

# ALTERNATIVAS PARA SUBSTITUIÇÃO DE PAINÉIS DE AÇO EM VAGÕES

JEAN CARLO TAVARES  
LEANDRO DA CONCEIÇÃO  
MEDEIROS



A EVOLUÇÃO  
PASSA  
POR AQUI

# AUTORES

## Jean Carlo Tavares

- Graduado em Engenharia de Produção pela Universidade Presidente Antônio Carlos (2008);
- Especialista em Transporte Ferroviário de Carga pelo Instituto Militar de Engenharia (2017);
- Atua no setor ferroviário a 14 anos, acumulando experiência como técnico de manutenção, coordenador de equipes e atualmente como especialista ferroviário, da empresa MRS Logística na Gerência Geral de Manutenção de Vagões, posição em que ocupa a 3 anos.

## Leandro da Conceição Medeiros

- Graduado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (1994);
- Especialista em *Formation Cadre* pela *Manufacture Française de Pneumatique Michelin* (2001);
- Especialista em Formação de Executivos pela Sociedade Michelin de Participações Indust e Comércio (2008);
- MBA em Gestão de Negócio pelo IBMEC (2013);
- Cursando disciplinas de Mestrado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de São João Del Rei;
- Possui experiência na área de engenharia de transportes, grande experiência em na engenharia de produção em processos industriais e atualmente é gerente geral de manutenção de vagões na empresa MRS Logística.

# RESUMO

- Perda de espessura das chapas vagões fabricados entre 2005 e 2013;
- Fatores que influenciam;
- Método para validar projeção de vida útil;
- Testes em laboratório e coleta de dados em campo;
- Aço carbono X semi-inox;
- Custo do ciclo de vida;
- Impacto operacional;
- Cenários de curto e longo prazo.



**Figura 1:** Chapa de vagão trincada

# INTRODUÇÃO

- Redução de tara a partir de 2005:
  - Ganhos de produtividade e eficiência.
- Falhas precoces a partir de 2015:
  - Trincas em painéis laterais e de cabeceiras;
  - Impactos operacionais;
  - Aumento dos custos de manutenção.



**Figura 2:** Chapa de vagão trincada



**Figura 3:** Chapa de vagão corroída

A escolha do **melhor cenário** para tratamento desse problema, que atinge uma frota de **5.015 vagões**, gerará impactos estratégicos e financeiros nos próximos anos para a empresa.

# INTRODUÇÃO

## OBJETIVOS:

- Validar um método de projeção de vida útil das chapas;



**Figura 4:** Foto da chapa de aço atual



**Figura 5:** Foto da chapa de aço novo



**Figura 6:** Foto da chapa de aço semi-inox

- Comparar, sob a ótica do LCC (“*Life Cycle Cost*”), a aplicação das chapas do aço carbono ASTM A-242 e o aço semi-inox 410D.

# DIAGNÓSTICO

Foram explorados materiais didáticos sobre seguintes tópicos:

- Corrosão;
- Taxa de corrosão;

“Um dos tipos de corrosão mais comum é a **corrosão eletroquímica**, principalmente porque seu processo está diretamente associado ao meio úmido, **com presença de água ou umidade**, onde se encontram várias condições favoráveis para a formação de pilhas ou células de corrosão.” (Telles, 2007).

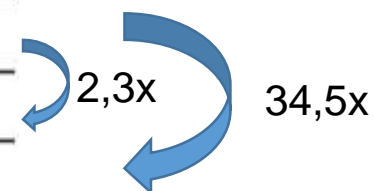
- Composição química dos aços estudados;
- Técnicas eletroquímicas;
- O método de extrapolação da reta de Tafel;
- Norma NACE RP 07-75 - classificação de corrosividade;
- LCC (“*Life Cycle Cost*”).

