

3º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

CATEGORIA 3: OPERÇÃO E MANUTENÇÃO DE SISTEMAS DE TRANSPORTE

**APARELHO DE MUDANÇA DE VIA TANGENCIAL: INOVAÇÕES E UTILIZAÇÃO NA
ESTRADA DE FERRO CARAJÁS**

1. INTRODUÇÃO

A Estrada de Ferro Carajás é uma ferrovia pertencente à Vale SA e percorre aproximadamente 900 quilômetros. Situa-se nas regiões norte e nordeste do Brasil, liga a mina de Carajás, no Pará, até o Terminal Portuário de Ponta da Madeira, no Maranhão. A ferrovia atualmente passa por um projeto de expansão e duplicação, onde está sendo construída uma segunda linha de escoamento, assim como também um ramal ferroviário (aproximadamente 100 quilômetros) para acesso à nova jazida de minérios do projeto S11D, (Vale SA, 2016).

Este trabalho visa apresentar os elementos principais da superestrutura ferroviária, com destaque ao Aparelho de Mudança de Via (AMV), especialmente o AMV tangencial. Outro destaque também será dado às placas de apoio (sapatas) dos trilhos, como também a interferência da geometria das mesmas na vida útil e metodologia de esmerilhamento do ativo.

Será abordada a metodologia para escolha do novo modelo de AMV, assim como os trabalhos que vem sendo desenvolvidos para a implantação de um perfil de esmerilhamento específico para este ativo inédito em ferrovias brasileiras.

A **motivação do trabalho** se dá pelo fato do esmerilhamento ser uma tecnologia preventiva altamente difundida para manutenção de trilhos, porém com pouca bibliografia disponível para esmerilhamento de AMV, principalmente o AMV tangencial, devido este ser um ativo novo e ainda pouco difundido entre as ferrovias. As maiores referências deste ativo estão nos Estados Unidos (BNSF e Union Pacific) e Austrália (Fortescue) mesmo assim as literaturas ainda são escassas e retratam trabalhos realizados muitas vezes de forma experimental.

Este **trabalho justifica-se**, em razão do AMV tangencial ter sido selecionado para ser utilizado no projeto de renovação e duplicação da Estrada de Ferro Carajás (EFC). Desta forma é necessário desenvolver uma metodologia de manutenção do ativo, assim como prolongamento da vida útil do mesmo.

Logo, a **relevância do artigo** apresentado consiste da somatória dos motivos apresentados na motivação e justificativa do trabalho, sendo principalmente:

- Contribuir para o enriquecimento da literatura técnica referente ao Aparelho de Mudança de Via tangencial, principalmente o esmerilhamento mecanizado;
- Apresentar os motivos que levaram à escolha pelo AMV tangencial, assim como uma metodologia de manutenção preventiva deste ativo;
- Contribuir para o aumento da vida útil do ativo e conseqüentemente redução dos custos operacionais do referido ativo.

2. ELEMENTOS DA SUPERESTRUTURA

Entende-se por superestrutura ferroviária os elementos: lastro, dormentes, trilhos e acessórios. A figura abaixo apresenta um esquemático da superestrutura ferroviária.

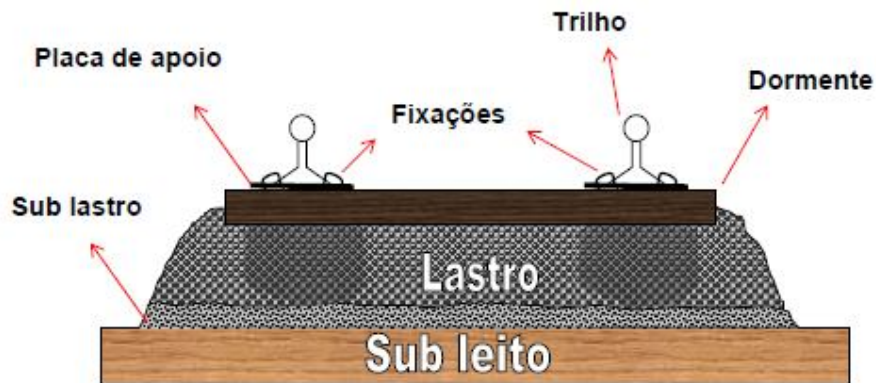


Figura 1 – Elementos da superestrutura

Fonte: PORTO, Telmo Giolito. PTR – 2501 Ferrovias (apostila). USP, 2004.

Segundo VALE SA (2013), a superestrutura ferroviária deve cumprir principalmente as funcionalidades:

- Manter a exata geometria entre os trilhos;
- Permitir que os veículos ferroviários transitem suavemente e com segurança;
- Transmitir as cargas dos veículos para a infraestrutura, sem apresentar deformações permanentes.

