

IMPACTO DO AUMENTO DE CARGA POR EIXO NA DEGRADAÇÃO DA VIA PERMANENTE – ESTUDO MRS LOGÍSTICA (VAGÕES GDT PARA VAGÕES GDU)

Daniel de Souza Borges Ferreira
Instituto Militar de Engenharia
Pós Graduação em Engenharia Ferroviária

RESUMO

Este trabalho apresenta uma avaliação do processo de aumento de carga por eixo na MRS Logística, de 32,5 para 36 toneladas por eixo. Neste texto é feita uma abordagem de como esse processo impacta a qualidade da Via Permanente e de seus componentes, sua degradação e os custos associados a estes. Para que se realize tal abordagem utilizou-se de uma metodologia já aplicada em outras ferrovias de cálculo de fatores de carga com expoentes de dano de acordo com as características do corredor de transporte, da qualidade de sua Via e dos processos de manutenção existentes. Por fim, o trabalho propõe alavancas para que o aumento de carga proposto possa aproximar de viabilidade técnica e econômica.

ABSTRACT

This paper evaluates the process of the axle-load increase at MRS Logística, from 32.5 to 36 tonnes per axle. This study investigates how such process impacts the quality of the Permanent Way and its components, its degradation and the costs related to the track. This analysis is draw from the methodology used in other railroads to calculate load factors with damaging exponents considering characteristics from the transportation corridor, the quality of the track and the existing maintenance processes. At last, this work offers alternatives so that the proposed load increase can approximate from its technical and economic viability.

1. INTRODUÇÃO

O volume de transportes na MRS Logística e no Brasil tem crescido significativamente, como mostra a Figura 1, nos últimos anos e, como forma de suportar o aumento do volume transportado, os vagões e os trens também têm crescido de maneira considerável e isso se dá por diversos fatores que estão essencialmente atrelados à eficiência operacional, aumentando a capacidade de transporte, reduzindo custos operacionais (como equipagem, por exemplo) e, consequentemente, aumentando a competitividade do transporte ferroviário por meio da redução dos custos logísticos.

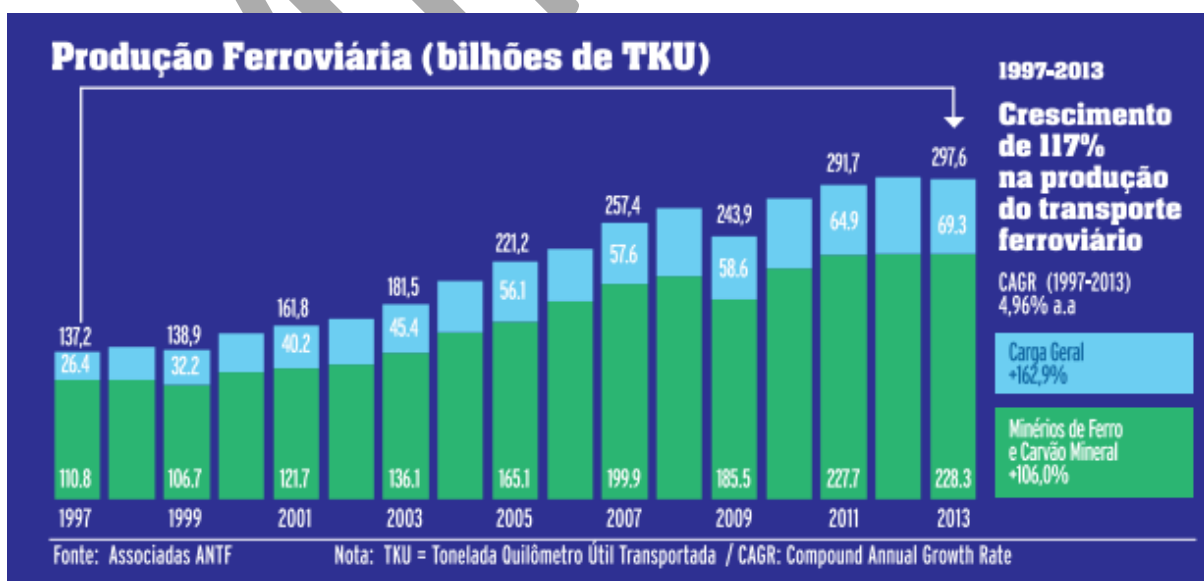


Figura 1: Evolução do volume de transporte ferroviário no Brasil

Fonte: ANTF (2014)

Operar trens mais pesados pode ocorrer sob basicamente 3 (três) soluções diferentes, isto é, para se aumentar o peso total de um determinado modelo trem pode-se:

- Acrescentar mais vagões nos trens: solução mais simples de se executar, mas neste caso há também o aumento do tamanho do trem o que além de demandar maior capacidade de tração, também demanda pátios de cruzamento e fila maiores;
- Aumentar a carga dos vagões existentes (peso útil médio): para executar tal ação depende-se de mudanças no processo de carregamento dos vagões e de um estudo da estrutura dos vagões, no intuito de verificar a viabilidade do mesmo e, há grandes probabilidades de comprometimento da vida útil dos componentes dos vagões caso não tenham sido dimensionados para tal carga;
- Aumentar a carga por eixo do vagão: solução que além de demandar investimento e novos projetos de vagões que requer, entretanto, estudos de viabilidade sob o aspecto de Via Permanente (Superestrutura) e Infraestrutura, tanto pavimentos quanto obras de arte especiais, que devem suportar este aumento de carga, além de terem suas degradações aceleradas.