# ANÁLISE DOS RESULTADOS

## Taxa de corrosão

Tabela 1: Parâmetros de Tafel (Lins 2017)

Amostra	$E_{corr}$ (mV)	$j_{corr}$ ( $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ )	Taxa de corrosão (mm/ano)
Aço atual	-534,50	61,87	1,4342
Aço novo	-611,03	27,09	0,62806
Aço semi-inox	-239,03	0,78579	0,018215



Norma NACE RP-07-75 :

Classificação de baixa corrosividade de um meio é àquele que propicia uma **taxa de corrosão uniforme inferior a 0,025 mm/ano**, portanto, apenas a aplicação do **aço semi-inox pode ser considerada satisfatória**, para fins de projeto.

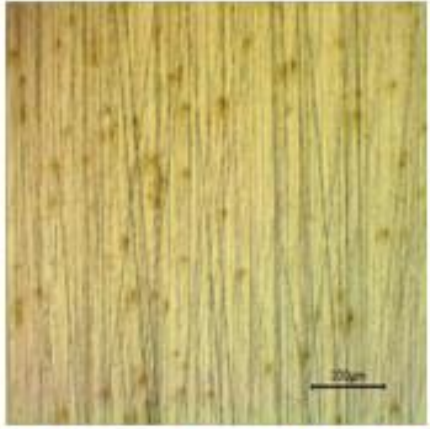
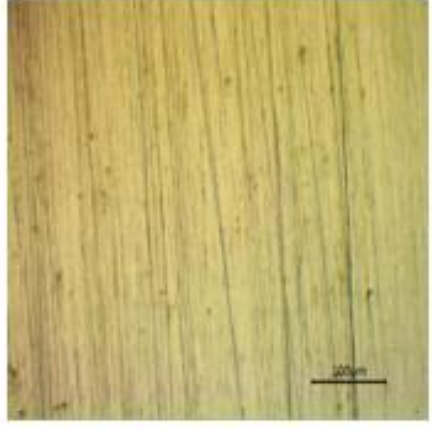

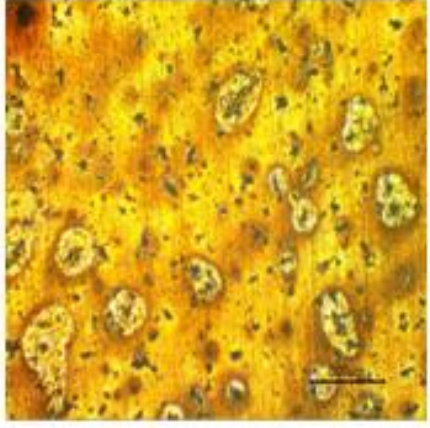
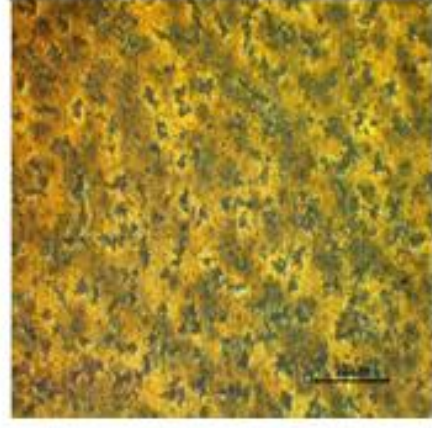
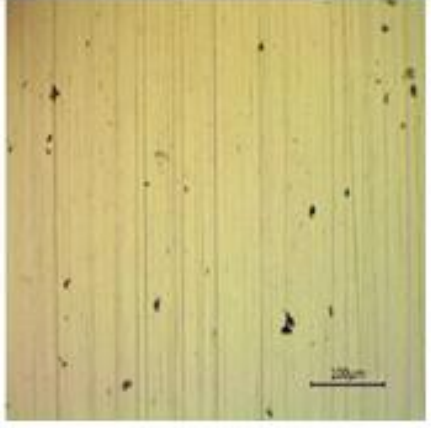
Tabela 2: Classificação de corrosividade (NACE 1999)

Taxa de corrosão uniforme (mm/ano)	Taxa de pite (mm/ano)	Corrosividade
< 0,025	< 0,13	Baixa
0,025 a 0,120	0,130 a 0,200	Moderada
0,130 a 0,250	0,210 a 0,380	Alta
> 0,250	> 0,380	Severa