Dentre os principais elementos da superestrutura vamos, a princípio, destacar dois: os aparelhos de mudança de via e as placas de apoio de trilhos.

2.1 Aparelhos de Mudança de Via

Também conhecido como AMV, consiste de um conjunto de peças destinadas a possibilitar a passagem dos veículos ferroviários de uma via para outra. As principais partes que integram um AMV são: agulhas, trilhos, jacarés, contratrilhos, dormentes especiais, barras de conjugação, placas de apoio e aparelhos de manobras (maquina de chave ou manivela).

As ferrovias brasileiras basicamente utilizam os padrões definidos pela norma norte-americana AREMA (*American Railway Engineering and Material Association*) e a norma europeia UIC (*Union Internationale des Chemins de fer*). A figura abaixo apresenta um esquemático básico de um AMV.

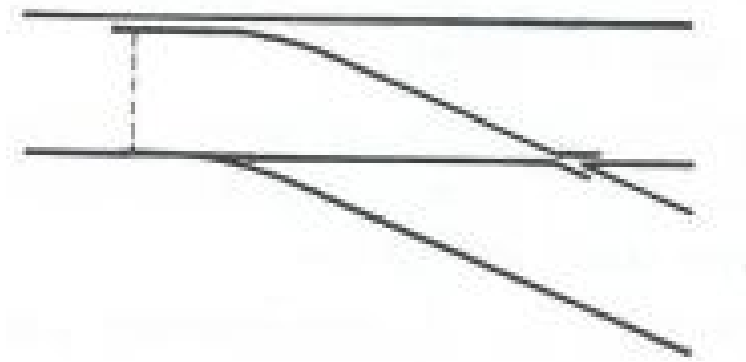


Figura 2 – Esquemático de um AMV

Fonte: Vale SA, 2013: Manual técnico de Via permanente, página 112.

Um AMV pode ser utilizado em linha principal, em desvios ou em pátios. Porém, quando instalado em uma ferrovia com duas ou mais linhas, o AMV que liga as mesmas (sendo paralelas, ou não) é denominado travessão simples. O travessão consiste da combinação de AMV para ligar a linha A até a linha B, ou vice e versa.

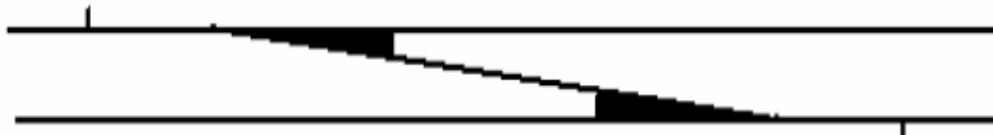


Figura 3 – Esquemático de um travessão simples

Fonte: Vale SA, 2013: Manual técnico de Via permanente, página 114.

A combinação de dois travessões simples, em linhas principais, permitindo ao centro de controle a livre alteração de rotas para qualquer uma das vias constitui-se um travessão universal, também conhecido como TU. Abaixo a figura mostra a representação deste elemento.

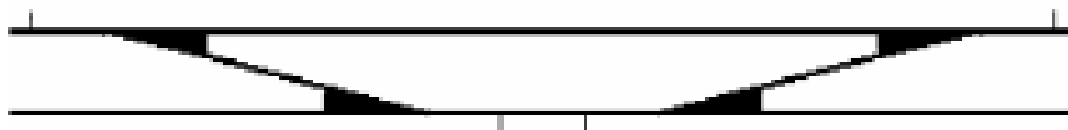


Figura 4 – Esquemático de um travessão universal (TU)

Fonte: Vale SA, 2013: Manual técnico de Via permanente, página 114.

2.1.1 AMV tangencial

AMV tangencial é um aparelho composto por duas agulhas tangenciais, um jacaré de ponta móvel e duas máquinas de chave (uma instalada na agulha e outra instalada no jacaré).

As agulhas tangenciais possuem uma curvatura na agulha de desvio, com raio único em relação ao trilho de ligação. Este modelo de agulha minimiza os esforços laterais durante a passagem dos rodeiros, reduzindo desgaste das agulhas e esforços laterais.

2.2 Placas de apoio

As placas de apoio – “PA” (ou sapatas) são geralmente utilizadas para levar a carga aplicada aos trilhos para os dormentes e oferecem economias comprovadas.

São considerados elementos estruturais que devem ser colocados sob os trilhos cuja razão é proporcionar melhor distribuição de cargas e esforços transversais sob os elementos de fixação, reduzir a pressão sob os dormentes (ou estrutura de suporte) e garantir a retenção lateral dos trilhos. A figura abaixo mostra uma imagem das placas de apoio.