Todas as três soluções são utilizadas constantemente pelas ferrovias nacionais e ao redor do mundo, sempre de acordo com cada situação específica, de modo que a solução adotada traga o melhor resultado possível para a organização. No caso da MRS Logística em particular, pode-se dizer que todas as 3 (três) soluções já foram adotadas em momentos diferentes, como por exemplo: O aumento do trem de minério de 132 vagões para 134 vagões por composição, a mudança de vagões manga “S” para vagões manga “T” e a constante busca por melhor peso médio, que muitas vezes está associada às características do *commodity* transportado (como densidade e modelo de carregamento). No presente trabalho serão abordados apenas os impactos do aumento da carga por eixo.

Segundo Newman et. al (1990) a tendência por vagões maiores veio acompanhada por um número significativo de pesquisas acerca dos custos e benefícios em operar vagões com maior capacidade. Nesse cenário, o aumento da carga por eixo e o aumento da capacidade de carregamento dos vagões já existentes foram temas recorrentes de estudos de viabilidade técnica e econômica em diversas ferrovias mundiais como na Índia e na Austrália, como por exemplo trabalhos de Ram e Singh (2005) – de 22,9 para 30 toneladas por eixo – e Marich e Maass (1986) – de 33 para 35 toneladas por eixo, respectivamente.

As cargas por eixo praticadas nas ferrovias ao redor do mundo variam de acordo com o serviço realizado, isto é, tipo de carga transportada, características da malha ferroviária, características da carga/commodity transportada e com a capacidade de transporte suportada pelos vagões, malha ferroviária, condição e características como bitola, por exemplo, e força de tração. No que tange a MRS Logística e o presente trabalho, será abordado o transporte de minério de ferro que por si só possui diversas variações de densidade, que aqui serão desconsideradas, analisando-se apenas o peso por eixo nominal resultante. A Figura 2 representa a variação de carga por eixo de acordo com a bitola em algumas das principais referências de transporte de minério de ferro.

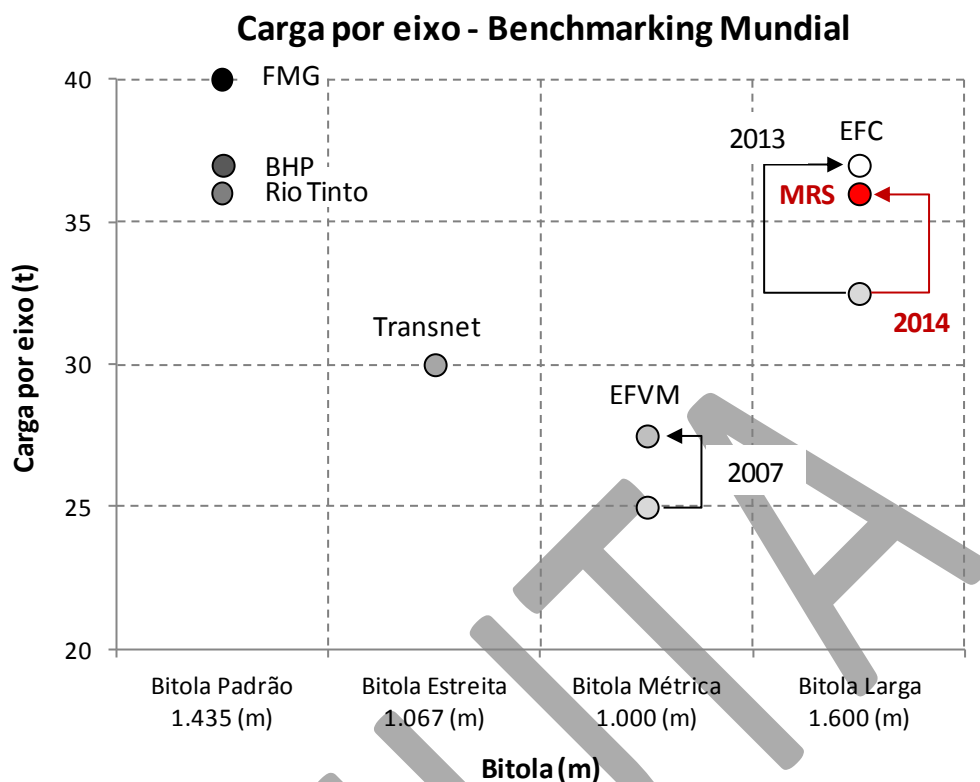


Figura 2: Cargas por eixo no mundo de acordo com a bitola

Fonte: WorleyParsons (2008), adaptado

De acordo com Newman et. al (1990), o aumento de carga por eixo costuma ser demandado ou pela busca de competitividade ou por alteração no modelo de transporte, em que se passa a operar principalmente com trens unitários e de transporte de commodities como carvão, caso da BNSF e minério de ferro, caso da MRS Logística e da EFC. Ainda segundo Newman et. AL (1990) o aumento de carga por eixo traz diversos benefícios em economia operacional, atingida pela operação de menos vagões, porém mais pesados, tais quais:

- Melhoria da razão de massa total por tara;
- Redução de consumo de combustível por tonelada transportada;
- Permitir a operação de trens mais pesados sem aumento de desvios;
- Redução de quilometragem total operada de vagões e locomotivas;
- Permitir que uma dada quantidade de carga seja transportada em menos trens.

