

ANAIS 2020



INSTITUTO FEDERAL
Sudeste de Minas Gerais

Campus
Santos Dumont



I CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA FERROVIÁRIA - CONEFER

Inovação de norte a sul

27 a 29 de outubro de 2020

Anais do I Congresso Nacional de Engenharia Ferroviária –
Inovação de Norte a Sul, Joinville-SC, 2020
58 p.

ISBN nº 978-65-00-12068-4

1. Engenharia 2. Ferroviária 3. Metroviária 4. Logística

Realização

Universidade Federal do Pará, Instituto de Tecnologia, Faculdade de Engenharia Ferroviária e Logística
Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais, Campus Santos Dumont, Faculdade de Engenharia Ferroviária e Metroviária
Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Joinville, Faculdade de Engenharia Ferroviária e Metroviária

Comitê Organizador

Universidade Federal do Pará – Instituto de Tecnologia

Paulo Cordeiro Machado
Gustavo Gomes Prestes
Christian Raffael Baena de Lemos
Janaina Raiane Silva e Silva

Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais – Campus Santos Dumont

Philippe Pacheco
Anny Carolinne de Paula da Costa
Felipe Ramon de Araújo Ribeiro
Rafael Elias de Sá

Universidade Federal de Santa Catarina – Campus Joinville

Yesid Ernesto Asaff Mendoza
Larissa Gabrieli Almeida
Karolaine Americo da Silva
Iara Cosmo da Rocha

Comitê Científico

Organizadores:

Prof. Dr. Yesid Ernesto Asaff Mendoza
Presidente do Comitê Organizador
yesid.a@ufsc.br

Prof. Dr. Paulo Cordeiro Machado
Coordenador do Comitê Técnico – Editor
paulomachado@ufpa.br

Prof. Me. Philippe Pacheco
Coordenador do Comitê Científico
philipe.pacheco@ifsudestemg.edu.br

Revisores:

Universidade Federal do Pará – Instituto de Tecnologia

Prof.^a Dra. Christiane Lima Barbosa
Prof.^a Dra. Nivea Gabriela Benevides de Albuquerque

Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais – Campus Santos Dumont

Prof. Dr. Fernando Paulo Caneschi
Prof. Me. Carlos Artur Alevato Leal

Universidade Federal de Santa Catarina – Campus Joinville

Prof. Dr. Thiago Antonio Fiorentin
Prof. Dr. Yader Afonso Guerrero Perez



I CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA FERROVIÁRIA

27 de outubro a 29 de outubro de 2020

Universidade Federal do Pará, Universidade Federal de Santa Catarina e Instituto

Federal do Sudeste de Minas Gerais

Apresentação

O primeiro Congresso Nacional de Engenharia Ferroviária realizado nos dias 27 a 29 de outubro de 2020 no formato on-line e aberto para a comunidade acadêmica e empresarial. A organização foi realizada pela interação de professores e alunos da UFSC, UFPA e IF Sudeste MG. O I CONEFER contou com a participação de profissionais de referência do setor ferroviário: pesquisadores nacionais e internacionais, engenheiros e alunos de graduação; publicando 10 palestras, 1 mesa-redonda e 14 sessões técnicas. Os resumos expandidos das sessões técnicas estão disponibilizados neste documento.

Palestras

- Railway Engineering of Shinkansen - Soichiro Manabe;
- Mudança radical e o futuro nas ferrovias - Marcelo Blumenfeld;
- Segurança em ferrovias pela Sinalização Ferroviária - Marco Aurélio Castro;
- Academic and industrial synergy for the development of the railway sector - Clive Roberts;
- Transporte urbano sobre trilhos e tecnologias - João Gouveia;
- Cátedra Roda-Trilho: Estrutura e Resultados - Roberto Martins de Souza;
- PTC e Futuro dos Sistemas de Train Control - Daniel Fucci Lemos;
- Contribuições do LIM-USP em estudos para infraestrutura ferroviária brasileira - Liedi Bernucci;
- Acoustic Domain Technology - Ece Idil Kasap;
- Considerações sobre parcerias para a Pesquisa Ferroviária no Brasil - Auteliano A. dos Santos Junior.

Mesa-Redonda

“O papel do engenheiro ferroviário no desenvolvimento do país” - André Diniz (IFSudeste MG), Simone Souza (MRS), Nayara Siementkowski (RUMO), Luiz C. Almeida (ARUP), Samuel Seidel (EBATA), Pietro Galvond (MRS).



I CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA FERROVIÁRIA

27 de outubro a 29 de outubro de 2020

Universidade Federal do Pará, Universidade Federal de Santa Catarina e Instituto

Federal do Sudeste de Minas Gerais

Sessões Técnicas*

PROPOSTA DE UM NOVO ÍNDICE ACIDENTES FERROVIÁRIOS CONFORME AS CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO	5
ANÁLISE ESTRUTURAL DE UM VAGÃO GRANELEIRO EM COMPÓSITOS.....	9
ANÁLISE NUMÉRICA DO ÂNGULO DE INJEÇÃO DE COMBUSTÍVEL NOS PARÂMETROS DE OPERAÇÃO DE UM MOTOR A DIESEL TIPO FERROVIÁRIO	15
UMA ANÁLISE DO CENÁRIO DO TRANSPORTE FERROVIÁRIO DE CARGAS.....	19
INFLUÊNCIA DO TIPO DE VÁLVULA DE CONTROLE NO TEMPO DE FRENAGEM DE VAGÕES ..	22
DESGASTE DE AÇOS AUSTENÍTICOS APLICADOS EM JACARÉ DE PONTA FIXA.....	25
EFEITO DO RESFRIAMENTO CONTROLADO NA MICROESTRUTURA E PROPRIEDADE MECÂNICA DE SOLDA ELÉTRICA EM TRILHO FERROVIÁRIO	30
MÉTODO MLE PARA GERAÇÃO DE CURVAS DE FADIGA EM PONTES FERROVIÁRIAS	34
ESTUDO DE AVALIAÇÃO DA DISPONIBILIDADE DE ELEMENTOS DA VIA PERMANENTE DA ESTRADA DE FERRO CARAJÁS	38
DESCARTE IRREGULAR DE RESÍDUOS SÓLIDOS NA LINHA FÉRREA EM UM TRECHO URBANO DA CIDADE DE SANTOS DUMONT, MINAS GERAIS.....	41
EFICIÊNCIA LOGÍSTICA E CRESCIMENTO ECONÔMICO – UMA ABORDAGEM QUANTITATIVA	45
ESTUDO DO DESGASTE DOS INSERTOS UTILIZADOS NA FRESAGEM DE RODAS FERROVIÁRIAS	48
IMPLANTAÇÃO DA GESTÃO DE ATRITO NA ESTRADA DE FERRO CARAJÁS (EFC).....	51
EVOLUÇÃO DAS RODAS FERROVIÁRIAS FORJADAS NO TRANSPORTE HEAVY HAUL.....	53

* AVISO LEGAL – Os resumos expandidos dos Anais do I CONEFER são de responsabilidade de cada autor. O Comitê Científico não se responsabiliza pelas informações apresentadas.



PROPOSTA DE UM NOVO ÍNDICE ACIDENTES FERROVIÁRIOS CONFORME AS CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO

João Pedro BUZZI^{1*}; Yesid ASAFF¹

1. Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico de Joinville
**joaopbuzzi@gmail.com*

INTRODUÇÃO

É indispensável o investimento e fomento do Estado no setor ferroviário brasileiro. Diante disso, a política de concessões e construções de novos trechos, como a Ferrovia Norte-Sul, traz a tendência de um progresso no setor. Porém, junto com o desenvolvimento e benefícios, apresentam-se fatores críticos na operação, especificamente os fatores ligados a segurança e de acidentes.

De acordo com a norma NBR 15868:2010 da Associação Brasileira De Normas Técnicas (ABNT), o acidente ferroviário é a ocorrência que, com a participação direta do trem ou veículo ferroviário, provoca danos a pessoas, a veículos, a instalações, a obras-de-arte, à via permanente, ao meio ambiente e, desde que ocorra paralisação do tráfego, a animais.

Com isto, a Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT), pactua metas de segurança a serem desempenhadas pelas empresas detentoras das concessões. A unidade do indicador requerida pela Agência é dada em acidentes por Milhão de Trem Quilômetro, que engloba, além do número de acidentes, a quantidade de composições formadas e a extensão da via, representado por:

$$\text{índice de segurança} = \frac{\text{acidentes}}{\text{trens} \cdot \text{quilômetro}} 10^6 \quad (1)$$

Contudo, podem existir outros fatores que indicam o quão uma empresa concessionária pode ter sido responsável, ou não, pelo número de acidentes no trecho outorgado, como a periculosidade da carga transportada, a quantidade de passagens em nível, transporte de passageiros na linha, perímetro do entorno da via permanente, entre outros. Portanto, os índices de acidentalidade, praticados atualmente, podem não representar de maneira fiel a realidade dos dados o quanto se sabe.