Figura 5 – Placa de apoio de trilhos

Fonte: Suyu, 2015: Placas de apoio de trilhos. Disponível em suyurailfastening.com/products

Uma característica importante das placas de apoio é a inclinação, no caso da EFC a razão é 1:40, isso significa uma ligeira inclinação voltada para o lado interno da bitola da ferrovia, com o objetivo de facilitar a conformação entre o perfil do trilho e o perfil das rodas (haja vista que as rodas são de perfil cônico e também possuem uma inclinação de 1:20). A figura abaixo nos auxilia a entender a inclinação das placas de apoio (Vale SA, 2013).

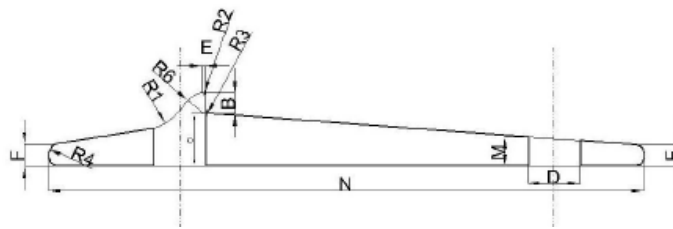


Figura 6 – Inclinação das placas de apoio

Fonte: DNIT, 2015: Placa de apoio de ferro fundido modular. Disponível em dnit.gov.br/ferrovias

Porém, quando falamos de AMV's, há uma transição de inclinação, passando para 1:80 e logo após, para inclinação zero. Ou seja, a placa de apoio é plana, mantendo-se assim o trilho. Este fato faz com as forças de contato sejam intensificadas nos extremos da bitola, acentuando as fadigas de contatos (RCF) e defeitos superficiais concentrados nesta área (bitola).



Figura 7 – Efeito da inclinação das placas de apoio nos trilhos ferroviários

Fonte: Os autores

3. INOVAÇÕES E USO DO AMV TANGENCIAL

Segundo a RTA, Rail Tie Association (2016), os altos custos dispendidos na manutenção de AMV tem forçado ferrovias e fabricantes a buscarem alternativas mais viáveis. Tais avanços vem gerando redesenhos na geometria dos AMV em prol de melhorar a dinâmica deste ativo na interação com os veículos ferroviários. Um dos avanços conquistados com estes estudos foram os AMV tangenciais, ativos que possuem significativas reduções nos ângulos de entrada, tanto nos jacarés quanto nas agulhas. Os benefícios vindouros destes avanços são:

- Geometria tangencial, com reduções nos ângulos de entrada;
- Reduções nas cargas dinâmicas (provindas da interação AMV x veículos ferroviários);
- Aumento da velocidade dos veículos durante a passagem no AMV;
- Manutenção reduzida, devido às menores cargas e maior alinhamento entre as peças do AMV;

Segundo Oswald (2016?), as reduções das forças dinâmicas no AMV tangencial em relação ao AMV tradicional (reta secante) são consideráveis e podem ser apresentadas nos gráficos abaixo.

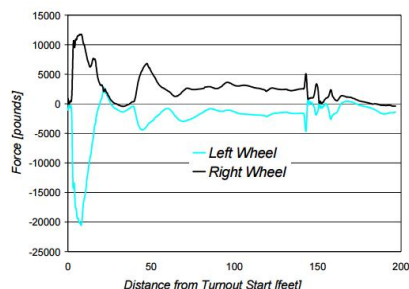


Figura 8 – Forças laterais em região de AMV tradicional (padrão AREMA)

Fonte: Oswald (2016?): Turnout Geometry Optimization with Dynamic Simulation of Track and Vehicle.

Disponível em: citeseerx.ist.psu.edu.

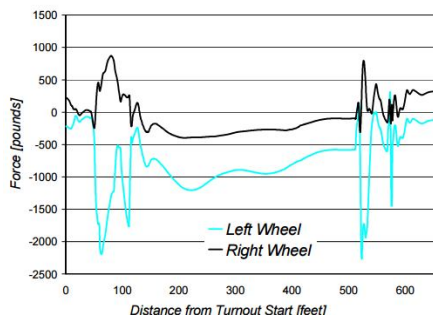


Figura 9 – Forças laterais em região de AMV tradicional (padrão AREMA)

Fonte: Oswald (2016?): Turnout Geometry Optimization with Dynamic Simulation of Track and Vehicle.

Disponível em: citeseerx.ist.psu.edu.

Segundo Koehler (2012), a utilização de AMV tangencial além de permitir a redução nas forças dinâmicas também poderiam romper a restrição de velocidade quando os trens passassem no sentido reverso do AMV. No AMV tradicional (AREMA), esta velocidade em reversa é limitada a 58 Km/h. Já o AMV tangencial, devido à sua geometria e alinhamento, permite a transposição de trens na velocidade admissível da Estrada de Ferro Carajás, no caso, 80 Km/h.