Além destes benefícios supracitados, pode-se destacar também o aumento de capacidade de transporte de carga, fator crítico em malhas com capacidade muito próximas da saturação. Em situações em que a capacidade de circular com trens está muito próxima do limite, o aumento de carga por eixo pode ser uma alternativa viável para aumentar a capacidade de transporte e evitar perdas de volume transportado.

2. JUSTIFICATIVA

Na MRS Logística, o aumento da carga por eixo é um processo em desenvolvimento desde o início da concessão, como representado na Figura 3, mas que devido às condições de projeto

da ferrovia e de suas obras de arte atingiu um estágio crítico, em que o aumento da carga por eixo pode trazer impactos custos tão altos quanto os benefícios de redução de custo. Por essas razões, aliadas à necessidade de maior competitividade, redução de custos e aumento da capacidade de transportes futura, a decisão do aumento de carga por eixo neste momento é fundamental e deve estar extremamente bem embasada técnica e economicamente.

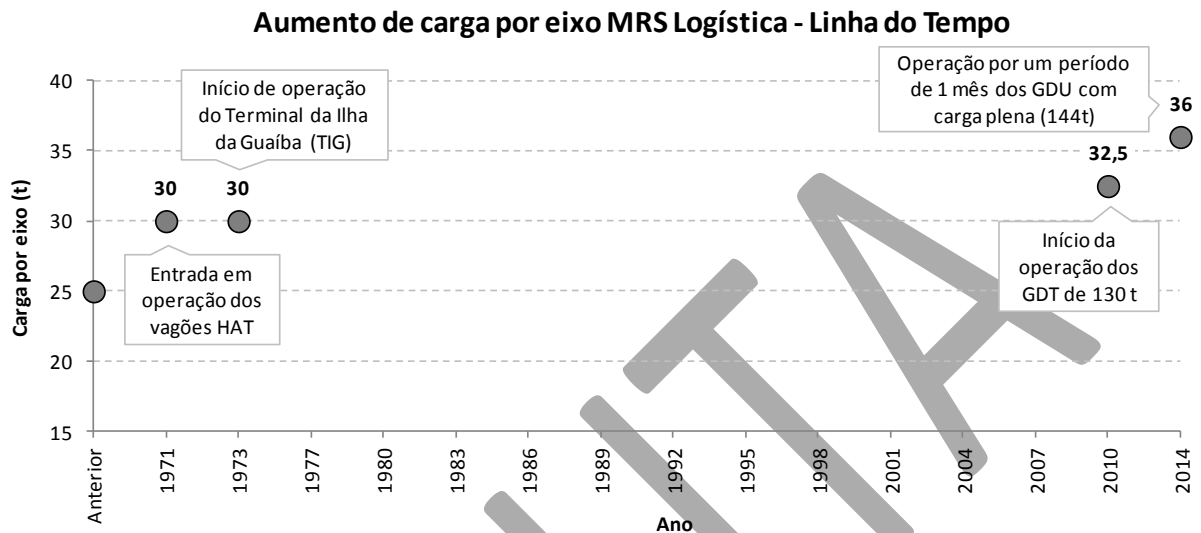


Figura 3: Evolução da carga por eixo na MRS Logística
Fonte: O Autor

Os benefícios e economias gerados pelo aumento de carga por eixo são inquestionáveis, porém, como afirma Newman et. al (1990) do ponto de vista de engenharia não há dúvidas de que cargas por eixo elevadas reduzem a vida de componentes de via permanente, aumentam a taxa de degradação da linha e de sua estrutura e aumentam o custo de possíveis descarrilamentos, como pode ser evidenciado no Figura 4, que apresenta ainda o impacto em MGT (Million Gross Tons – Unidade de medida equivalente a 1,016 Milhões de toneladas transportadas) .