OBJETIVOS

É proposto neste trabalho um novo índice de segurança, a fim de retratar a real situação de segurança em que se encontram as concessionárias ferroviárias baseado nas condições de traçado, via e operação, e, para nortear a resolução do mesmo, toma-se objetivos específicos, dentre eles:

- Identificar e avaliar os fatores a serem incluídos na proposta de índice de segurança;
- Propor um novo índice de segurança;



METODOLOGIA

Em uma primeira fase serão definidos e discutidos todos os fatores que podem influenciar ao nível de complexidade de operação do sistema ferroviário em uma concessão. Diante disto, estes fatores devem ser discriminados a fim de serem passíveis de relativização, ou seja, para permitir sua inserção no índice de segurança. Entre os fatores estudados se encontram: transporte, ou não de produtos perigosos; transporte, ou não de passageiros; via permanente em perímetro urbano ou rural e número de passagens nível.

Com os parâmetros obtidos de diferentes referências, se faz necessário normalizá-los a uma mesma base matemática, a fim de que tenham a intervenção adequada no índice de acidentes posteriormente proposto. Junto de todos aspectos julgados relevantes, é criado o novo índice de segurança, tomando o atual índice como base, para que estes possam ser incluídos, e deste modo, que o índice de acidentes entre as mais variadas concessões seja normalizado de maneira mais satisfatória.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Primeiramente, vale ressaltar que os dois fatores utilizados atualmente são de extrema importância, e serão mantidos em uma futura unidade proposta. Tanto a distância percorrida pelos trens, quanto o número total destes – que em soma ilustra a extensão total percorrida pela concessionária (trens x quilômetros) – proporcionam elevada credibilidade e realidade ao índice de acidentes.

Portanto para retratar a situação de operação e segurança em que se encontram as estradas de ferro brasileiras, os itens a seguir abordam os fatores propostos e suas respectivas fórmulas definidas pelo autor:

- Transporte de passageiros: na data da realização do presente trabalho, apenas a Vale AS disponibiliza transporte de passageiros. Na Estrada de Ferro Carajás (EFC), em média de cada 55 trens que circulam, apenas 1 é de passageiro. Já proporção de carga para passageiro na Estrada de Ferro Vitória Minas (EVM) é de 35 para 1. Contudo, apesar da discricção deste meio de mobilidade urbana, este possui um elevado impacto na operação ferroviária. Primeiramente, não há dano em estruturas ou cargas que podem ser equiparados a um dano físico a um indivíduo, seja este colaborador, passageiro ou pedestre.

$$f_t = \frac{\text{volume de carga}}{\text{volume de passageiros} + \text{volume de carga}} \quad (2)$$

- Zona que circunda a via: Por possuírem trajetos extensos, as ferrovias também encontram os mais variados cenários em sua volta. Mais especificamente, encontra-se com regularidade vias permanentes adentrando centros urbanos em que, os números de passagens em nível, bem como o fluxo de pedestres e a concentração de veículos rodoviários são extremamente elevados em relação a regiões afastadas do perímetro urbano, onde há casos em que a via férrea tem dezenas, ou até centenas, de quilômetros cercada por densa vegetação e sem passagens em nível.

$$f_p = \frac{\text{quilômetros zona urbana}}{\text{quilômetros zona rural} + \text{quilômetros zona urbana}} \quad (3)$$

- Passagens em nível: devido à falta de planejamento, tanto da construção das ferrovias nas décadas passadas, e do crescimento habitacional desordenado em torno da via permanente, há um elevado número de passagens de nível no Brasil. Segundo a MRS (2019), por exemplo, a própria possui 1.123 passagens em nível nos seus 1.686 quilômetros de via permanente

$$f_{pn} = \frac{\text{quantidade de passagens em nível}}{\text{extensão total da malha}} \quad (4)$$