A figura a seguir mostra um gráfico com a velocidade média de tráfego dos trens na Estrada de Ferro Carajás. A linha vermelha mostra a velocidade do trem carregado, a linha verde a velocidade do trem vazio, já a linha azul mostra o limite de velocidade de transposição do AMV AREMA (58 Km/h). Percebe-se que na grande maioria das situações o trem carregado consegue alcançar velocidades maiores que 58 km/h, porém são limitados pela restrição de velocidade no AMV em reverso. Desta forma, o AMV tangencial apresenta forte potencial de ganho de produtividade, assim como eficiência energética.

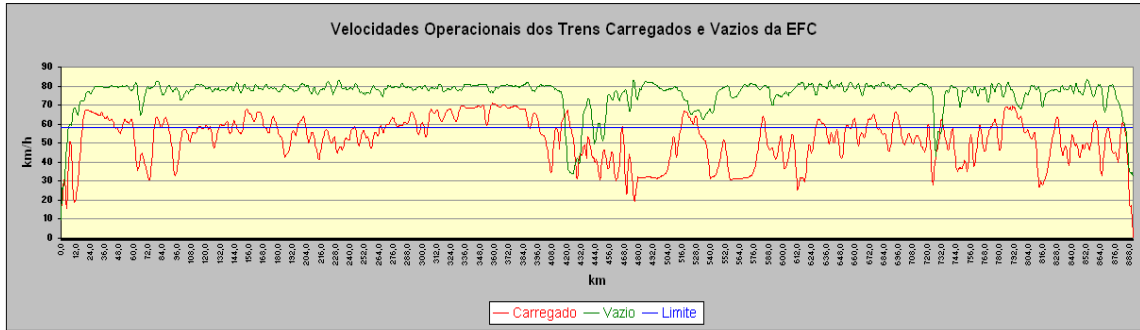


Figura 10 – Gráfico de velocidade de trens na Estrada de Ferro Carajás

Fonte: Koehler, 2012: Análise do atual projeto de AMV do programa de duplicação da EFC

Outro aspecto relevante para análise é o custo operacional do AMV tangencial, definido abaixo como “*advanced*”. Segundo o TTCI – Transportation Technology Center Inc (2008) à medida que as ferrovias aumentam o volume transportado, a disponibilidade de janelas de manutenção ficam mais escassas e requer maior otimização do processo.

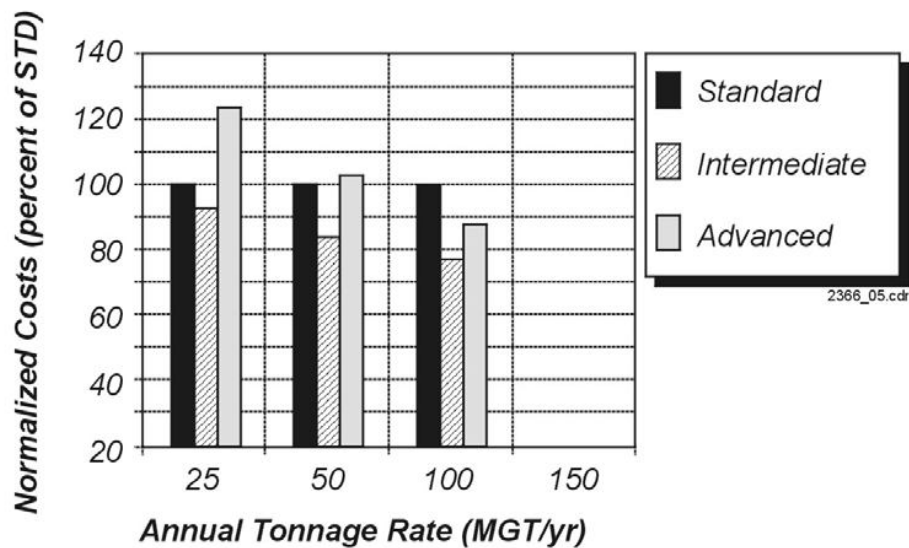


Figura 11 – Variação de custo Operacional entre diferentes tipos de AMV

Fonte: GOD, 2009: Estudo de LCC para AMV JPM e JPF da EFC

Estudos realizados por GOD (2009) mostraram que o AMV tangencial apresenta mais um benefício em relação ao AREMA, o custo operacional do ativo. Este custo considera aquisição

e manutenção do ativo. Estudos realizados para a Estrada de Ferro Carajás apontaram uma redução de 21% nos custos, quando comparado ao AMV AREMA em linha dupla, com dormentes de concreto.