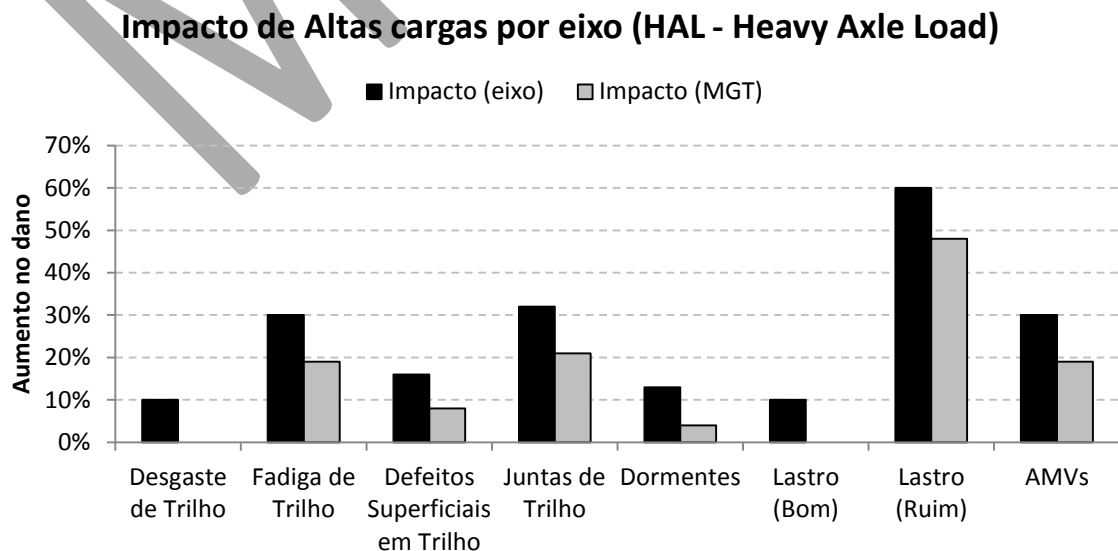


Figura 4: Impacto do aumento de carga por eixo na Via Permanente

Fonte: Zarembski (2000), adaptado

Na MRS Logística o volume transportado vem crescendo ano após ano, reduzindo consequentemente a capacidade ociosa da malha ferroviária a um ponto em que projeções futuras de volume em cenários otimista saturam os corredores de escoamento de minério de ferro. Aliada às projeções de aumento de volume, há necessidade constante de otimização de recursos em busca de redução de custos e, consequentemente, aumento de competitividade. Neste contexto, soluções de capacidade e de redução de custos logísticos como equipagem são fundamentais para o desenvolvimento da organização, fazendo com que o aumento de carga por eixo seja uma solução com grande potencial de estudo e exploração.

3. ESCOPO E PREMISSAS

Este presente trabalho tem por objetivo avaliar os impactos que o aumento de carga por eixo traz à Via Permanente de uma forma geral e avaliar como a mudança dos vagões utilizados para transporte de minério de ferro na MRS Logística (Mudança de GDT com 32,5 toneladas por eixo para GDU com 36 toneladas por eixo) podem afetar os custos da Via Permanente, de como, por exemplo, de acordo com ORE D161 (1988) o aumento do custo de manutenção devido ao aumento de carga por eixo de 20 toneladas para 22,5 em uma via de boa qualidade é da ordem de 8%.

A Via Permanente neste trabalho será abordada apenas sob o aspecto de superestrutura (trilho, dormente, lastro e AMV – Aparelho de Mudança de Via) e será considerado apenas o trecho de circulação do minério de ferro carregado, região em que haverá o aumento real da carga por eixo máxima da MRS.

Desta forma, não será abordado neste trabalho os impactos em infraestrutura (pavimentos, dispositivos de drenagem e obras de arte especiais) e também não se pretende realizar um estudo de viabilidade técnica e econômica do aumento de carga por eixo (De 32,5 para 36) na MRS Logística, pois para tal além destes fatores aqui não abordados, necessita-se de uma análise aprofundada nos demais custos e benefícios, tanto sob a esfera de manutenção quanto de operação, associados ao transporte utilizando o vagão o GDU.

A MRS Logística S/A é a concessionária que atua nos antigos setores de RFSA SR3 e SR4, que compreende 1674 km de extensão, dos quais 1632 em bitola larga, passando pelos estados de Minas Gerais, Rio de Janeiro e São Paulo. A MRS Logística tem suas operações voltadas para o transporte de carga, que são divididos em dois grandes grupos: Heavy-Haul e Carga Geral. O primeiro grupo, Heavy-Haul, compreende as operações de Minério de Ferro, Carvão e Coque que representam aproximadamente 75% do volume total transportado e, tem características típicas de transportes ferroviários. A operação do Heavy-Haul ocorre por demanda, de modo que não há horários fixos para carregamento ou descarga nos terminais, tampouco para chegada e saída de cada trem dos pátios ao longo do trecho (Ferreira, 2012).

Como pode ser visto na Figura 4, o transporte de minério de ferro na MRS Logística é realizado em formato carrossel de modo que o carregamento ocorre na região do Estado de Minas Gerais (regiões de Olhos D'Água, Sarzedo, Brumadinho, Andaime) e as descargas acontecem nos portos do Rio de Janeiro (Itaguaí, Brisamar e Guaíba). Os trens carregados de minério circulam pela Ferrovia do Aço (corredor de linha singela), enquanto que os trens com

vagões vazios retornam para as minas através do corredor Linha do Centro (corredor de linha singela).



Figura 5: Mapa da malha ferroviária da MRS Logística

Fonte: www.mrs.com.br/empresa/ferrovia-frota acesso em 02/08/2015, adaptado

Neste estudo serão abordados apenas os corredores com circulação do minério carregado na MRS Logística, que são: Paraopeba, Ferrovia do Aço, Saudade-Barra do Piraí e Barra do Piraí-Guaíba, por serem os locais em que há de fato o transporte com a máxima carga por eixo. Este presente trabalho considera ainda as características atuais de degradação e manutenção de Via Permanente nos respectivos trechos da MRS Logística, não levando em consideração possíveis mudanças nos padrões de manutenção ou investimento para recuperação de quaisquer trechos diferentes do que já é praticado.

4. DESENVOLVIMENTO

4.1. Impacto de altas cargas por eixo (Heavy Axle Load – HAL) na Via Permanente

Segundo Esveld (2001) as características necessárias de resistência e qualidade da Via Permanente dependem em grande parte dos parâmetros de carga:

- Carga por eixo: Carga estática vertical por eixo;
- Peso bruto: Soma de todas as cargas por eixo;
- Velocidade de Circulação.

A carga por eixo, cujo incremento dinâmico deve ser somado, em princípio determina a resistência exigida da Via Permanente. O peso bruto acumulado determina a deterioração da qualidade da Via Permanente e provê indicações da necessidade de manutenção e renovação.

