Benefícios operacionais e avaliação de manutenção de novos eixos tubulares

Samuel Carlos Winiarski[1], Ronaldo de Faria Antunes[2*], Antonio S.M. Fonseca[2]

[1] *Engenharia de Desenvolvimento - Rumo Logistica S.A., Rua Emilio Bertolini, 100, 82920-030, Curitiba, Paraná*
[2] *Vallourec Research Center Brasil - Vallourec Soluções Tubulares do Brasil S.A., Av. Olinto Meireles, Nº 65, 30.640-010 - Belo Horizonte, Minas Gerais*

e-mail: samuel.winiarski@rumolog.com, ronaldo.antunes@vallourec.com, antoniosm.fonseca@vallourec.com

Este artigo aborda a aplicação de um novo modelo de eixo de vagão, mais leve porque é produzido a partir de tubos sem costura laminados a quente e forjados em um novo grau de aço. Ele já vem sendo utilizado em duas ferrovias brasileiras no transporte de minério de ferro desde 2010. Uma companhia de transporte ferroviário de produtos agrícolas, industriais e combustíveis decidiu realizar avaliações práticas destes eixos na sua operação, uma vez que isto poderia alavancar a eficiência operacional através da redução de tara de cada vagão em até 650 kg. Seis novos vagões tipo *hopper* equipados com eixos tubulares 6.1/2”x9” de bitola larga (1.600 mm), os quais são intercambiáveis com os eixos maciços equivalentes (conforme especificação AAR-M101), estão operando regularmente desde 2017 em um corredor de 1600 km de extensão. Os dois tipos de eixos (maciço e tubular) que foram fornecidos nos mesmos lotes de vagões e com quantidades similares de viagens e quilometragens foram removidos para avaliações comparativas na oficina de manutenção de rodeiros após um ano de operação. Os parâmetros avaliados foram as condições das rodas e rolamentos, inspeção visual e dimensional das sedes das rodas e das mangas dos eixos, empeno e inspeção por ultrassom. Todos os eixos cumpriram os requisitos e voltaram para a operação após a montagem de novas rodas e permanecem em operação. Os resultados operacionais de carregamento dos vagões com eixos tubulares também foram computados após dois anos, considerando o transporte de soja e milho. O carregamento médio quando comparado com os vagões com eixos maciços demonstrou um ganho real médio de carga útil de 510 kg de milho e 600 kg de soja por vagão em mais de 300 viagens monitoradas.

Palavras-Chaves: vagões, redução de tara, eixo tubular, eficiência operacional

1. INTRODUÇÃO

A busca pelo aumento da eficiência de carga útil no mercado ferroviário é constante. As empresas têm procurado maneiras de transportar mais mercadorias, sem aumentar a quantidade de viagens ou o comprimento do trem, por exemplo, aumentando a carga bruta por eixo [1].

Outra maneira de fazer isso é reduzir a tara dos vagões sem alterar sua capacidade total, aumentando assim a relação de carga útil por vagão. Esta redução de tara é possível devido à otimização do projeto de vagões utilizando novos materiais e componentes mais leves como visto em [2] e [3].

Existe no mercado nacional um novo modelo de eixo de vagão de carga, o qual é mais leve do que o convencional maciço porque é produzido a partir de tubos sem costura laminados a quente e forjados em um novo grau de aço [4][5][6], e que foi aplicado em duas ferrovias brasileiras no transporte de minério de ferro a partir de 2010. Um novo grau de aço foi desenvolvido pelo fabricante utilizando o conhecimento da indústria automotiva e de óleo e gás, para atender os requisitos de propriedades mecânicas, permitindo o uso de tubos sem costura ao invés de barras como matéria-prima. Recentemente, outra companhia ferroviária brasileira que transporta produtos agrícolas, industriais e combustíveis, decidiu realizar

avaliações práticas na sua operação, com eixos tubulares 6.1/2”x9” de bitola larga (1.600 mm), os quais são aproximadamente 30% mais leves que os eixos maciços equivalentes, e totalmente intercambiáveis. Nesse trabalho foi feita uma análise dos impactos na manutenção e na operação depois de 12 e 24 meses de utilização, respectivamente, em 6 vagões HPT de 130 t novos fornecidos em 2017.

2. CARACTERÍSTICAS

A Tabela 1 descreve as características do eixo maciço segundo a especificação AAR M-101, comparadas com o eixo tubular equivalente.