4. ESMERILHAMENTO DE TRILHOS E AMV

4.1 Esmerilhamento de trilhos

Esta tecnologia vem se desenvolvendo há várias décadas e no princípio, o objetivo principal era a remoção de irregularidades longitudinais, como: corrugações e sobressalto em soldas e junções, com a finalidade de ajustar e conformar o perfil dos trilhos.

SROBA e RONEY (2009) afirmam que com o passar das décadas, o esmerilhamento de trilhos tornou-se uma política estratégica de manutenção preventiva em ordem de controlar o RCF (*Rolling Contact Fatigue* – fadiga por contato). A remoção destas fadigas tem objetivo retardar a propagação de trincas e conseqüentemente aumentar a vida útil dos trilhos, desde que este esmerilhamento seja aplicado em intervalos regulares e controlados. A figura abaixo nos ajuda a entender os efeitos do esmerilhamento.

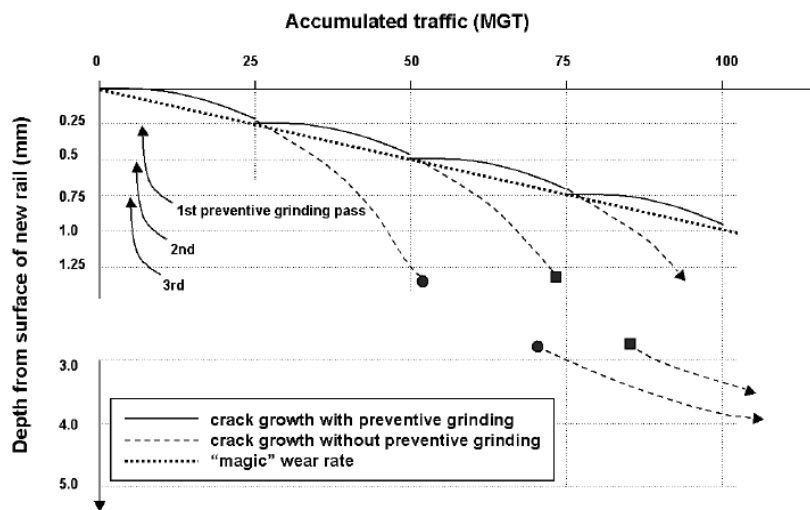


Figura 12 – Curva de propagação de trincas

Fonte: Sroba e Roney (2009): Rail Grinding best practices, página 48.

Com o passar do tempo e as melhorias nas tecnologias dos equipamentos, assim como melhorias nas estratégias de atuação fizeram do esmerilhamento uma tecnologia de redução de trincas, aumento na vida útil dos trilhos e também a otimização das forças verticais aplicadas no contato entre a roda e o trilho.

A figura abaixo mostra um equipamento esmerilhador de trilhos, utilizado na EFC para esmerilhamento de AMV:



Figura 13 – Esmerilhadora de trilhos

Fonte: Loram (2009): Esmerilhadora de Trilhos série L

4.2 Esmerilhamento de AMV

Um ponto importante merece ser lembrado, a questão das placas de inclinação que são montadas sob os trilhos. Mencionamos que na linha principal, tangentes e curvas, existe uma placa com inclinação 1:40 e nos aparelhos de mudança de via, as placas de apoio variam entre inclinação 1:80 e sem inclinação. Estes fatores fazem com que as fadigas concentradas no lado de bitola sejam intensificadas em AMV e geralmente reduzem a vida útil deste ativo. A figura abaixo mostra um caso de defeito superficial em consequência da fadiga concentrada no lado de bitola.



Figura 14 – Fadiga concentrada na bitola do AMV

Fonte: Os autores

Conforme mencionamos anteriormente, o esmerilhamento mecanizado de AMV deve atender principalmente as seguintes premissas:

- Reduzir a tensão de contato entre as rodas e o trilho;
- Remover os defeitos superficiais (RCF – fadigas de contato);
- Remover possíveis desalinhamentos ou imperfeições comuns em regiões de soldas (muito presentes em AMV).

Atendendo aos requisitos listados acima, obteremos o resultado principal do esmerilhamento que é o aumento da vida útil dos AMV. O esmerilhamento de AMV deve ser planejado em prol de atender aos componentes mais críticos, podendo ser ordenados da seguinte forma:

1) AMV recentemente instalados – para manter o ciclo preventivo, evitando assim o surgimento de RCF;

2) AMV com RCF em condição inicial (leve) – resgatando a condição de superfície sem defeito superficial;

3) AMV com RCF em condição moderada, pesada ou severa – postergando a substituição do ativo.