A componente carga dinâmica que depende da velocidade e da geometria vertical e horizontal da linha também representa papel importante nestas características (Esveld, 2001).

Ainda de acordo com Esveld (2001) altas cargas por eixo em Heavy Haul podem resultar em aplicação de cargas de até 350 kN por eixo na Via Permanente e, a circulação destas altas cargas pode aumentar consideravelmente a quantidade de defeitos em trilhos e demandar uma quantidade maior de manutenção. O aumento da carga por eixo eleva não só o impacto dinâmico na Via Permanente, como pode ser evidenciado na Figura 5, como aumenta a degradação da Via Permanente de uma forma geral, como mostrado na Figura 6.

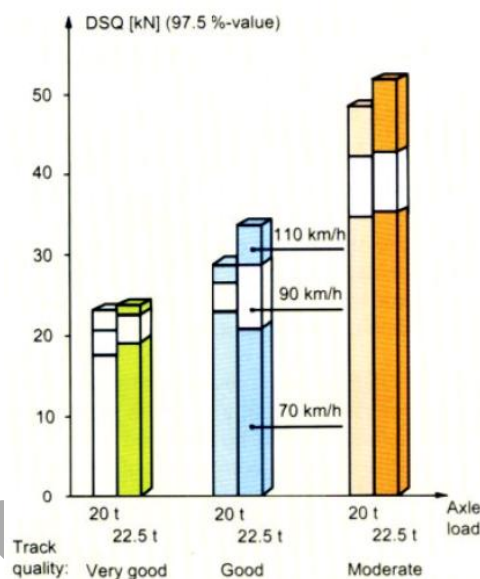


Figura 6: Componente dinâmico de carga versus carga por eixo, velocidade e qualidade da Via Permanente

Fonte: ORE D161 (1988 *apud* Esveld, 2001)

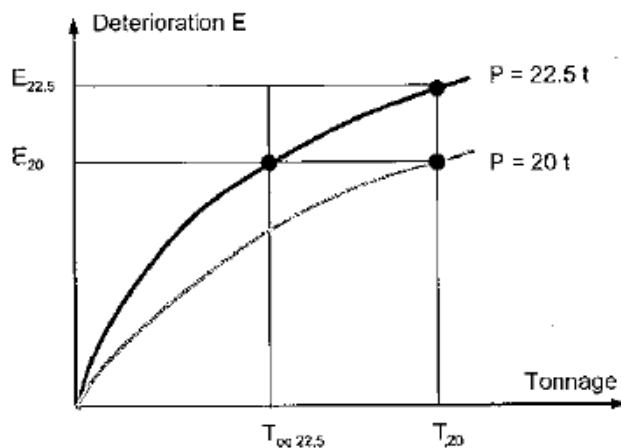


Figura 7: Curva de deterioração da Via Permanente em função da carga acumulada e da carga por eixo

Fonte: ORE D117 (1983 *apud* Esveld, 2001)

No estudo do ORE D117 (1983 *apud* Esveld, 2001) a deterioração da qualidade da Via

Permanente em função do aumento de carga por eixo é dada por:

$$E = kT^\alpha P^\beta V^\gamma \quad (1)$$

Em que:

E = Deterioração desde a última renovação ou processo de manutenção

T = Toneladas Acumuladas

P = Carga por eixo total (Estática + Dinâmica)

V = Velocidade de Circulação

k, α, β, γ = Constantes

Ao longo dos anos outros estudos foram desenvolvidos para avaliação técnica, como a proposta por ORE D117 (1983), do impacto do aumento da carga por eixo na Via Permanente e econômica, como no caso da metodologia utilizada por ORE D161 (1988). Pode-se citar ainda como metodologias o trabalho apresentado por Casavant e Tolliver (2001) que determina o impacto do aumento de carga por eixo através da avaliação da deflexão da Via Permanente e apresenta como cada subsistema (Roda-trilho, dormente e lastro) influencia na deflexão da Via Permanente, para que a partir deste ponto possa propor soluções para os cenários de deflexão.

Segundo Casavant e Tolliver (2001) pode-se definir a deflexão da Via Permanente como:

$$Y_0 = \frac{P}{\sqrt[4]{64 EU^3}} \quad (2)$$

Em que:

Y_0 = Deflexão Vertical da Via Permanente (pol)

P = Carga dinâmica da roda (lb)

E = Elasticidade do aço do trilho (30.000.000 psi)

l = Momento de inércia do aço do trilho (lb/jarda)

U = Módulo de elasticidade da Via Permanente (psi)

Ambas as metodologias, apesar de terem estudos aplicados possuem um viés técnico e menor abordagem econômica, desta forma no presente trabalho adotou-se a metodologia de cálculo de fator de carga (Zarembski, 2000; Newman et. al, 1990; Newman et. al, 1991 a; Newman et. al, 1991 b), em que é feita uma análise comparativa de cargas por eixo que se estime qual será o impacto no custo de Via Permanente pelo aumento da carga por eixo e, por esse motivo, foi adotada como referência neste trabalho.

