

UM ESTUDO COMPARATIVO DA APLICAÇÃO DE *UNDER SLEEPER PAD* PARA FERROVIAS DO TIPO *HEAVY HAUL*

Fabiana B. von der Osten

Aldrei C. M. Skwarok

Rafael L. Witiuk

Pontifícia Universidade Católica do Paraná
Escola Politécnica

RESUMO

Realizou-se a comparação entre dormentes de concreto utilizados na superestrutura ferroviária sem o uso *Pad* e com o uso da palmilha. Além disso, foram analisados os parâmetros de danos do lastro devido carga transportada, estabilização da camada superior do lastro, ruídos e vibrações. Comparações estas baseadas na revisão da bibliografia existente acerca das aplicações da palmilha em um contexto nacional, tendo em vista seu uso na Estrada de Ferro Carajás (Brasil), e nas ferrovias da Áustria - *Österreichische Bundesbahnen* (ÖBB) – a partir dos estudos desenvolvidos pela Getzner (2017a; 2017b; 2017c). Com os resultados pode-se afirmar que a palmilha aumenta a área de contato entre dormente e lastro, eliminando o efeito dos *hanging sleepers* (dormentes em suspensão), gerando menos quebra de lastro e menor frequência de socarias. Ou seja, atenua as forças dinâmicas aplicadas na camada do lastro e sublastro, aumentando a distribuição das mesmas em maior número de dormentes.

ABSTRACT

A comparison was made between concrete sleepers used in the railway superstructure without *Pad* and with the insole. Also, the parameters of ballast damage due to transported loading, stabilization of the upper ballast layer, noise and vibration were analyzed. Comparisons based on a review of the existing literature on the applications of the insole in a national context in view of its use on the Carajas Railroad (Brazil) and the Austrian *Österreichische Bundesbahnen* (ÖBB) railways - from studies developed by Getzner (2017a. ; 2017b; 2017c). As a results it can be stated that the insole increases the contact area between sleeper and ballast, eliminating the effect of hanging sleepers, generating less ballast break and less frequency of ballast tamping. In other words, it attenuates the dynamic forces applied to the ballast and sub-ballast layer, increasing their distribution in a larger number of sleepers.

1. INTRODUÇÃO

O processo de inserção de novas tecnologias a ferrovia foi iniciado em 1939 e intensificado em 1950 com a substituição da tração a vapor pela diesel elétrica. No último ano citado, o Governo Federal, decidiu pela unificação administrativa das 18 estradas de ferro pertencentes à União, que totalizavam 37.000 km de linhas espalhadas pelo país, criando em 1957 a Rede Ferroviária Federal S.A. (RFFSA), com o objetivo de administrar, conservar, ampliar e melhorar o tráfego das estradas de ferro da União por ela incorporadas, servindo as regiões Nordeste, Sudeste, Centro-Oeste e Sul.

Entretanto, os níveis de investimentos ainda não são compatíveis com as necessidades do setor ferroviário, principalmente quando comparado aos demais países de características econômicas e geográficas semelhantes ao Brasil. Nesta perspectiva, ao observar a matriz de transporte brasileira, pode-se verificar que, historicamente, os maiores investimentos foram aplicados nas rodovias em detrimento dos demais modais. Culminando em uma matriz de transporte com participações dos diferentes modais conforme segue: 65,6% rodoviário, 19,5% ferroviário, e os outros 15% dividem-se em aéreo, cabotagem, hidroviário e dutoviário (Ilos, 2018).

Tendo em vista o referido cenário destaca-se a importância dos investimentos nas ferrovias brasileiras principalmente no que tange a conservação e manutenção da via permanente. Para tanto, deve-se buscar o aumento da vida útil do sistema e soluções que possibilitem ganhos

em termos do custo de manutenção corretiva. Neste sentido, o uso de soluções como as palmilhas no pavimento ferroviário pode ser uma importante estratégia para a diminuição de tais custos.

Sendo assim, o presente trabalho tem como objetivo a comparação entre o desempenho de dormentes de concreto utilizados na superestrutura ferroviária sem o uso de palmilhas *Under Sleeper Pad* e com o uso desta nova tecnologia. Busca-se ainda, constatar as vantagens no uso do produto, evidenciando os diferentes tipos de materiais que podem ser utilizados, assim como sua composição. A análise comparativa será realizada em função dos seguintes parâmetros: Danos no lastro devido carga dos trens e consequente intervalos de socaria, vida útil da superestrutura, estabilização da camada superior do lastro, ruídos/vibrações e tensões sobre o subsolo.