Tabela 1 – Comparação entre os tipos de eixos

Tipo de eixo	Maciço*	Tubular
Manga	6.1/2” x 9”	
Bitola	1.600 mm	
Peso (kg)	558 kg	395 kg
Grau do aço	F	RR1
Tensão de escoamento	≥345 MPa	≥552 MPa
Limite ruptura	≥607 MPa	≥689 MPa
Alongamento	≥16%	≥16%
Tamanho de grão**	≥5	≥6
Dureza	~180 HB	~250 HB

(*) AAR M101; (**) ASTM;

A diferença de peso entre o eixo tubular e o eixo maciço é de 163 kg por eixo, o que corresponde a uma redução nominal de 652 kg em um vagão equipado com quatro eixos tubulares no lugar de eixos maciços convencionais, uma redução de aproximadamente 2,5% na tara do vagão, com impacto direto no consumo de diesel nos trechos vazios.

3. COMPARAÇÃO DOS ASPECTOS DE MANUTENÇÃO

Para comparar os aspectos de manutenção na rotina da oficina de rodeiros, dois eixos tubulares 6.1/2” x 9” x 1600 mm (T1 e T2) foram comparados com um eixo maciço equivalente (M), de acordo com a Norma AAR M-101. Todas as amostras analisadas estavam montadas em vagões do mesmo lote de fabricação e percorreram uma quantidade similar de viagens por um ano. Os três eixos foram removidos da mesma posição relativa dos vagões (rodeiro 1) e rodaram no mesmo trecho de 1.600 km de extensão. A Tabela 2 mostra o número de viagens e a distância total percorrida pelas amostras analisadas.

Tabela 2 – Número de viagens e distância percorrida por eixo

Eixo	N° de viagens	Distância total percorrida (km)
T1	32	100.574
T2	32	98.815
M	34	105.305

A distância total percorrida foi por volta de 100.000 km, que equivale a aproximadamente 35 milhões de revoluções do eixo.

3.1. Inspeção das rodas e bitola interna

Foi realizada uma inspeção visual nas rodas que estavam montadas em cada eixo, de acordo com as práticas de casa de rodas. Nenhuma indicação de defeito foi encontrada nas pistas das rodas. Além disso, foi realizada a medição de espessura de friso (EF), altura de friso (AF), espessura do aro ou bandagem (B), e bitola interna (BI). Vide resultados na Tabela 3.

Tabela 3 – Parâmetros medidos nas rodas (mm)

Eixo	Lado	EF	AF	B	BI
T1	Esquerdo	33	29	72	1512
	Direito	33	29	72	
T2	Esquerdo	32	29	72	1513
	Direito	33	29	72	
M	Esquerdo	32	29	73	1513
	Direito	33	29	73	

Os resultados encontrados estão compatíveis com o desgaste esperado da roda para um ano de operação. Não houve diferenças significativas nos resultados dos eixos tubulares em relação ao maciço, e todos eles estão de acordo com os critérios estabelecidos para continuar rodando em operação.

3.2. Inspeção visual e dimensional das mangas de eixo

Todos os rolamentos foram sacados das mangas e inspecionados em relação a vazamento de lubrificantes e danos no retentor. Foi realizada também uma verificação do ruído dos rolamentos, através do giro deles nas mangas, e por fim, a folga axial foi conferida. Nenhum problema foi encontrado em nenhum dos eixos. A Figura 1 ilustra uma manga de eixo tubular que foi inspecionada.

Fig. 1 – Exemplo de manga de eixo tubular (T1) do lado esquerdo

Posteriormente, foi feita a inspeção dimensional nas mangas, medindo-se o diâmetro em três posições, bem como a ovalização no centro da manga de eixo. A Tabela 4 apresenta a média dos diâmetros obtidos em cada manga de eixo, e a sua respectiva ovalização.

Tabela 4 – Dimensões das mangas de eixo

Eixo	Lado	Diâmetro (mm)	Ovalização (mm)
T1	Esquerdo	157,246	0,020
	Direito	157,240	0,020
T2	Esquerdo	157,252	0,020
	Direito	157,253	0,015
M	Esquerdo	157,238	0,004
	Direito	157,252	0,000

Embora a ovalização apresente variações entre os eixos, todos os valores medidos estavam conformes (AAR M-101).

3.3. Empeno das mangas e do corpo do eixo

Os empenos das mangas e do corpo dos eixos foram medidos para garantir que nenhuma deformação tivesse ocorrido nos eixos durante o seu uso. A tabela 5 apresenta os valores de empeno.