O equipamento esmerilhador de AMV possui uma alcance de atuação de +60° (na região da bitola) até -20° (na região do campo), isso significa que a capacidade de atuação do equipamento é maior que as esmerilhadoras de linha corrida. Isso permite ao equipamento uma maior capacidade de remoção dos defeitos mais comuns em AMV, no caso, defeitos em bitola. Outra característica do equipamento esmerilhador de AMV é a capacidade de posicionamento individual dos motores de esmerilhamento. Esse fator permite ao operador maior possibilidade de configuração da máquina, permitindo cobrir maior quantidade de angulações e conseqüentemente, atuação em praticamente todos os tipos de defeitos.

4.3 Processo de esmerilhamento do AMV

O esmerilhamento de AMV deve focar toda a extensão do componente. O operador deve verificar em qual ponto a esmerilhadora de linha paralisou suas atividades e então iniciar o esmerilhamento neste ponto, em prol de conformar as atividades (esmerilhamento de linha / esmerilhamento de AMV). Não se recomenda deixar nenhum trecho sem ser esmerilhado.

Lembrando que este artigo trata de AMV tangencial, ativo este que possui Jacaré de Ponta móvel (JPM), este tipo de jacaré possui cota de salvaguarda que permite a passagem do equipamento esmerilhador. Logo, é possível realizar também o esmerilhamento mecanizado na região do jacaré. No caso de utilização de jacarés AREMA (ponta fixa) recomenda-se fazer

as medições das cotas de salvaguarda e compara-las com as especificações do equipamento em detrimento de conhecer se é possível (ou não) o esmerilhamento na região do jacaré.

Quanto ao desenho das agulhas podemos separá-las em dois grupos:

- Agulhas AREMA: também conhecidas como retas secantes. Neste modelo as forças laterais são maiores e o desgaste na região de bitola também é elevado. Neste caso, o esmerilhamento pode ser recomendado;

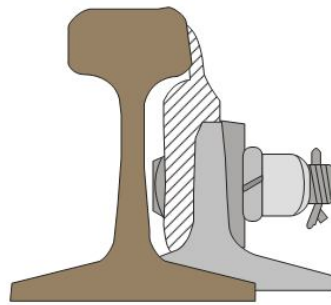


Figura 15 – Agulha padrão AREMA (reta-secante)

Fonte: MRS e CHVidon (2012), AMV Conceitos básicos e melhores práticas

- Agulhas UIC: também conhecidas como agulhas tangenciais. Neste modelo, as agulhas possuem uma curvatura progressiva com o intuito de reduzir as forças laterais e auxiliar em uma curvatura “suave” dos veículos ferroviários. Este modelo de agulha pode ser esmerilhado, mas recomenda-se inspeção prévia, haja vista que os desgastes laterais (em bitola) são menos acentuados;

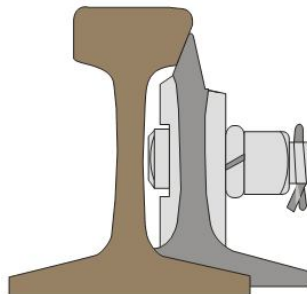


Figura 16 – Agulha padrão AREMA (reta-secante)

Fonte: MRS e CHVidon (2012), AMV Conceitos básicos e melhores práticas

As agulhas também podem ser classificadas quanto ao tipo de ponta, as principais são:

- Ponta de agulha convencional: Mais utilizada na EFC. Este modelo de ponta de agulha é mais exposta às tensões. Não existe nenhum tipo de tratamento especial (usinagem) nos trilhos de encosto, fator este que faz com que as forças laterais sejam intensificadas e o desgaste lateral seja elevado. Este modelo de agulha tem esmerilhamento recomendado, porém deve-se atentar quanto aos trilhos de encosto, o esmerilhamento dos mesmos não pode ser excessivo a ponto de deixar as pontas das agulhas expostas, tal fator fragilizaria estas pontas aumentando o risco de fraturas nas mesmas;
- Pontas de agulha protegidas (SAMSON): Neste modelo, os trilhos de encosto são usinados em prol de acomodarem a ponta da agulha. Esta usinagem tem por objetivo proteger a ponta, reduzir os esforços laterais e aumentar a vida útil dos ativos. Como a ponta da agulha já está protegida, o esmerilhamento da mesma pode ser evitado.

4.4 Perfis de esmerilhamento

Na EFC, os AMV estão localizados em tangentes e locais planos. Este tipo de geometria permite ao trem um deslocamento centrado, o que faz com que este tipo de perfil de esmerilhamento seja o mais recomendado. Para este padrão, denominamos esmerilhamento CPC (*Contact Point Center*), ou esmerilhamento com ponto de contato centralizado. A figura abaixo nos ajuda a entender o conceito.