# ANÁLISE DOS RESULTADOS

## Taxa de corrosão

**Tabela 3:** Imagens de microscopia antes e depois do ensaio em laboratório (aumento de 100x)

	Aço atual	Aço novo	Aço semi-inox
Antes do teste			
Após o teste			



# ANÁLISE DOS RESULTADOS

## Taxa de desgaste das chapas encontradas em campo



Figura 7: Subdivisões virtuais dos painéis do vagão GDT

# ANÁLISE DOS RESULTADOS

## Taxa de desgaste das chapas encontradas em campo

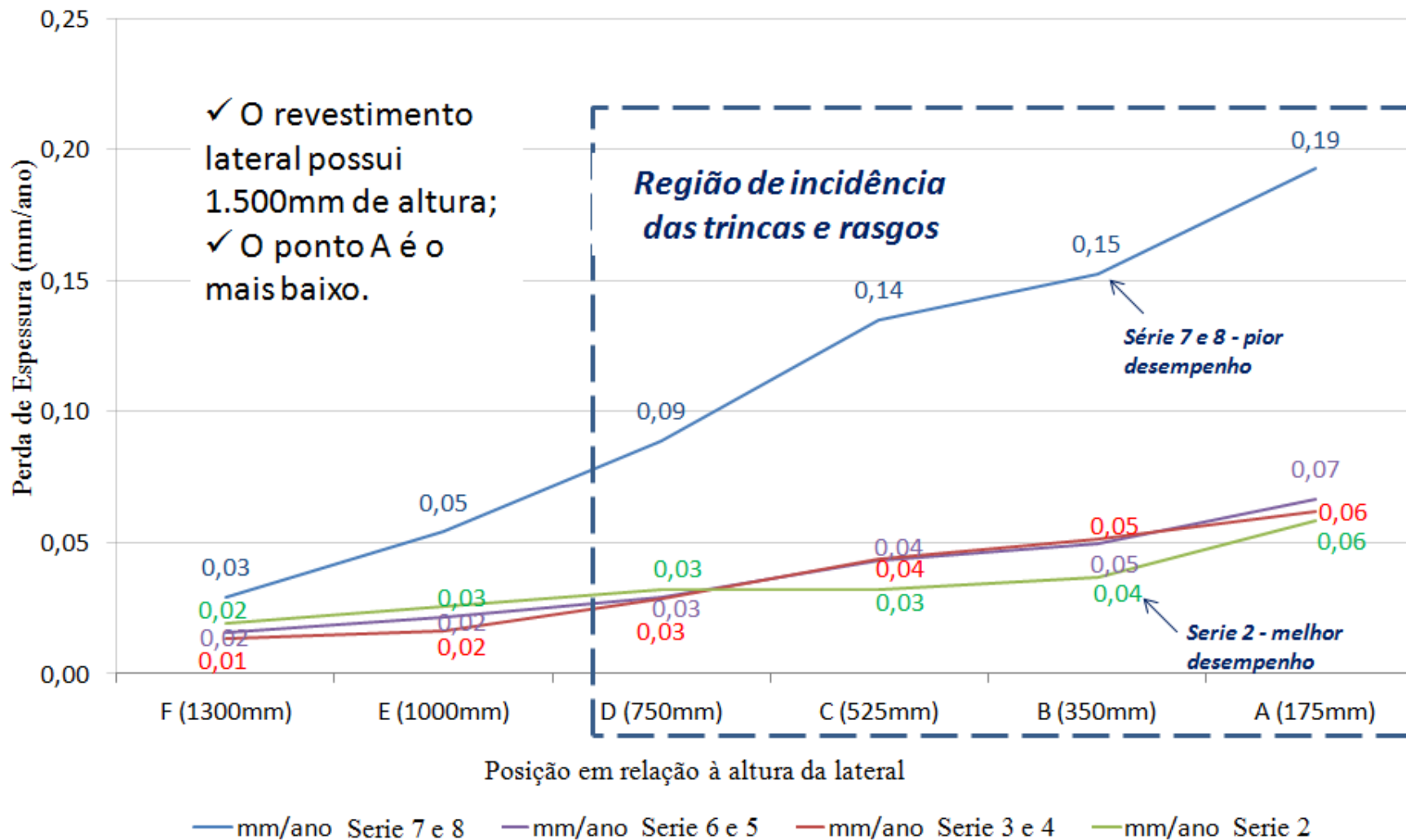