2. METODOLOGIA

O presente trabalho consistiu na revisão da bibliografia existente acerca das aplicações da palmilha sob dormentes em contexto nacional considerando seu uso na Estrada de Ferro Carajás (VALE), e nas ferrovias da Áustria - *Österreichische Bundesbahnen* (ÖBB) – a partir dos estudos desenvolvidos pela Getzner (2017a; 2017b; 2017c). Com a utilização dos dados levantados, foi realizado um estudo comparativo entre os resultados obtidos para os pavimentos dotados de *Under sleeper Pads* e aqueles que não apresentavam este elemento. As propriedades do pavimento analisadas neste estudo foram: área de contato, estabilidade lateral, zonas de transição, atenuação das forças dinâmicas e distribuição das forças dinâmicas.

3. PALMILHAS SOB DORMENTES: *UNDER SLEEPER PADS*

As *Under Sleeper Pads* são almofadas especiais, como cerca de 10 mm a 20 mm de espessura, as quais são colocadas entre os dormentes e o lastro, sendo utilizadas a mais de vinte anos em alguns países europeus.

Recentemente, seu uso tem aumentado, principalmente em ferrovias de alta velocidade, buscando entre outros benefícios, a diminuição de problemas da via ferroviária, tais como: maior área de contato entre dormente/lastro, estabilidade lateral da via, a atenuação dos problemas nas zonas de transição e a diminuição das forças dinâmicas no lastro e sublastro. Ou seja, seu uso pode ser favorecer o transporte com o aumento de carga por eixo (maior quantidade de carga transportada por cada trem), o aumento da distância entre os dormentes (menor quantidade de dormentes por trecho), a diminuição do tamanho dos dormentes (menor volume de concreto em cada peça, e consequentemente menor peso) e a diminuição das fiadas de ferro na fabricação dos dormentes de concreto.

O principal material utilizado na fabricação do *Pad* é o elastômero de poliuretano, o qual tem uma estrutura de espuma, e é fixado na superfície inferior do dormente, segundo a NBR 16649:2017 – “Palmilhas para Dormentes – Requisitos e Métodos de Ensaio”. Atualmente, a maioria das *Pads* tem outros materiais junto ao elastômero com a função de protegê-lo do desgaste abrasivo. Dentre estes está, por exemplo, a Malha *Mesh*, colocada na produção do dormente para aumentar a fixação desta no concreto (Vale apud Getzner, 2014).

É muito importante a escolha dos materiais com propriedades corretas para obter-se um bom amortecimento na linha férrea. “Palmilhas são a forma mais rápida e funcional para colocar elasticidade em vias rígidas” (Getzner, 2017).

Nesta perspectiva, o projeto da palmilha deve ser de responsabilidade do fornecedor e estar de acordo com as características de geometria, solicitações e tráfego da via, fornecidas pelo cliente, o qual deve especificar também as propriedades mecânicas relacionadas. Portanto, de

acordo com determinação de normas e características de utilização, palmilhas possuem as seguintes propriedades: material uniforme, elevada resistência mecânica, elasticidade definida, vida útil elevada (maior ou igual ao dormente de concreto), ser compatível com todos os tipos de dormentes de concreto, ser compatível a todos os tipos de ferrovias, possuir conexão possível durante a concretagem e mitigar efeitos dinâmicos.

Deve-se ressaltar que as palmilhas não são usadas somente em ferrovias e, além disso, diferentes cargas são empregadas as diferentes densidades. Nas ferrovias são utilizadas para: Vias lastradas, *Heavy Haul* (transporte de altas cargas), Trens Bala, Transporte Urbano, e VLTs. Enquanto nas construções são aplicadas às fundações elásticas de edifícios, isolamentos de ruídos e acústica e construções em madeira. Nas indústrias são utilizadas em isolamentos de máquinas, material rodante e produtos específicos. (Getzner, 2017).