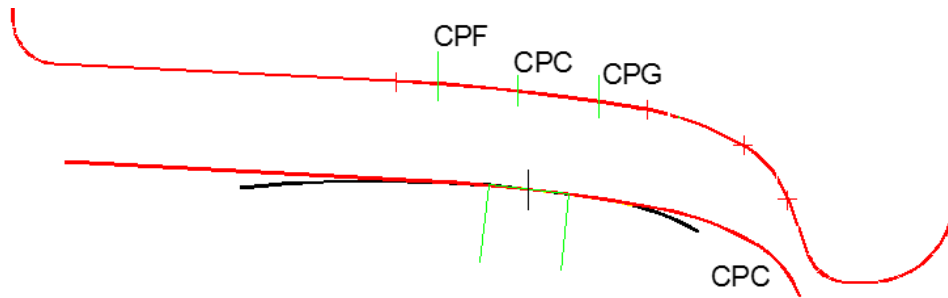


Figura 17 – Perfis de esmerilhamento, perfil CPC

Fonte: Os autores

Como podemos ver na figura acima, a conformação do esmerilhamento está se dando na parte central do trilho, isso nos indicará que este será o ponto onde as rodas dos veículos estarão tocando, e conseqüentemente, será o ponto onde a distribuição de cargas dar-se-á.

Vale lembrar que o esmerilhamento deve compensar o fator das chapas de apoio dos trilhos terem inclinação 0 (zero), conforme apresentado anteriormente. Este fator faz com que as rodas tendenciem a tocar o lado de bitola dos trilhos. Desta forma, uma atenção extra deve ser dada a esta região.

Recomenda-se um passe extra de esmerilhamento em prol de aliviar o possível contato nesta área. Teremos então como resultado, um esmerilhamento denominado conformal assimétrico, onde o perfil CPC será aplicado ao trilho e também será feito o passe de alívio de bitola. Por fim, o esmerilhamento deve seguir as recomendações que podem ser vistas na próxima figura.



Figura 18 – Perfil CPC, com alívio de bitola

Fonte: Os autores

Na figura 18 podemos ver o resultado do esmerilhamento deixado na região do AMV. O perfil aplicado foi o CPC, porém na região de bitola (25° a 60°) foi iniciado um passe de alívio. Este alívio deve ser na ordem de 0,3mm e pode ser verificado com a ajuda de um *caliper (filler gage)*, ou então através de perfil próprio já contemplando este alívio (*star gage*).

Os testes estão em fase de acompanhamento e os resultados são promissores. Após a finalização destes testes e validação dos mesmos, a confecção destes perfis será executada e os mesmos estarão à disposição da equipe responsável pelo esmerilhamento.

5. RESULTADOS

Os testes iniciais foram realizados na região de Açailândia (MA) e os resultados mostram-se promissores. Com o projeto de duplicação, que está em andamento na EFC, existe a previsão que toda a linha principal seja composta por Travessões Universais (TU) e consequentemente, compostos por AMV tangenciais. Desta forma, após a validação dos testes, o perfil recomendado poderá ser replicado para toda a ferrovia.

Na EFC, o esmerilhamento de AMV tem ciclos definido por estratégia de 40 milhões de toneladas brutas transportadas (MTBT). Na região de AMV, este ciclo representa 90 a 120 dias. Após a implantação do perfil de teste, foram feitas inspeções mensais no AMV. A foto a seguir nos mostra a situação dos trilhos 60 dias após os mesmos serem esmerilhados:



Figura 19 – Condição do trilho 60 dias depois de esmerilhado

Fonte: Os autores

A figura 19 nos ajuda a visualizar que a banda de rolagem (contato entre a roda e o trilho) está localizada na parte central dos trilhos, isso nos garante que o perfil CPC fora atingido. Percebe-se também que a parte interna dos trilhos (bitola) está preservada e com nenhuma (ou poucas) marcas de contato. Isso nos faz concluir que também o alívio de bitola almejado

fora obtido com sucesso. Desta forma, podemos assegurar que o esmerilhamento sendo executado no intervalo recomendado (40 MTBT) e também no perfil desenvolvido, conseguirá prolongar a vida útil do ativo. Sendo assim, o mesmo não será substituído precocemente devido à fadiga de contato, mas sim pelo desgaste natural e de esmerilhamento do componente.

A validação final dos testes nos mostra que o esmerilhamento pode ser executado completamente pelo equipamento disponível e eliminará a utilização de equipes de esmerilhamento manual de agulhas e jacarés.



Figura 20 – Redução de desgaste na redução de bitola

Fonte: Os autores

A figura 20 mostra, também, uma região de desgaste excessivo na região interna do trilho (bitola). A figura à esquerda mostra este desgaste, assim como uma trinca decorrente do mesmo. Caso não fosse executado o esmerilhamento, certamente a região da trinca desprenderia o material, causando a necessidade de troca do ativo. A figura à direita apresenta a mesma região 40MTBT após esmerilhado. Percebe-se que a área de bitola está preservada, mostrando que o contato não está mais presente nesta região e a região da trinca não mais progrediu, evitando-se assim a substituição desta peça do AMV.