Figura 8: Taxas de desgaste obtidas através das medições de espessura em campo

# ANÁLISE DOS RESULTADOS

## Taxa de desgaste das chapas encontradas em campo

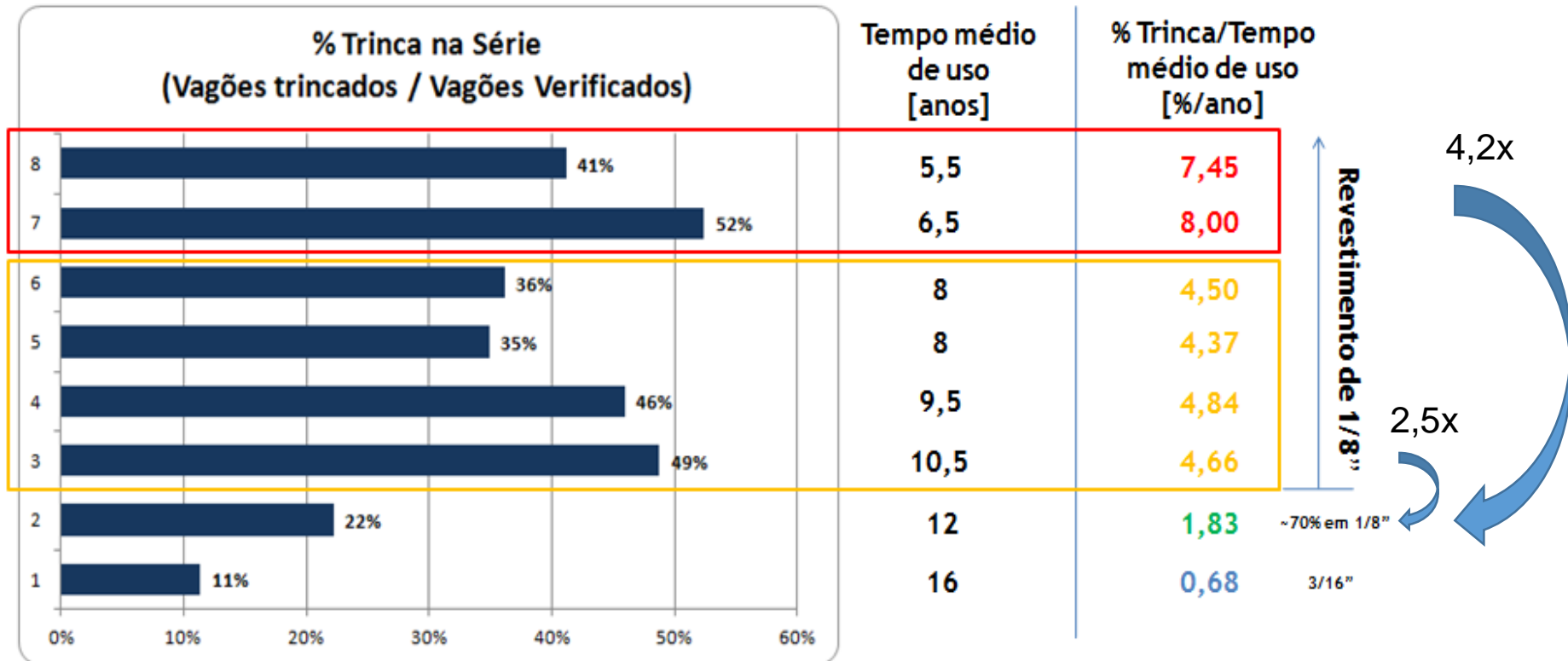


Figura 9: Percentual de trinca por tempo médio de uso

- Descartar série 1 da comparação, devido à espessura diferente;
- Serie 2 – ASTM A-242;
- Séries 3, 4, 5 e 6 – Variação em seus elementos, principalmente cobre;
- Série 7 e 8 – Aço patinável com cobre residual.