Tabela 5 – Comparação de empeno dos eixos

Eixo	Manga lado esquerdo (mm)	Manga lado direito (mm)	Corpo do eixo (mm)
T1	0,011	0,000	0,20
T2	0,010	0,007	0,30
M	0,010	0,006	0,15

3.4. Remoção e montagem das rodas

As rodas foram removidas dos eixos e as sedes de roda nos eixos foram visualmente inspecionadas. Nenhum dano na superfície dessas áreas foi detectado. A Figura 2 exemplifica duas sedes de rodas, uma do eixo tubular e uma do eixo maciço.

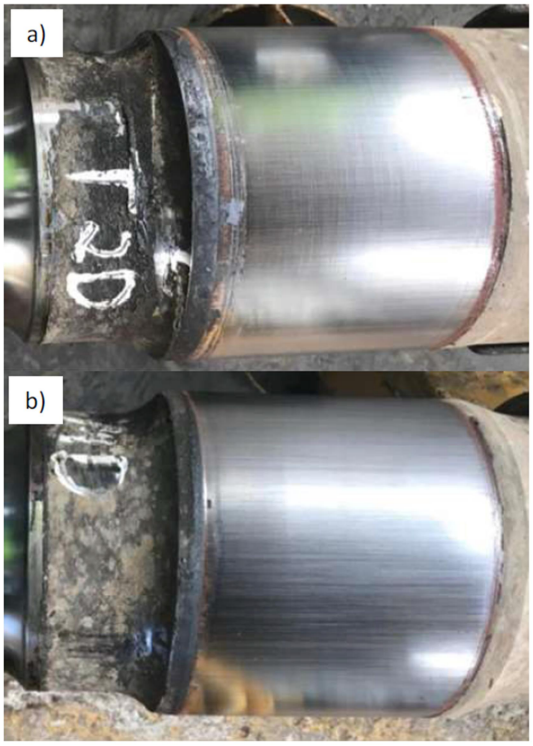

Fig. 2 – (a) sede da roda do eixo tubular T2 e (b) sede da roda do eixo maciço M.

Após a avaliação das sedes de rodas, foi realizada a usinagem nessas regiões para a posterior montagem de novas rodas. As seis rodas novas foram montadas nos três eixos, e todas as montagens ficaram dentro dos resultados gráficos esperados (AAR M-101). A Figura 3 mostra um exemplo de um gráfico de montagem (eixamento) de uma roda no eixo tubular.

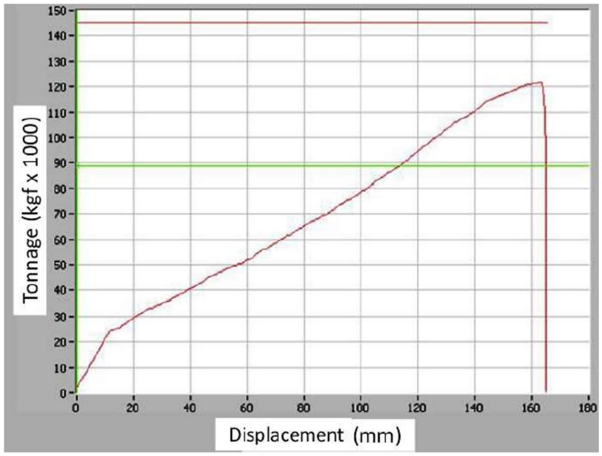

Fig. 3 – Gráfico de montagem de uma roda no eixo tubular

3.5. Inspeção por ultrassom

A inspeção por ultrassom do eixo maciço foi feita de acordo com a prática padrão de casa de rodas, alinhada com a norma internacional amplamente utilizada, usando um transdutor de 24 mm e 2 MHz em ambas as extremidades. O procedimento foi feito em duas etapas: ajuste de sensibilidade e detecção de descontinuidades. O eixo foi aprovado como esperado, uma vez que era praticamente novo e espera-se uma vida útil em serviço de 30 anos ou mais.

A inspeção por ultrassom dos eixos tubulares foi feita de acordo com um procedimento específico desenvolvido pelo fabricante do eixo e similar à inspeção final realizada no processo de manufatura dos eixos. O equipamento utilizado foi um equipamento com tecnologia Phased Array, e a varredura foi realizada em toda a superfície externa cilíndrica do eixo, com um transdutor ultrassônico de 16 elementos piezoelétricos e 4 MHz, melhorando a capacidade de detecção, que também é facilitada pela maior permeabilidade proporcionada pela microestrutura refinada. O bloco de calibração é uma seção de um eixo tubular com defeitos artificiais internos e externos, posicionados transversalmente com 1 mm de profundidade. Este arranjo permite uma inspeção mais precisa e detalhada, que também permite aumentar o intervalo entre inspeções, se devidamente avaliado através dos parâmetros da mecânica de fratura.