Em geral, no uso ferroviário as palmilhas mais comuns (dependendo das características da via) são: Plásticas (para proteção de lastro) e Elásticas (para isolamento de vibração, usado em obras de arte). Ou seja, o produto deve ter sua densidade determinada de acordo com a carga a qual será aplicada, pois sua elasticidade deve trabalhar na frequência elástica, para que a solicitação seja amortecida e conseqüentemente não haja fadiga do material (deformação plástica).

É muito importante que o material tenha boa recuperação e não fadigue. Desta maneira, pode-se verificar o exemplo que o material utilizado sobre o lastro se recupera completamente na figura 01, a qual mostra um teste realizado em laboratório na França, com a palmilha de especificação SLB1510G, e aplicação de carga equivalente a 50 ton/eixo no dormente, a frequências altas:



Figura 1: Capacidade de recuperação *Pad* (GETZNER, 2017).

4. TESTES EXECUTADOS

4.1 Markersdorf – ÖBB 2001

Em 2001, foram instaladas palmilhas para dormentes *Under Sleeper Pad*, na linha principal da ÖBB, numa seção em tangente perto do município de Markersdorf, na Áustria. Nesta passam cerca de 20 MTBT (milhão de toneladas brutas transportadas) / ano. Foram executados testes em quatro seções pré-determinadas, buscando verificar diferenças nos resultados da utilização de palmilhas. Estes dados serão demonstrados no gráfico 01.

A seção 01 e 04 (representada na cor amarela e vermelha respectivamente no gráfico 01) são de dormentes sem USP, a seção 02 (representada na cor azul escuro no gráfico 01) possui 30 cm de lastro abaixo do dormente com USP, a seção 03 (representada na cor azul claro no gráfico 01) possui 20 cm de lastro abaixo do dormente com USP – *Under Sleeper Pad* - .