4.2. Metodologia

De acordo com Zarembski (2000) e estudos anteriores (Newman et. al, 1990; Newman et. al, 1991 a; Newman et. al, 1991 b) pode-se avaliar economicamente o impacto do aumento de carga por eixo por meio de metodologia de cálculo de fator de carga, na qual se estabelece um coeficiente de aumento de custo, por componente, de acordo com a variação da carga por eixo e das características e condições da Via Permanente:

$$F = \left(\frac{P}{P_0}\right)^n \quad (3)$$

Em que:

F = Fator de carga por componente

P = Nova carga por eixo

P_0 = Carga por eixo anterior

n = Expoente de dano

Nesta presente metodologia, deve-se calcular o fator de carga para cada componente da Via Permanente, que no escopo deste trabalho se resume a trilhos, dormentes, AMVs e lastro por serem os componentes com maior impacto no orçamento de Via Permanente e por serem essenciais à garantia da segurança operacional. Para tal é necessário definir o expoente de dano de cada componente, que podem variar de acordo com as características e formas de degradação do componente, com a condição da rota estudada e com as toneladas acumuladas nesta rota específica.

Segundo Newman et. al (1990) para degradação de trilhos há 3 (três) mecanismos primários: fadiga superficial (defeitos superficiais), fadiga interna e desgaste, de modo que os dois primeiros aumentam exponencialmente com o aumento de carga por eixo. Já o desgaste, fator que limita a vida útil dos trilhos principalmente em curvas com raios mais apertados, como no caso do corredor Barra do Piráí-Guaíba na MRS Logística, também há dependência da carga por eixo. No intuito de se desenvolver um trabalho mais preciso e adequado é importante que sejam definidos fatores de carga individuais para cada um dos três mecanismos.

Ainda segundo Newman et al. (1990) para trilhos não Premium, o expoente de dano de fadiga interna varia de 3,3 a 4,0, porém caso utilize-se de trilhos Premium, com instalação recente e ciclo de esmerilamento adequado este valor pode se aproximar de 2,0. No caso da MRS Logística, há aplicação de trilhos Premium e há processo de esmerilamento implantado com perfil roda-trilho pré-definido. Desta forma, foi considerado para este trabalho os valores de 2, como otimista e esperado e 3,3 como pessimista.

De acordo com Clayton and Hill (1987, *apud* Newman et. al 1990) para fadiga superficial o limite inferior dadas as condições adequadas de lubrificação e carga podem chegar a 1,8, como limite superior de 3. Para a MRS Logística adotou-se como valor esperado 2,5, mesma referência utilizada por Newman et. al (1990) e valores otimista e pessimista de 1,8 e 3,0 respectivamente.

Para o expoente de desgaste de trilho, Marich e Maass (1988) apresentam uma relação linear, tornando os limites do expoente entre 1,0 e 2,0 (Otimista e Pessimista). Por se tratar de uma das principais causas de substituição no mundo e na MRS Logística, adotou-se como valor esperado 2,0.

Para AMVs, foram adotados os mesmos valores de fadiga interna de trilho como proposto por Zarembski (2000). Já no caso dos dormentes, referências clássicas como Hay (1982) e Talbot (1980 *apud* Newman et. al, 1990) consideram a vida do dormente linear em relação à carga, entretanto outras fontes apresentadas por Newman et. al (1990) atestam para relações não lineares com expoente variando entre 1,0 e 2,0. Como foram considerados nas referências apenas dormentes de madeira, componente predominante na MRS Logística, pode-se adotar o mesmo valor, porém apesar de ter em sua matriz cerca de 90% dos dormentes de madeira, a

companhia conta com cerca de 40% dos dormentes totais sendo de Eucalipto e 26% do total de dormentes inservíveis, valores muito acima dos benchmarkings mundiais. Desta forma adotou-se para dormentes na MRS Logística os valores de 2,0, 3,0 e 3,0 para os cenários otimista, esperado e realista.

Para lastro, Newman et. al (1990) aponta que apesar de alguns autores considerarem relações lineares, em condições de lastro com degradação estes valores podem variar entre 3 e 7, mas tem sua medição extremamente complexa. No estudo aplicado à BNSF, adotaram-se os valores de 1,0, 1,0 e 2,0 para cenários otimista, esperado e pessimista, respectivamente, de lastro bom e 3,0, 6,0 e 7,0 para lastro degradado. Como no trecho estudado neste trabalho há grande concentração de carga acumulada, corredores extremamente antigos e todas as linhas sem realização de desguarnecimento há mais de 20 anos, foi considerado para lastro degradado os valores de 3,0, 7,0 e 7,0 para os cenários otimista, esperado e pessimista, respectivamente. Para lastro bom, no caso da MRS Logística foi considerado o mesmo valor apresentado por Newman et. al (1990).

4.3. Resultados

Aplicando-se a metodologia apresentada no tópico anterior na MRS Logística, dentro das condições de contorno desenhadas temos:

Componente		Cenário		
		Otimista	Esperado	Pessimista
Trilho	Fadiga Interna	2,0	2,0	3,3
	Fadiga Superficial	1,8	2,5	3,0
	Desgaste	1,0	2,0	2,0
AMV		2,0	2,0	3,3
Dormente		2,0	3,0	3,0
Lastro	Lastro Bom	1,0	1,0	2,0
	Lastro Degradado	3,0	7,0	7,0

Tabela 1: Expoente de dano na MRS Logística

Fonte: O Autor

Considerando o escopo deste trabalho de avaliação do impacto da mudança de vagões GDT para vagões GDU, isto é, de 32,5 toneladas por eixo para 36 toneladas por eixo, e considerando os dados de demanda por componentes conforme o orçamento 2015 apresenta-se os seguintes resultados para os fatores de carga conforme o Figura 8.