- Carga transportada: apesar de haver uma predominância de produtos transportados no Brasil, há cargas transportadas em que existe uma maior periculosidade em relação às outras, toma-se os combustíveis como um exemplo natural. Este tipo de produto exige um maior nível de confiabilidade e responsabilidade da operação e do material rodante que realiza o transporte, portanto os grupos de mercadorias recebem pesos distintos a fim de relativiza-los, conforme a tabela a seguir, baseada na análise de Beraldo (2008):

Grupo de Mercadorias	Peso adaptado	Quantidade proporcional produto transportado [% TU]
Combustível	0,20	A
Produto Perigoso	0,20	B
Granel – Alimentícios	0,60	C
Contêiner	0,60	D
Granel – Fertilizante	0,80	E
Granel – Minério	1,00	F
Produto Manufaturado	1,00	G
Quantidade total de carga transportada [TU]		100%

Fonte: Autor (2019).

$$f_c = A * 0,20 + B * 0,20 + C * 0,60 + D * 0,60 + E * 0,80 + F + G$$

CONCLUSÕES

O índice proposto mantém como base a estrutura da equação 1 atualmente utilizada pelas concessionárias e a ANTT. Com isso, são incluídos fatores quocientes na equação, a fim de modificá-la relativizando-a em função dos fatores apresentados anteriormente. Portanto, a equação 1 toma a seguinte forma:

$$\text{novo índice de segurança} = \frac{\text{acidentes}}{\text{trens} * \text{quilômetro} * f_t * f_p * f_{pn} * f_c} 10^6 \quad (5)$$

Com isso, foram compreendidos, analisados e adaptados matematicamente os fatores transporte passageiros, zona que circunda a via, passagem em nível e carga transportada. Portanto, estes foram incorporados à formulação até então utilizada pelas concessionárias e ANTT, formando o proposto novo índice de acidentes.



I CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA FERROVIÁRIA

27 de outubro a 29 de outubro de 2020

Universidade Federal do Pará, Universidade Federal de Santa Catarina e Instituto

Federal do Sudeste de Minas Gerais

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES. **Resolução Nº 3.696**, de 14 de julho de 2011. Aprova o Regulamento para pactuar as metas de produção por trecho e metas de segurança para as concessionárias de serviço público de transporte ferroviário de cargas. Disponível em: <http://portal.antt.gov.br/index.php/content/view/4696/Resolucao_n__3696.html>. Acesso em: 18 set. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15868: Acidente ferroviário - Classificação, comunicações e relatório**. Rio de Janeiro, 2010. 14 p.

BERALDO, R. B. **Uma abordagem quantitativa para a definição da criticidade de ocorrências ferroviárias na Vale**. Rio de Janeiro: Instituto Militar de Engenharia, 99 f, 2008.



ANÁLISE ESTRUTURAL DE UM VAGÃO GRANELEIRO EM COMPÓSITOS

Estevão COSTA^{1*}

1. *Universidade Federal de Santa Catarina, CTJ*

**estevao@n3f.com.br*

INTRODUÇÃO

Para König e Hecht (2012), o mercado ferroviário não evoluiu a qualidade do transporte de cargas nas últimas décadas, os autores ainda destacam futuras melhorias para um novo crescimento no transporte ferroviário, entre as quais:

- Redução da emissão de ruído;
- Veículos ferroviários mais leves e
- Redução do tempo de transporte.

O presente trabalho se insere neste contexto propondo a redução de peso morto dos vagões que tem como principais vantagens:

- 1- Aumentar a economia de combustível das locomotivas;
- 2- Aumento de faturamento das concessionárias ferroviárias com o acréscimo de vagões no comboio utilizando a redução do peso morto;
- 3- Redução da manutenção por oxidação na caixa do vagão.

Para chegar a estes benefícios, o presente trabalho propõe utilizar materiais compósitos na fabricação das caixas dos vagões graneleiros utilizando estruturas sanduiches.

OBJETIVOS

O objetivo principal deste trabalho foi analisar estruturalmente possíveis arranjos estruturais de caixas de vagões graneleiros fabricados em materiais compósitos.