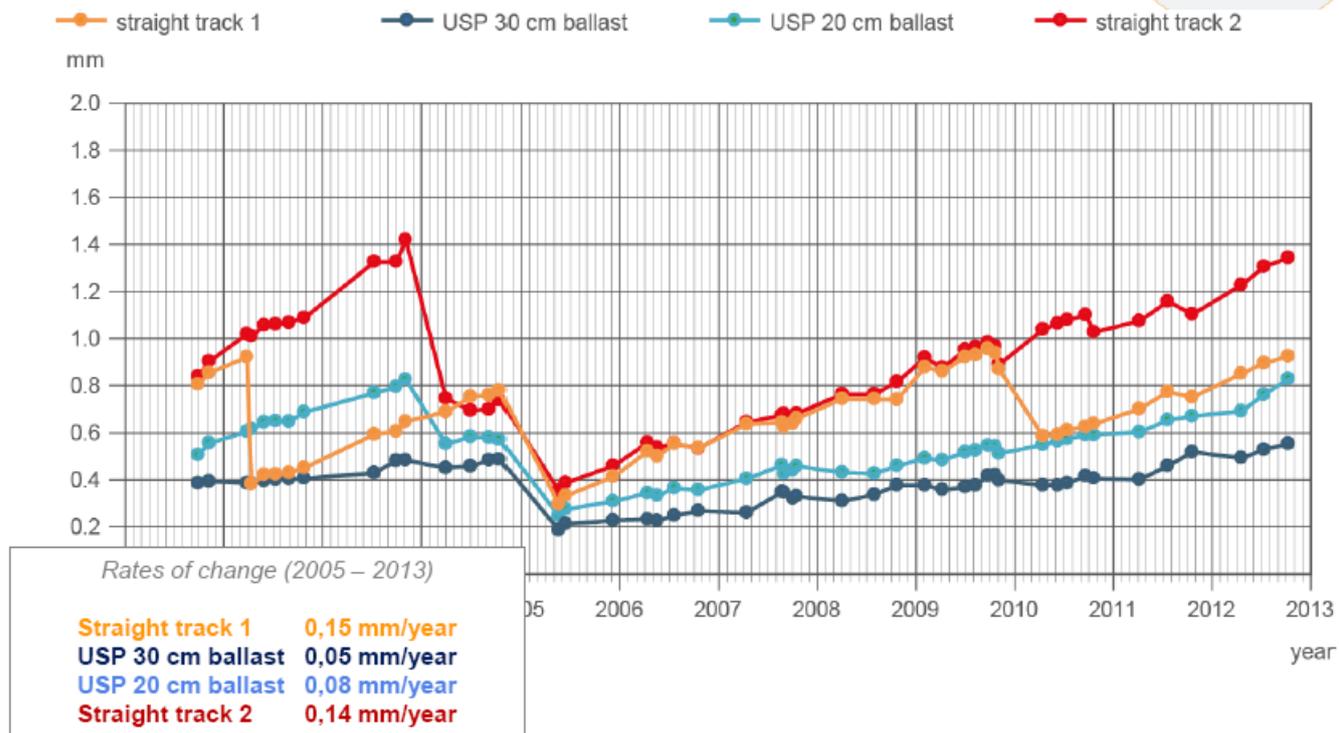


Gráfico 01: Resultados Palmilhas *Under Sleeper Pad Markersdorf* (Getzner, 2017).

É possível verificar que a seção com palmilha e 30cm de lastro, manteve uma degradação 3 vezes mais baixa que as duas seções de referência, ao longo dos anos. E a seção com 20 cm de lastro e palmilha apresentou uma degradação 2 vezes mais baixa que as restantes com 30 cm de lastro. É possível dizer que mesmo com a redução de lastro, o efeito da palmilha mantém-se.

4.2 Estrada de Ferro Carajás – VALE 2015

Em janeiro de 2015, iniciou-se um teste para verificar o ganho das palmilhas *Under Sleeper Pad* em *Heavy Haul* (transporte de altas cargas), instalados na Estrada de Ferro Carajás, entre os km 391.6 e 391.8, perto da Cidade de Açailândia, estado do Maranhão, Brasil. As características desta via são: 40 toneladas/eixo, velocidade de 80 km/h, transporte de minério de ferro e volume de aproximadamente 200 MGT / ano (equivalente a 10 anos na ÖBB). E as medições foram efetuadas até abril de 2017.