# ANÁLISE DOS RESULTADOS

## Composição química

Tabela 4: Composição química dos aços

Amostra	Elemento										
	C	Mn	P	S	Si	Ni	Cr	Mo	Al	Cu	Ti
Aço atual	0,110	0,643	0,024	0,005	0,366	0,009	0,457	0,006	0,039	0,001	0,001
Aço novo	0,129	0,756	0,028	0,007	0,285	0,080	0,271	0,007	0,039	0,266	0,028
Aço semi-inox	0,02	0,584	0,013	0,001	0,599	0,366	11,4	0,068	0,001	0,011	0,003

- Testes químicos apontaram % de cobre residual no “aço atual” feito de aço carbono;
- Para o aço semi-inox a comparação de % de cobre não é apropriada pois o elemento que protege contra a corrosão nesse tipo de aço é o cromo.

# ANÁLISE DOS RESULTADOS

## Cálculo do *LCC*

- Proporção de durabilidade entre testes de laboratório e dados de campo do aço carbono;
- Estimativa de vida útil do aço semi-inox para o meio estudado;
- Validação da estimativa com o protótipo em operação a 5 anos.



**Figura 10:** Lateral protótipo semi-inox



**Figura 11:** Interior protótipo semi-inox

# ANÁLISE DOS RESULTADOS

- Impacto operacional da aplicação do aço carbono em 5015 vagões;
- Estimativa de ciclo de aplicação dos aços com a capacidade atual das oficinas;
- Vida útil de aproximadamente **12 anos** e ciclo de aplicação de **6 anos** para aço carbono.