A Figura 4 mostra a inspeção de um eixo tubular em andamento. Os dois eixos tubulares também foram aprovados como esperado, mas adicionalmente foi uma oportunidade para aplicar a metodologia do teste para demonstração e treinamento da equipe da casa de rodas. O procedimento já foi aplicado na inspeção de milhares de eixos e consta do projeto de norma (ABNT) em discussão no grupo metro-ferroviário CB 006.

Fig. 4 – Inspeção por ultrassom em eixo tubular

4. COMPARAÇÃO DOS ASPECTOS OPERACIONAIS

Para gerar a base de dados de carregamento, foram utilizados seis vagões equipados com eixos tubulares e seis vagões equipados com eixos maciços. Eram vagões modelo *hopper* (HPT) de bitola larga e pertenciam ao mesmo lote de fabricação.

Eles circulam desde 2017 no principal corredor da RUMO, com aproximadamente 1.600 km, de Rondonópolis – MT até o porto de Santos – SP, principal porto de exportação brasileiro. Foram considerados para a análise, os dois principais produtos agrícolas transportados pela operadora ferroviária, soja e milho, que representam aproximadamente 74% do volume total transportado pela companhia.

Os resultados de carregamento dos vagões, depois de 24 meses de operação, podem ser vistos nas Figuras 5 a 8, onde as colunas azuis são as cargas médias de cada vagão.

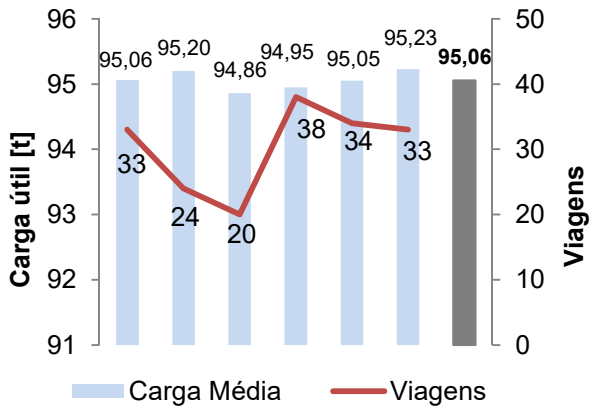

Fig. 5 – Carregamento de milho – eixo tubular

Os seis vagões com eixos tubulares realizaram 182 viagens onde se obteve uma média global de 95,06 t de milho, por vagão.

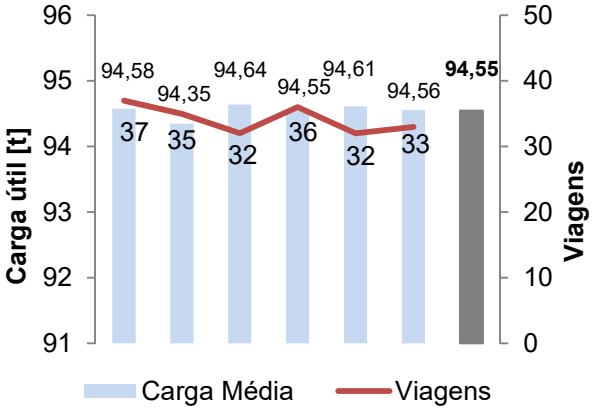

Fig. 6 – Carregamento de milho – eixo maciço

Os seis vagões com eixos maciços realizaram 205 viagens onde se obteve uma média global de 94,55 t de milho, por vagão.

A comparação das médias dos gráficos mostra que para o transporte de milho houve um aumento médio de 510 kg por viagem nos vagões equipados com eixos tubulares.

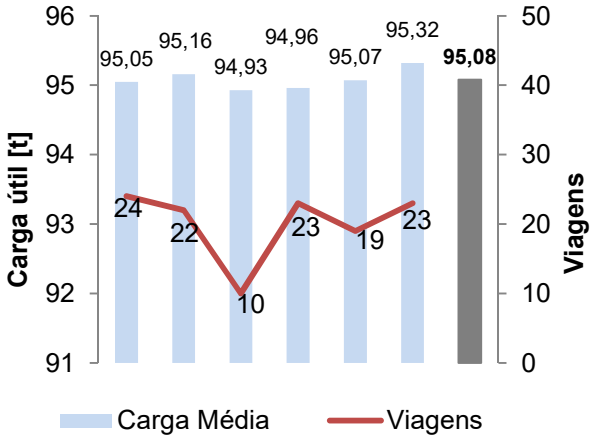

Fig. 7 – Carregamento de soja – eixo tubular

Os seis vagões com eixos tubulares realizaram 121 viagens onde se obteve uma média global de 95,08 t de soja, por vagão.