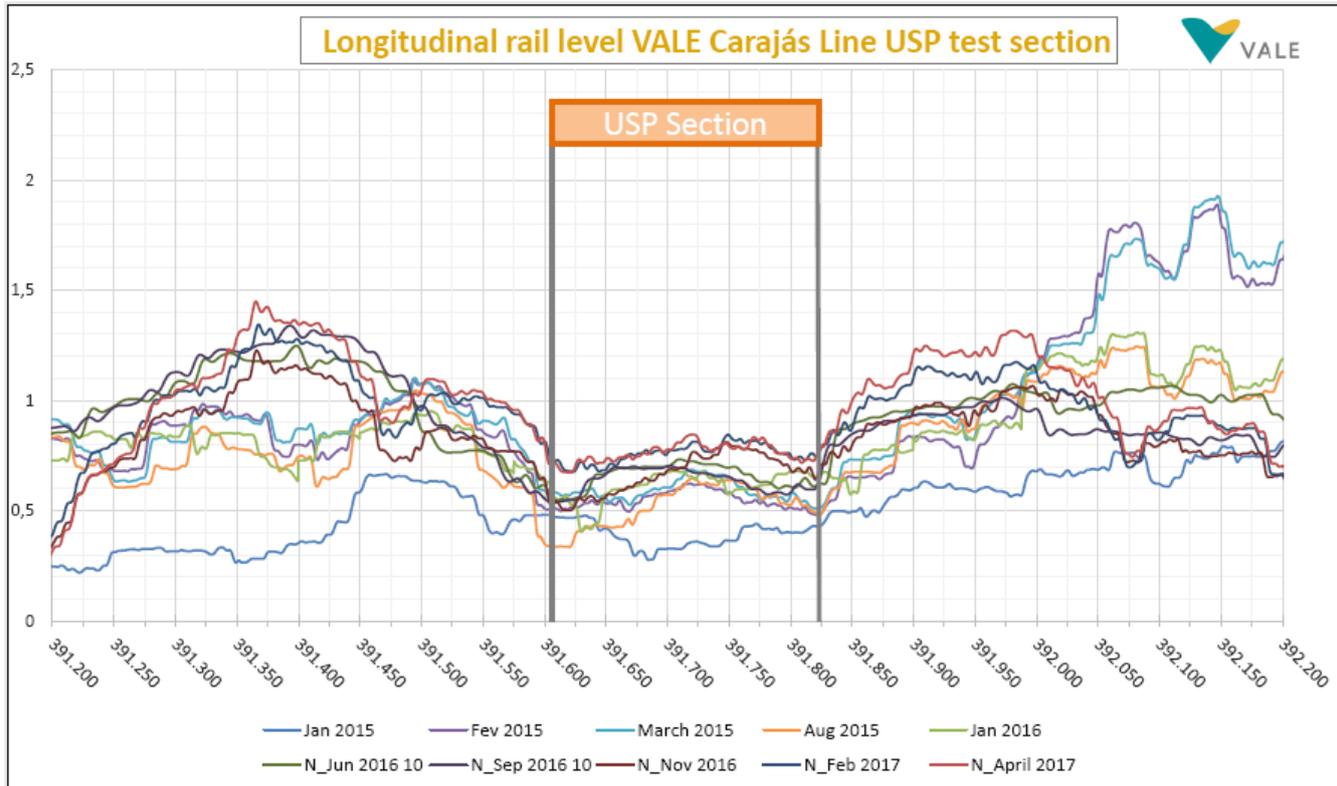


Gráfico 02: Resultados Palmilhas *Under Sleeper Pad* Carajás (Getzner, 2017).

É possível notar nitidamente que no local de aplicação da palmilha, representado no gráfico 02, os danos e necessidades de socaria foram muito menores, fazendo com que as mesmas, juntamente a troca de lastro fossem executadas em frequências menores do que as esperadas. Desta maneira, é provado que o sucesso e efeito da palmilha também são muito relevantes nas ferrovias *Heavy Haul* (transporte de altas cargas).

5. RESULTADOS

Com os estudos aplicados, pode-se verificar que a implementação das palmilhas *Under Sleeper Pad*, geraram as seguintes vantagens: redução de custos e intervalos de manutenção em até 50%, aumento da vida útil dos elementos da superestrutura em pelo menos 25%, aumento da área de contato entre dormente e lastro em mais de 35%, aumento dos intervalos de socaria em até 3 vezes, mitigação dos efeitos dinâmicos dos veículos, aumento da estabilidade lateral, nivelamento da rigidez das zonas de transição e redução das vibrações no sistema. Portanto, a vida útil sistêmica é prolongada, no entanto, é necessário ajustar a densidade e resistência da palmilha a cada uma das condições existentes.

5.1 Área de Contato Entre Dormente e Lastro

Estudos da Universidade Técnica de Graz, mostram que a superfície de contato do lastro na parte inferior dos dormentes de concreto tradicionais é muito pequena, e há tensões pontuais extremamente altas (Getzner, 2017). Com o tempo isso pode levar à destruição do lastro.

Com a instalação das palmilhas *Pad*, as superfícies de contato entre o dormente e o lastro da superestrutura aumentam significativamente. Além disso, o desgaste na superestrutura do lastro é reduzido devido o aumento do número de linhas de força (distribuição das cargas). As forças do tráfego ferroviário são transmitidas com maior uniformidade até o subsolo e a superestrutura permanece estável por um período mais longo de tempo (ÖBB, 2008).

Afirma-se então que a área de contato entre lastro e dormente de concreto sem uso *Pad*, antes da socaria é de até 5% e após socaria é no máximo de 9%. Ou seja, só algumas pedras do lastro estão em contato com o dormente. As cargas dinâmicas são transmitidas pelos pontos de contato entre as rochas e a base do dormente, e por esta área ser muito pequena, a tensão aumenta, provocando degradação das pedras do lastro, até ao aparecimento de pontos brancos, colmatando os vazios e aumentando a rigidez da via.

Devido esta produção de vazios, o dormente submetido a um forte momento de flexão negativo na zona central que leva por vezes à sua ruptura. Este problema aumenta a pressão no interior do lastro, e deve-se em especial devido aos chamados *hanging sleepers* (dormentes em suspensão) representados no gráfico 03, os quais são dormentes que não se encontram em contato direto com o lastro, apresentando vazios sob os mesmos, que com a passagem do trem provocam oscilações (Getzner, 2017).