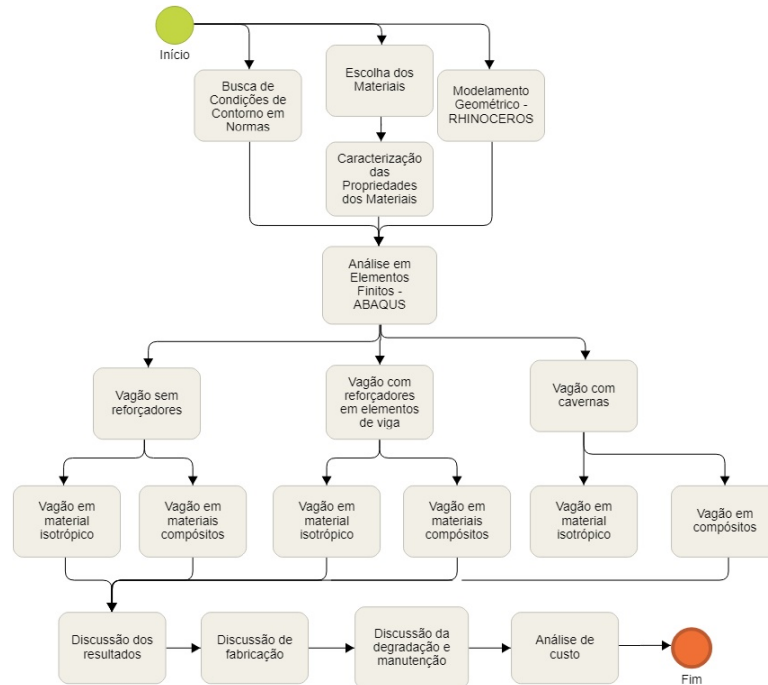
Para complementar este trabalho, além do objetivo principal de analisar arranjos estruturais para o vagão, foi discutido custos em matéria-prima de uma eventual caixa de vagão em materiais compósitos. Desta forma, este trabalho se posiciona como um pré-projeto para iniciar um eventual projeto de um novo produto que é uma caixa de vagão graneleiro em materiais compósitos.

METODOLOGIA

Para atingir o objetivo principal citado anteriormente, um fluxo de processos foi desenvolvido a fim de analisar os arranjos estruturais das caixas de vagão em compósitos.

A Figura 1 mostra o diagrama de blocos da metodologia desenvolvida neste trabalho.

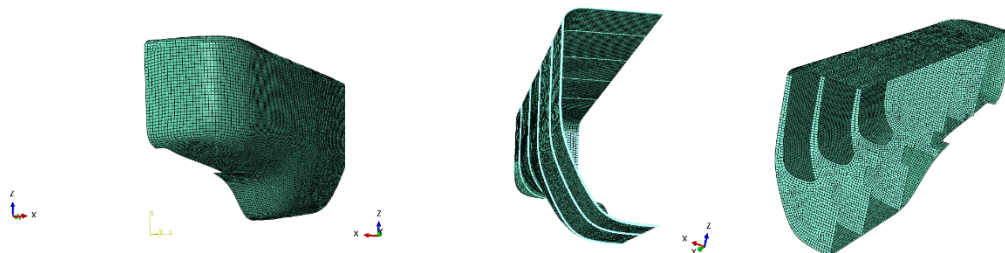
Figura 1. Diagrama de blocos da metodologia



Fonte: O Autor (2018)

Aproveitando as facilidades da fabricação de geometrias complexas pelos compósitos, uma geometria de vagão mais arredondada foi modelada, Figura 2. Este maior arredondamento da geometria possibilitou menores concentrações de tensão. O primeiro arranjo estrutural possui como característica ser um monocoque em compósitos sem nenhum tipo de estrutura. O segundo arranjo possui vigas ao longo da caixa do vagão (representadas por elementos de viga). E o terceiro arranjo possui cavernas estruturais em materiais compósitos.

Figura 2. Geometria de vagão

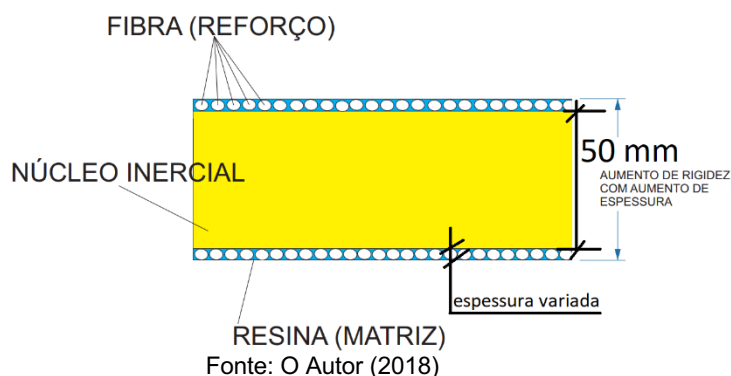


Fonte: O Autor (2018)