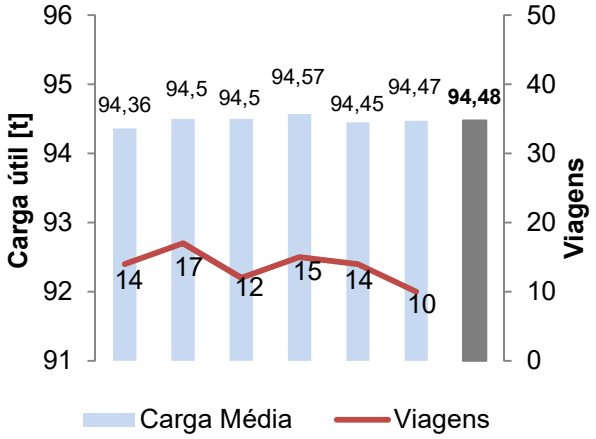

Fig. 8 – Carregamento de soja – eixo maciço

Os seis vagões com eixos maciços realizaram 82 viagens transportando em média 94,48 t de soja cada. A comparação das médias demonstra que para o transporte de soja houve um aumento médio de 600 kg por viagem nos vagões com eixos tubulares. A Tabela 6 resume os resultados.

Tabela 6 – Resumo do carregamento dos vagões

Eixo	Produto	Média (t)	Ganho kg	Ganho %
Tubular	Milho	95,06	510	0,5
Maciço		94,55		
Tubular	Soja	95,08	600	0,6
Maciço		94,48		

5. CONCLUSÃO

Este trabalho avaliou a possibilidade de redução de tara e consequente aumento de carga útil de vagões de carga modelo *hopper* (HPT), através da substituição de eixos maciços por eixos tubulares.

O primeiro passo, após um ano de operação, foi a comparação entre as práticas de manutenção aplicadas nos eixos tubulares com as existentes executadas pela casa de rodas para os eixos maciços. Além disso, de acordo com as boas práticas de manutenção e recomendação do fabricante, após dois anos em operação, foi realizada a inspeção por ultrassom em todos os eixos tubulares dos vagões. Todas as condições e parâmetros avaliados nos eixos tubulares atenderam aos requisitos esperados, e a análise não revelou nenhuma diferença significativa entre os eixos tubulares e maciços.

O segundo passo foi a comparação dos aspectos operacionais de carregamento entre seis vagões equipados com eixos tubulares e seis vagões equipados com eixos maciços, que transitaram em um corredor de aproximadamente 1.600 km durante dois anos. O ganho real de carregamento foi alcançado para os dois principais produtos agrícolas transportados.

Vagões com eixos tubulares aumentaram a média de carga útil em 510 kg por vagão em cada viagem, para o transporte de milho. Para o transporte de soja, a média de carga útil utilizando eixos tubulares ao invés de eixos maciços, foi aumentada ainda mais, alcançando um ganho de 620 kg por vagão em cada viagem. Estes números mostram a viabilidade de novos materiais e projetos para alcançar benefícios operacionais sem problemas ou restrições de manutenção.

6. REFERÊNCIAS

[1] S. W. Smith, J. W. Coulborn. *High capacity axle for railway freight cars: US* 6,189,456 B1. United States Patent. 2001. Fort Worth, TX. 7p.

[2] R. Zaripov, P. Gavrilovs. *Research opportunities to improve technical and economic performance of freight car through the introduction of lightweight materials in their construction.* 2017. Procedia Engineering, 187, pp. 22-29.

[3] E. Matsika, C. O'Neill, M. Grasso, A. De Iorio. *Selection and ranking of the main beam geometry of a freight wagon for lightweighting*. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, 2018, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit, 232 (2), pp. 495-513.

[4] R. F. Antunes, J. A. Filho. *Seamless forged tube axle for railway vehicles and process for manufacturing seamless steel tube forged axle for rail vehicles*: BR2007PI04944 (Patent priority number), 2008, INPI, Rio de Janeiro.

[5] R.F. Antunes, M.T.C. Bachour, A.S.M. Fonseca, S. Winiarski. *Operational benefit and maintenance assessment of new tubular axles*. Conferência IHHA, Narvik, Noruega, Junho 2019.

[6] R.F. Antunes, A.S.M. Fonseca, I. Freitas. *Light Freight Wagon Tubular Axles*, XIX International Wheelset Congress, June, 2019, Venice, Italy.