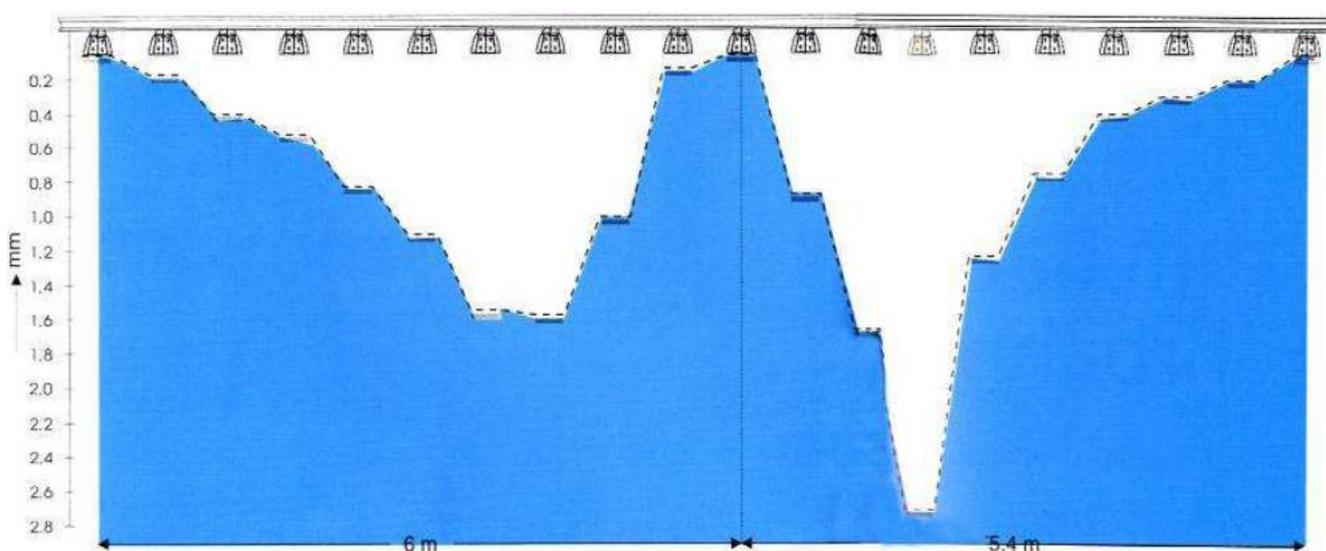


Gráfico 03: Exemplo de Dormentes em Suspensão (Getzner, 2018).

Baseado nas investigações do “Dipl. Ing. Dr. F. Auer” da ÖBB (Operadora Ferroviária da Áustria), afirma-se que a aceleração vertical nas extremidades do dormente provocadas devido aos vazios sob o dormente, são aumentadas num fator de 10.

Em investigações efetuadas pela ÖBB (Operadora Ferroviária da Áustria), cerca de 150 dormentes dos cerca de 200 estudados ao longo de 120 metros de via, não se encontravam em completo contato com o lastro. Isto significa que $\frac{3}{4}$ de todos os dormentes investigados estavam suspensos (ÖBB apud Getzner, 2017). Efeito no Brasil representado na Estrada de Ferro Carajás.

Com a utilização de Palmilhas *Under Sleeper Pad*, dos estudos realizados pela empresa Getzner e seus parceiros é possível verificar que o aumento da área de contato entre o lastro e o dormente, permite diminuir a pressão no interior do mesmo em mais de 80. O efeito dos *hanging sleepers* (dormentes em suspensão) é reduzido porque são evitados os vazios, uma vez que há a introdução de uma camada elástica que permite uma melhor distribuição das cargas, resultando em até 35% de contato entre as partes dependendo das características de cada palmilha. Por fim, pode-se determinar que o aumento da superfície de contato entre o dormente e o lastro gera a diminuição das forças dinâmicas e das vibrações, além da melhor distribuição da carga sobre maior número de dormentes.

5.2 Estabilidade Lateral

A plasticidade das palmilhas é a razão pela qual a camada superior do lastro consegue penetrar na mesma. Este é um fator de segurança muito importante e de elevada relevância, o qual desempenha um papel importante, especialmente em termos de resistência lateral na ferrovia (Iliev apud Getzner, 2017).

5.3 Zonas de Transição

As zonas de transição são classificadas como pontes, túneis e AMVs (Aparelhos de Mudança de Via), os quais possuem grande mudança de rigidez no sistema. A utilização da palmilha *Under Sleeper Pad*, nivela a rigidez, minimiza assentamentos de via e reduz custos de manutenção.