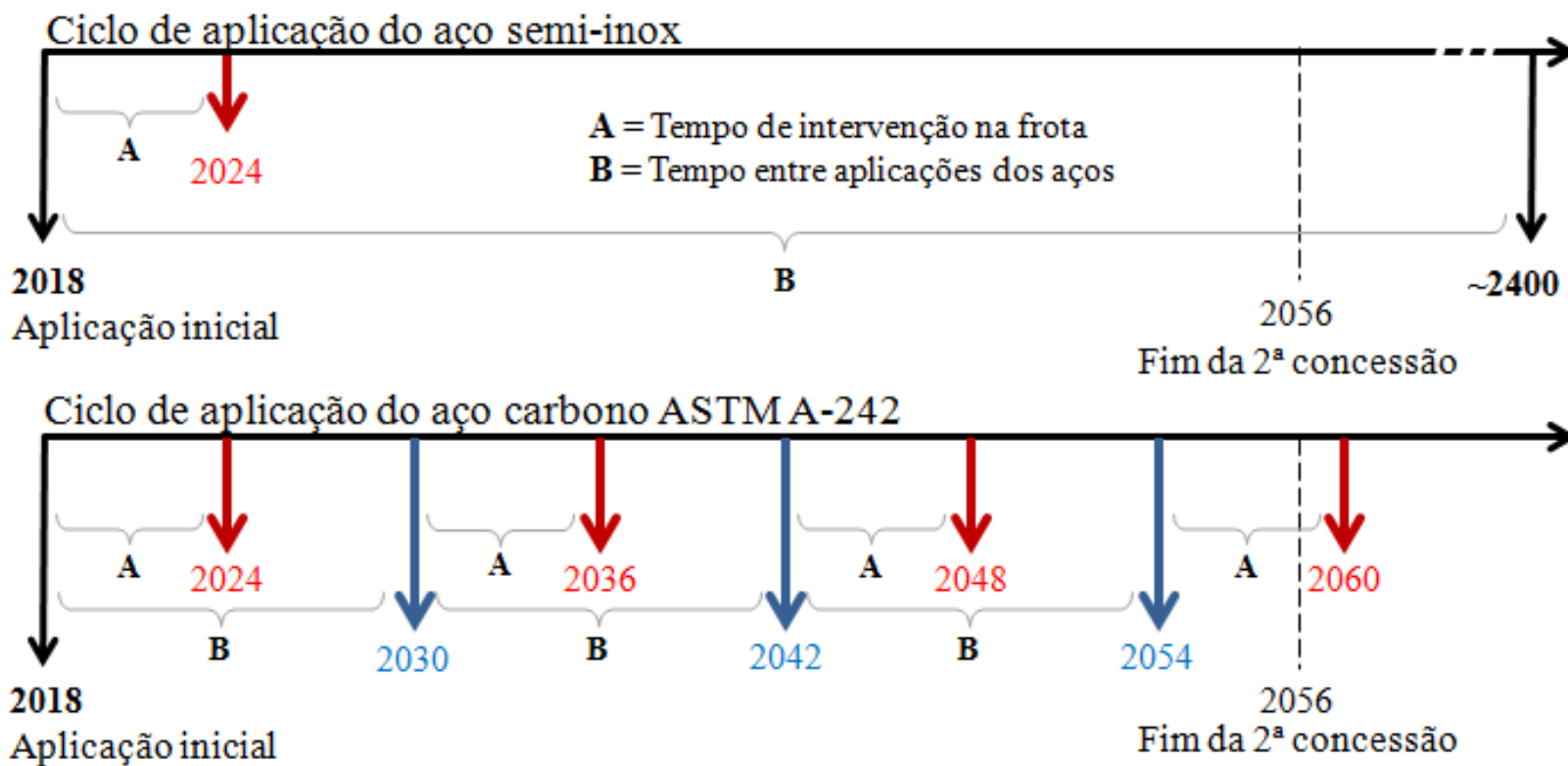


Figura 12: Ciclo de aplicação dos aços

# ANÁLISE DOS RESULTADOS

**Tabela 5:** Cálculo do custo do ciclo de vida (LCC)

	ASTM A-242		Semi inox 410D	
Custo das chapas laterais	R\$	2.367,40	R\$	4.828,09
Custo das chapas de assoalho	R\$	3.222,08	R\$	7.333,35
Custo das chapas de cabeceira	R\$	783,20	R\$	1.597,26
Custo com Hxh de metalurgico para cabeceiras e laterais	R\$	2.472,07	R\$	2.472,07
Custo com Hxh de metalurgico para assoalho	R\$	2.357,09	R\$	2.357,09
Custo dos insumos para assoalho (gases, arames, discos)	R\$	646,11	R\$	2.809,11
Custo dos insumos para cabeceiras e laterais	R\$	1.021,29	R\$	4.420,29
<b>Custo de aplicação inicial (vida útil ao final da 1ª concessão)</b>	<b>R\$</b>	<b>12.869,25</b>	<b>R\$</b>	<b>25.817,26</b>
Quantidade de intervenções ao final da 2ª concessão (2056)		4*		1
<b>Custo de aplicação ao final da 2ª concessão</b>	<b>R\$</b>	<b>39.026,42</b>	<b>R\$</b>	<b>25.817,26</b>
<b>5.015 Vagões</b>	<b>R\$</b>	<b>195.717.480,25</b>	<b>R\$</b>	<b>129.473.566,92</b>

\* 4 intervenções em lateral e cabeceira e 2 para assoalho em aço carbono

- ASTM A-242 mesmo não recomendado por norma para essa utilização traz um melhor LCC a curto prazo;
- Semi-inox mais econômico ao longo da vida útil do ativo.

# CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

- ✓ Ensaio de polarização, com os parâmetros de Tafel, foi validado pela coleta de dados em campo;
- ✓ Classificação de corrosividade indicada pela norma NACE deve ser adotada para novos projetos;
- ✓ O aço carbono ASTM A-242 apresenta melhor desempenho que o aço patinável existente na frota;
- ✓ Curto prazo, 1ª concessão, aço carbono ASTM A-242;
- ✓ Longo prazo, possível 2ª concessão, semi-inox ferrítico.

## Tomada de decisão final:

- Comparativo utilizando o método VPL (Valor Presente Líquido);
- Adotar o benefício secundário de menor carry back (peso morto residual após descarga do material) observado nos protótipos (640kg a menos em cada vagão).



# ALTERNATIVAS PARA SUBSTITUIÇÃO DE PAINÉIS DE AÇO EM VAGÕES

JEAN CARLO TAVARES  
LEANDRO DA CONCEIÇÃO  
MEDEIROS



A EVOLUÇÃO  
PASSA  
POR AQUI