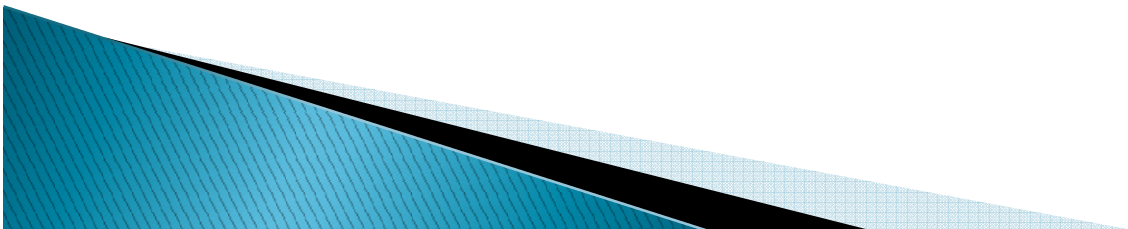
IMPLEMENTAÇÃO DO MODELO

- ▶ Avaliação da vida útil do trilho em função dos esmerilhamentos (estr. preventiva)
- ▶ Consideração da variação da resistência do subleito
- ▶ Inclusão da camada de sublastro
- ▶ Flexibilidade quanto as características operacionais (individualização)



CONCLUSÕES E COMENTÁRIOS GERAIS

- ▶ Aumento de carga → maior custo de manutenção → aumento benefício em ambas estratégias
- ▶ Não é possível afirmar a respeito de uma estratégia geral
 - Socaria - diferentes estratégias
 - Esmerilhamento - abordagem ativa manteve a rugosidade a baixos valores, reduzindo a possibilidade de dano por *RCF*
 - Substituição do lastro - provável execução antes do fim da vida útil
- ▶ Os custos de manutenção por mês foram proporcionais ao aumento de carga
- ▶ Custo da indisponibilidade da via representou mais de 90% do custo total de manutenção
- ▶ O uso de prescrições para as estratégias de manutenção podem não garantir quanto a segurança





**Muito Obrigado pela
Atenção**

e-mail: eng.josejoao@gmail.com