Desde o seu primeiro uso na ÖBB em 2002, 87 AMVs com *Pads* foram instalados na rede até final de 2007. Nestes, o efeito positivo das palmilhas foi confirmado, resultando em melhor geometria de via, maior qualidade e menor manutenção, como resultado das menores tensões na superestrutura e maior elasticidade do sistema (ÖBB, 2008).

5.4 Atenuações das Forças Dinâmicas Aplicadas na Camada De Lastro e Sublastro

Como já citado anteriormente, a utilização da tecnologia *Under Sleeper Pad* protege o lastro das forças dinâmicas aplicadas e contra a brita pouco estável, em constante movimento (assentamentos da via), gerando conseqüentemente o aumento da qualidade da superestrutura, proteção contra vazios que se encontram abaixo do dormente (os dormentes suspensos levam ao aumento dos impactos dinâmicos, e à corrugação do trilho) e a redução das vibrações.

5.5 Distribuição das Forças Dinâmicas em Maior Número de Dormentes

Através do aumento da deflexão do trilho, e da sua linha de deformação, a carga do trem é distribuída por mais dormentes, ou seja, quanto maior for a deflexão do trilho, maior é a sua linha de deformação. A palmilha gera a atenuação das forças dinâmicas sob cada dormente ao longo da linha de deformação do trilho.

6. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Cada país possui sua particularidade, seja em relação às cargas transportadas, resistência do solo ou matéria prima utilizada para construção da infraestrutura e superestrutura ferroviária. Por isso, hoje existe uma grande quantidade de materiais *Pad*, com diversas variações de densidade buscando atender o maior número de projetos e exigências dos clientes.

As palmilhas devem ter sua densidade determinada de acordo com a carga a qual será aplicada, pois devem trabalhar na frequência elástica, para que a solicitação seja amortecida e conseqüentemente não haja fadiga do material (deformação plástica).

A palmilha foi criada, com a intenção de resolver/amenizar problemas encontrados nas vias permanentes, tais como: degradação do lastro, assentamentos em zonas de transição, corrugação do trilho, degradação dos rodeiros devido degradação dos trilhos, degradação das palmilhas de assentamento dos trilhos, quebra de dormentes, e conseqüentemente diminuir os custos existentes com adversidades citadas.

A degradação do lastro ferroviário pode ser causada devido impactos de dormentes, os quais não se encontram em contato direto com o trilho ou devido a esforço lateral da via. Já as zonas de transição são muito problemáticas devido às mudanças de resistências das bases do pavimento, ou seja, a passagem de um subleito de solo que possibilidade grande flexibilidade da via, para pavimento muito rígido em pontes, por exemplo.

A corrugação dos trilhos e degradação das rodas, gera vibrações e ruídos no sistema,

umentando sua instabilidade e movimento lateral. Este problema gera a necessidade de esmerilhamento das duas partes citadas, gerando perda de área de contato e fazendo com que sua qualidade seja diminuída, juntamente à sua vida útil.

A baixa vida útil das palmilhas sob trilhos, constitui maior frequência de troca, aumentando custos, e gerando menos disponibilidade da via. Desta forma, a massa dos dormentes é diminuída devido atrito do trilho com dormente de concreto, estabelecendo-se também troca em menor tempo de utilidade.

Enquanto a quebra de dormentes, acontece devido momentos fletores positivos criados naqueles que não se encontram em contato direto com o lastro, apresentando vazios sob os mesmos. Enquanto a quebra de trilho pode acontecer devido o estado de degradação da via, ou metalurgia por exemplo.

Contudo, com testes verificou-se que a implementação das palmilhas *Under Sleeper Pad*, gera vantagens de redução dos custos de manutenção devido amenizar problemas citados, aumento da vida útil dos elementos da superestrutura e reduzir as vibrações no sistema.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As palmilhas para dormentes preservam a superestrutura, melhoram a qualidade da geometria da via e atenuam os impactos dinâmicos sobre a mesma, tendo várias vantagens como: maior área de contato entre dormente e lastro, eliminação do efeito de dormentes suspensos, distribuição de carga por mais dormentes, atenuação dos impactos dinâmicos e vibrações, permitindo uma melhor distribuição da carga no solo, e diminuindo as tensões que chegam ao subsolo. Consequentemente, diminuindo a necessidade de socaria e correção geométrica em pelo menos 3 vezes, o que leva a um aumento da vida útil da superestrutura de pelo menos mais 25% (Getzner, 2017).