Foi feita uma análise estrutural estática, onde as condições de contorno foram baseadas segundo a norma AAR. Os critérios de falha não foram baseados pela AAR, pois esta prevê o vagão em aço. Então, como critério de falha, foi utilizado a DNV, norma para embarcações de alta velocidade em compósitos. A DNV estabelece um critério de 0,3 da tensão de ruptura da lâmina de compósitos, portanto, este critério foi adotado nas análises como tensão de projeto do vagão em compósitos.

Nos três arranjos estruturais foi utilizado material sanduíche, Figura 3. Onde nas extremidades se encontra a lâmina de fibra e resina. Entre as lâminas é colocado uma espuma estrutural (núcleo inercial). Uma espessura de 50 mm de espuma foi mantida constante nos três arranjos estruturais. E a espessura da lâmina de fibra foi variada até as tensões longitudinais ficarem abaixo da tensão de projeto (0,3 da tensão de ruptura). Também foi definido uma única direção de fibra nos três arranjos estruturais.

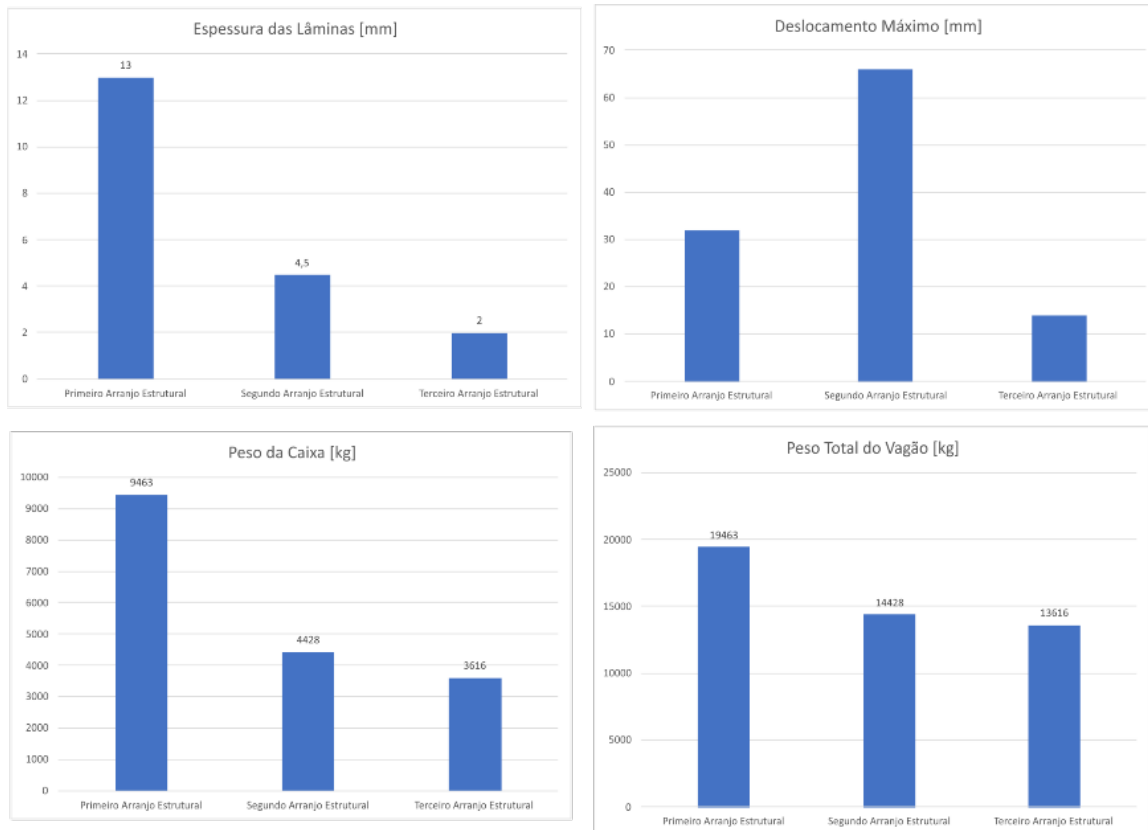
Figura 3. Modelo do arranjo estrutural do material



RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir das análises, os resultados foram comparados e o terceiro arranjo estrutural obteve os melhores resultados. A Figura 4 mostra que o primeiro arranjo estrutural obteve 13 mm de espessura em cada lâmina e o arranjo com cavernas obteve 2 mm de espessura. Estas espessuras influenciaram no peso final do vagão. O peso final do vagão foi calculado com o peso da caixa em compósitos somado ao peso da longarina central em aço, truques, rodeiros, sistema de freio e ACTs (pesos retirados de catálogos).