Fator de Carga GDU/GDT MRS Logística

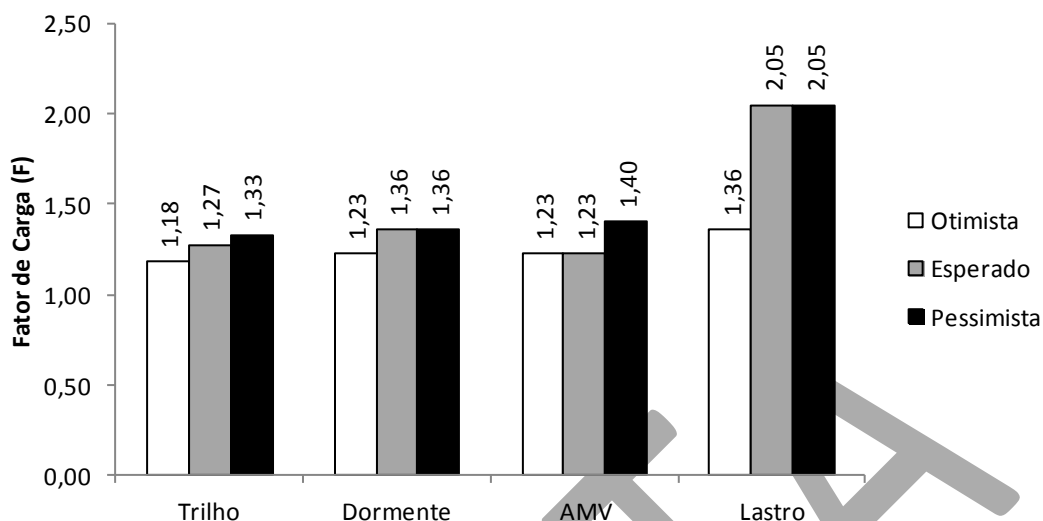


Figura 8: Fator de carga calculado para GDT (36 t/eixo) em função de GDT (32,5 t/eixo) por componente de Via Permanente

Fonte: O Autor

Em posse dos resultados de Fator de Carga, aplicou-se a participação nos custos de componentes de Via Permanente (Considerando apenas o custo de aquisição de componentes, tendo como base o orçamento 2015 da MRS Logística), e a participação conservadora de 85% do Heavy Haul em relação ao volume total transportado nos corredores em destaque, para que se obtivesse a estimativa de Impacto Financeiro no orçamento de componentes de Via Permanente da MRS Logística, como pode ser visto na Tabela 2 e no Figura 9.

Componente	% Substituição	% Custo	Expoente (n)
Trilho		30,0%	
Fadiga Interna	7%		2,0
Fadiga Superficial	70%		2,5
Desgaste	23%		2,0
AMV		5,4%	2,0
Dormente		48,7%	3,0
Lastro		3,0%	
Lastro Bom	0%		1,0
Lastro Degradado	100%		7,0

Tabela 2: Participação no orçamento da MRS Logística por componente

Fonte: O Autor

Os 12,8% restantes do custo total com os componentes (considerando apenas aquisição dos mesmos) foram admitidos como sem impacto devido ao aumento de carga por eixo.

Fator de Carga ponderado pelo Custo

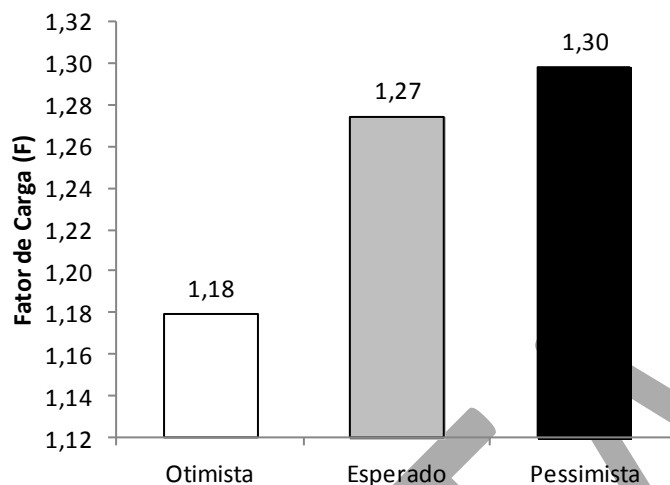


Figura 9: Fator de carga calculado para GDT (36 t/eixo) em função de GDT (32,5 t/eixo) para a rota do minério de ferro na MRS Logística

Fonte: O Autor

Como pode ser visto no Figura 9, o impacto financeiro estimado na MRS Logística da utilização de vagões GDU, com 36 toneladas por eixo de carga estática, em detrimento de vagões GDT, com 32,5 toneladas por eixo de carga estática, nos principais componentes de Via Permanente varia de 18% a 30%, tendo como resultado esperado 27% de aumento nos custos. Considerando-se linhas degradadas estes valores podem ser ainda muito superiores e necessitarem de adequações de pavimento, infraestrutura e obras de arte especiais, podendo se uma barreira à sustentabilidade econômica do processo.