As palmilhas *Under Sleeper Pad*, podem ser plásticas ou elásticas dependendo das características necessidades da via em solicitação. É de extrema importância que seja determinado o material correto para que as palmilhas sejam totalmente eficientes em sua aplicação. Para cada tipo de solicitação existem diferentes densidades, fazendo com que as mesmas tenham os módulos de rigidez alterados. A diferença da rigidez permite também nivelar zonas de transição, colocando palmilhas mais rígidas antes da ponte, e menos rígidas sobre a ponte. Também é possível também fazer nivelamentos de rigidez em AMVs.

Os parâmetros da palmilha *Under Sleeper Pad* devem ser verificados na norma NBR 16649, a qual determina parâmetros de testes que garantem as melhores características ao pavimento ferroviário com utilização *Pad*, durante um longo período de tempo, sem perder suas características.

O objetivo das palmilhas é a diminuição dos custos de manutenção. Com os resultados demonstrados, podem-se afirmar várias vantagens técnicas do produto sendo elas: o aumento da carga por eixo, maior distância entre dormentes, a diminuição do tamanho dos dormentes e a menor quantidade de aço dentro dos dormentes de concreto.

A palmilha favorece o dormente, tanto da perda de massa devido à abrasão entre lastro/dormente, como com cargas excessivas devido aos dormentes suspensos. Ou seja, aumenta a área de contato entre dormente e lastro, faz com que a via tenha maior estabilidade lateral e consequentemente diminui as forças dinâmicas distribuídas no lastro e sublastro, gerando também atenuação dos problemas nas zonas de transição.

Nos últimos 10 anos, os resultados dos testes com palmilhas sob dormentes forneceram *insights* importantes sobre o comportamento das vias férreas sendo o principal que as vias devem ser consideradas como um sistema e não como a soma de seus componentes (ÖBB, 2008).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANTF (2017). *Quebra de Trilho: O risco de acidentes e possibilidades de tragédias*. Disponível em: <<http://www.antf.org.br/wp-content/uploads/2017/08/Quebra-de-Trilho-Risco-de-Acidentes-e-possibilidades-de-trag%C3%A9dias-1.pdf>>. Acesso em: 16 de abr. 2018.
- DNIT (2018). *Histórico*. Disponível em: <<http://www.dnit.gov.br/ferrovias/historico>>. Acesso em: 26 mar. 2018.
- FRANÇA, V (2018). *Malha Ferroviária Produtiva do Brasil é a mesma do Império*. Disponível em: <<http://economia.estadao.com.br/noticias/geral,malha-ferroviaria-produtiva-do-brasil-e-a-mesma-do-imperio,1539689>>. Acesso em: 30 mar. 2018.
- GETZNER (2017). *Elasticidade em Vias de Lastro para Ferrovias de Carga*. Áustria.
- GETZNER (2017). *Palmilhas “Under Sleeper Pad” na EFC – Homologação Técnica Under Sleeper Pad Getzner*. Maranhão.
- GETZNER (2017). *Proposta Técnica: Palmilhas para Dormentes Getzner*. Áustria.
- ILIEV, D (2012).: *Die horizontale Gleislagestabilität des Schotteroberbaus mit konventionellen und elastisch besohnten Schwellen (The horizontal track resistance of ballast superstructure with conventional and elastic padded sleepers)*. Technische Universität München, 2012.
- ILOS (2018). *Boa notícia: frete de contêiner de 40 pés entre Hong Kong e Santos por US\$75... Será boa mesmo?.* Disponível em: <<http://www.ilos.com.br/web/tag/matriz-de-transporte/>>. Acesso em: 31 mar. 2018.
- MARQUES, F. de L (2012). *Estudo do comportamento do lastro frente à utilização de palmilhas sobdormentes (“under sleeper pads”), através de um método mecânico*. Rio de Janeiro.
- ÖBB (2008). *Background Information: Under Sleeper Pads*. Infrastruktur Betrieb AG - Infra.Service / ES OB. Infrastruktur Bau AG – Leiter BI. Áustria.
- SKWAROK, A. C. M. ,VON DER OSTEN, F. B (2018). *Estudo sobre o uso da tecnologia de palmilhas sob dormentes de concreto (Under Sleeper Pad)*. Curitiba, PR.