6. CONCLUSÕES

No decorrer deste artigo pudemos descrever os motivos que levaram à escolha do AMV tangencial, como: redução de esforços, facilidade de manutenção, velocidade de tráfego e custos operacionais.

O esmerilhamento mecanizado de AMV, assim como o esmerilhamento de trilhos, tem como objetivo implementar na superfície do AMV um perfil ideal, de forma que seja reduzida a tensão de contato entre os trilhos do AMV e as rodas. Visa também, remover os defeitos superficiais provindos de RCF (*Rolling Contact Fatigue* – fadiga por contato), assim como descontinuidades localizadas em regiões de soldas, comuns durante a instalação de AMV.

A Estrada de Ferro Carajás (EFC) é a ferrovia pioneira no Brasil, a implementar esmerilhamento mecanizado em AMV como política preventiva de manutenção. Referências internacionais nos mostram que esta prática pode auxiliar no aumento da vida útil deste ativo, além de reduzir a necessidade de manutenção manual.

O esmerilhamento de AMV é uma ferramenta diferenciada na política de gestão do contato roda-trilho. O AMV está entre os componentes mais caros da superestrutura ferroviária, além de que, vale ressaltar que o AMV é a interligação entre as linhas da ferrovia e a manutenção deste ativo, na maioria dos casos, implica na paralização da circulação de trens.

Desta forma, a manutenção preventiva do ativo, aliada ao aumento da vida útil do mesmo, implica em maior disponibilidade da ferrovia para a operação. Logo, podemos concluir que os objetivos apresentados pelo projeto foram obtidos com sucesso.

7. AGRADECIMENTOS

Os autores deste artigo agradecem a colaboração e participação das equipes de operação dos equipamentos esmerilhadores de trilhos da EFC, tanto a equipe de esmerilhamento de linha assim como a equipe de esmerilhamento de AMV. Um agradecimento especial é dado aos principais contribuidores para este trabalho: José Ribamar Santos (especialista em trilhos na EFC) e Ezequias Carneiro (especialista em AMV na EFC).

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] NEW SOUTH WALES: TRANSPORT DEPARTMENT, Revised plans for tangential turnouts and in-bearer arrangements. Australian Standard Association. Julho de 2015.
- [2] VAE VOEST ALPINE, Heavy-haul turnout systems. Disponível em www.voestalpine.com/vae. Acesso em 26 de setembro de 2015.
- [3] IHHA INTERNATIONAL HEAVY HAUL ASSOCIATION, Guidelines to best practices for heavy haul railway operations: Management of the wheel and rail interface. Simons Boardman Books INC. 2015.
- [4] U. SPANGENBERG, R. FRÖHLING, Mitigating severe side wear on 1:20 tangential turnouts. IHHA 2015. Junho de 2015;
- [5] NRC NATIONAL RAILWAY CONCIL, Rail grinding specification for switch grinding: Vale EFVM and EFC. Acervo Vale. Novembro de 2011.
- [6] DNIT DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA E TRANSPORTES. Procedimento para inspeção de material: placa de apoio de ferro fundido nodular. PIM-005 DNIT. 2015.

- [7] W. SCHOECH. Controlling RCF in switches and crossings. Speno International SA. Maio de 2013.
- [8] VALE SA. Projeto S11D. Disponível em: <http://www.vale.com/s11d>. Acesso em 04 de julho de 2016.
- [9] VALE SA. Manual técnico de Via permanente. Acervo técnico Vale SA. 2013.
- [10] PORTO, Telmo Giolito. PTR – 2501 Ferrovias (apostila). USP, 2004.
- [11]: SUYU. Placas de apoio de trilhos. Disponível em suyurailfastening.com/products. 2015
- [12] OSWALD. Turnout Geometry Optimization with Dynamic Simulation of Track and Vehicle. Disponível em: citeseerx.ist.psu.edu. 2016?
- [13] KOEHLER, Ricardo. Análise do atual projetos de AMV do programa de duplicação da EFC. Acervo técnico Vale SA. 2012
- [14] GOD, Diogo. Estudo de LCC para AMV JPM e JPF da EFC. Acervo técnico Vale SA. 2009.
- [15] SROBA, Peter e RONEY, Mikey. Rail Grinding best practices. 2009.
- [16] LORAM Maintenance of Way Inc. Esmerilhadora de Trilhos série L. Acervo técnico Vale SA. 2009.
- [17] MRS Logística SA e CHVidon Ltda. AMV Conceitos básicos e melhores práticas. 2012.