Vale ressaltar ainda, que a confiabilidade da Via Permanente é altamente impactada pelo aumento da carga por eixo, de modo que o processo de manutenção será onerado pela maior quantidade de manutenções corretivas, redução do tempo entre manutenções preventivas e necessidade de intensificação de inspeções e monitoramento da Via Permanente, tanto por carros controle, quanto por inspeções pessoais no intuito de se mitigar a ocorrência de falhas críticas e descarrilamentos, que também terão suas consequências intensificadas.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O aumento da carga por eixo é inegavelmente uma solução de aumento de competitividade, seja pela redução dos custos operacionais, pelo aumento de capacidade de transporte ou por ambos. Entretanto essa solução deve ser analisada de acordo com cada rota específica, pois para que seja viável técnica e economicamente, é necessário que uma grande gama de variáveis e condições sejam analisadas e atendidas, desde a capacidade máxima de suporte do pavimento e obras de arte especiais, a custos de manutenção de longo prazo em Via Permanente, Vagões e Infraestrutura.

Por meio da metodologia utilizada no presente trabalho, foi possível estimar o efeito nos custos dos componentes de Via Permanente, assim como avaliar o impacto no dano gerado pela mudança total de operação de vagões GDT para vagões GDU, de modo que para que se tenha viabilidade é necessário ter a Via Permanente como um todo (Superestrutura e

Infraestrutura) preparada e em condições de suporte às cargas além de ser necessário um retorno por meio dos benefícios adquiridos pelo aumento de carga por eixo que seja superior ao impacto gerado, não só nos componentes de Via Permanente, mas em toda sua estrutura e processo e, para tal, deve-se haver estudos com aprofundamento extremamente elevado, dada a complexidade do problema.

Vale destacar ainda que o aumento de carga por eixo, pode em muitos momentos ser a única solução viável para a execução do serviço de transportes, neste caso, dependendo do volume atrelado à esta solução, sua viabilidade financeira pode ser extremamente facilitada.

Por fim, pode-se afirmar que para que se viabilize o aumento de carga por eixo no caso específico da MRS Logística e de situações similares a esta, algumas alavancas de melhoria operacional e redução de custos devem ser trabalhadas, para que se tenha um sistema mais competitivo e eficiente, tais quais:

- Otimização de tamanho de trens (Aumentando o máximo possível no caso de commodities como o minério de ferro);
- Redução da necessidade e custos de equipagem;
- Redução de tempos de trem parado;
- Melhoria na gestão de combustível, aumentando a eficiência energética;
- Dimensionamento e manutenção de vagões e seus componentes de forma adequada;
- Otimização do processo de carregamento dos trens;
- Aumento de velocidade e redução de lead time.

BIBLIOGRAFIA

- ANTF (2014) *Folder Dados ANTF – 2014*. Agência Nacional dos Transportes Ferroviários, Ministério dos Transportes, Brasília, DF.
- Casavant, K., and Tolliver, D. (2001) *Impacts of Heavy Axle Loads on Light Density Lines in the State of Washington*. Report submitted to the Washington State Department of Transportation.
- Clayton, O., Hill, D. N. (1987) *Rolling Contact Fatigue of a Rail Steel*. Contact Mechanics and Wear of Rail/Wheel Systems II, Univ. of Waterloo Press.
- Esveld, C. (2001) *Modern Railway Track – Second Edition*, MRT-Productions, Holland.
- Ferreira, D. (2012) *Alocação de locomotivas em composições ferroviárias através de modelos de otimização*. Monografia - Universidade Federal de Juiz de Fora, Departamento de Engenharia de Produção, Juiz de Fora, Minas Gerais, Brasil.
- Hay, W. (1982) *Railroad Engineering*. John Wiley & Sons.
- Marich, S., Maass U. (1986) *Higher Axle Loads are Feasible – Economics and Technology Agree*. Pre-Conference Proceedings, Third International Heavy Haul Railway Conference. International Heavy Haul Association, Virginia Beach, VA: IA-1-1 to IA-1-14.
- Newman, R. R., Zarembski, A. M., Resor, R. (1990) *Burlington Northern's Economic Assessment of High Capacity/Heavy Axle Load Cars*. Bulletin of the American Railway Engineering Association, Bulletin 726, Vol. 91.
- Newman, R. R., Zarembski, A. M., & Resor, R. R. (1991) *The Effect of Increased Axle Loads on Maintenance of Way and Train Operations at Burlington Northern*. International Heavy Haul Association /Transportation Research Board Workshop, Vancouver, B.C..
- Newman, R. R., Zarembski, A. M., & Resor, R. R. (1991) *Economic Implications of Heavy Axle Loads on Equipment Design Operations and Maintenance*. American Society of Mechanical Engineering, WAM, RTD-Volume 4, Rail Transportation.
- ORE D161 rp4 (1988) *Dynamic vehicle/track interaction phenomena, from the point of view of track maintenance*. Final Report: Conclusions and Recommendations, Utrecht.
- ORE D117 rp28 (1983) *Design charts for the track/foundation system*. Report 28, Utrecht.
- Ram, B., Singh, J. (2005) *Implications and solutions for running of 30 tonne axle load on dedicated routes of Indian railway*. Projects Report – Session No.525, Indian Railways, Government of India.

Talbot, A. N. et. al. (1980) *Stress in Railroad Track – The Talbot Reports*. American Railway Engineering Association.

WorleyParsons (2008) *Benchmark Heavy Haul line – International and national comparison*. Australia.

Zarembski, A. M. (2000) *The Implications of Heavy Axle Load Operations for Track Maintenance on Short Lines*. American Railway Engineering Maintenance Association Annual Technical Conference.

MANUTA