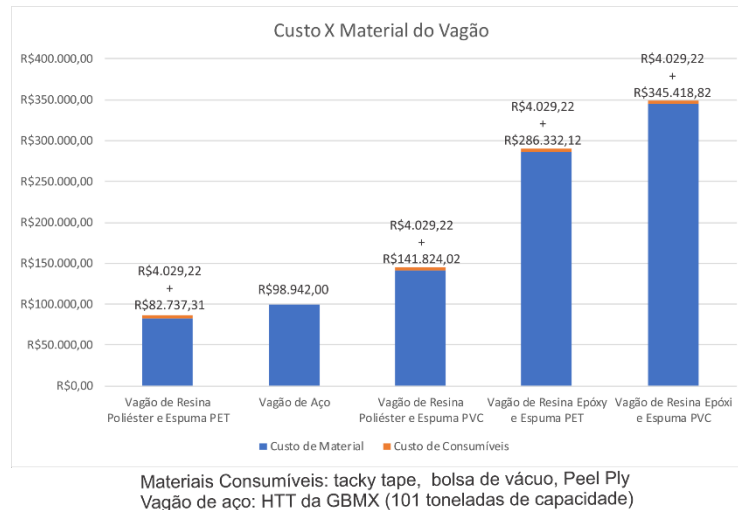
Figura 4. Resultados comparativos



Fonte: O Autor (2018)

Finalizando o trabalho, cotações do custo de materiais foram feitas para um eventual vagão graneleiro em compósitos. Foi considerando o terceiro arranjo estrutural do vagão em compósitos. Por comparação, também foi estimado o custo em matéria-prima (chapa de aço) do vagão HTT da GBMX, que possui capacidade de carga próxima do vagão em compósitos considerado. As cotações foram feitas na ABCOL, GERDAU e no site E-composites, Figura 5. Nas cotações foi variado dois tipos de resina (epóxi e poliéster) e dois tipos de núcleo inercial (PET e PVC).

Figura 5. Custo da matéria-prima



Fonte: O Autor (2018)

CONCLUSÕES

As análises mostraram que o arranjo estrutural com cavernas apresentou melhores resultados em relação a peso e rigidez global do vagão obtendo o menor deslocamento máximo.

A análise de custo de produção do vagão apresentou uma grande variação de acordo com a escolha da resina e da espuma. Levando em conta que a combinação da resina poliéster com o núcleo de PET mostrou um custo muito abaixo dos outros, em futuras análises é sugerido verificar a influência desta opção no sentido estrutural e de degradação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABCOL. **Cotação dos materiais compósitos**. Informação pessoal de Amanda Pereira. Email recebido em: 8 jun. 2018.

DET NORSKE VERITAS (DNV). **Uni- and multi-axial multi-ply fabrics made of glass fibres – nonmetallic materials**. 2016. Disponível em: < <https://rules.dnvgl.com/docs/pdf/DNVGL/CP/2016-04/DNVGL-CP-0467.pdf> >. Acesso em 19.jun.2018.

E-Composites. **Cotação dos materiais consumíveis para fabricação do vagão em compósitos**. Consumíveis. Disponível em:

<https://www.ecomposites.com.br/categoria/2517987/CONSUMIVEIS/?nome_produto=&preco=&marc67a=&frete_gratis=0&lançamento=0&categoria=&ordenacao=az>. Acesso em: 9 jun.2018.



I CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA FERROVIÁRIA

27 de outubro a 29 de outubro de 2020

Universidade Federal do Pará, Universidade Federal de Santa Catarina e Instituto

Federal do Sudeste de Minas Gerais

GERDAU. **Cotação do aço COR 500**. Informação pessoal de Gabriel J Piccazzio dos Santos. E-mail recebido em: 11 jun. 2018

KONIG, R.; HECHT, M. **White paper innovative rail freight wagon 2030**. Public and Urban Transport - TU Dresden, Department Rail Vehicles - TU Berlin. Dresden, Germany, 2012. Disponível em: <https://www.schienevzg.tu-berlin.de/fileadmin/fg62/Dokumente/Downloads/White_Paper_Innovative_Rail_Freight_Wagon_2030.pdf>. Acesso em: 18 mar.2017.



ANÁLISE NUMÉRICA DO ÂNGULO DE INJEÇÃO DE COMBUSTÍVEL NOS PARÂMETROS DE OPERAÇÃO DE UM MOTOR A DIESEL TIPO FERROVIÁRIO

John Adilson HENSCHEL JUNIOR^{1*}; Leonel R CANCINO¹;

1. Universidade Federal de Santa Catarina – Centro Tecnológico de Joinville – Laboratório de Motores de Combustão Interna - LABMCI/CTJ/UFSC
* john.henschel@labmci.ufsc.br

INTRODUÇÃO

Setores com alto nível de consumo de combustível, como o ferroviário, têm ganhado foco em estudos sobre sustentabilidade e eficiência energética nos últimos anos. Amplamente utilizado, a eficiência dos motores de combustão interna está diretamente relacionada com o consumo de combustível e com a redução de gases poluentes, os quais podem ser controlados pela otimização dos parâmetros do sistema de injeção, tais como o ângulo de injeção e a interação do jato de combustível com a movimentação de gases existentes na câmara de combustão (*swirl* e *squish*), por exemplo (SUBRAMANIAN; LAHANE, 2011). Testes práticos desses parâmetros não são viáveis de início, devido aos altos custos dos componentes envolvidos. Assim, a Dinâmica dos Fluidos Computacional (CFD - *Computational Fluid Dynamics*) surge como uma abordagem interessante para este problema. Gorji-bandpy, Soleimani e Ganji (2009) encontraram, por meio de simulação, que para uma determinada geometria de motor, a mistura do combustível com o ar torna-se mais completa com o aumento do ângulo de injeção, resultando em maiores emissões de NOx e menos fuligem. Wei *et al.* (2014) simularam três ângulos diferentes (146°, 150° e 154°) para outra geometria de cilindro, e concluíram que as emissões de NOx e fuligem foram menores com 154° e 146°, respectivamente. Neste sentido, este trabalho busca analisar, numericamente, utilizando ferramentas de Dinâmica de Fluidos Computacional, a influência da variação do ângulo de injeção no comportamento fluidodinâmico do jato junto às respostas de um motor diesel com características geométricas e operacionais similares às encontradas em motores de locomotivas, Por meio do programa AVL FIRE™, simulou-se três diferentes ângulos de injeção (153°, 160° e 167°), a fim de avaliar a resposta numérica do motor em termos de potência, torque, consumo e emissões (NO e fuligem).

OBJETIVOS

Analisar, numericamente, as respostas em termos de potência, torque, consumo de combustível e emissões (NO e fuligem) de um motor de ignição por compressão, plausível de comparação com os atuais sistemas utilizados em locomotivas, usando três diferentes ângulos de injeção (153°, 160° e 167°) com uma geometria de pistão fixa.

METODOLOGIA

Este trabalho é uma pesquisa de caráter exploratório baseado em dados quantitativos aplicados a ferramentas de simulação de Dinâmica de Fluidos Computacional, que por meio do programa AVL FIRE™ (ESE-Diesel), busca analisar a influência do ângulo de injeção no comportamento fluidodinâmico do spray junto às respostas de um motor diesel com características geométricas e operacionais similares às

empregadas em locomotivas. Para alcançar os objetivos traçados, a metodologia do trabalho presente foi estruturada em etapas distintas:

1. Parâmetros geométricos e operacionais para simulação

A primeira etapa buscou reproduzir a geometria de motor (cilindro, pistão e câmara de combustão) para a realização das análises numéricas de forma similar às características da DASH 9 - BB40W com motor GE 7FDL e retratar com coesão as condições de operação do sistema a ser utilizado em termos de pressão, temperatura e outras variáveis de entrada para a simulação numérica. A Tabela 1 mostra os parâmetros geométricos utilizados neste trabalho, os quais foram definidos de acordo com a Documentação Interna (VALE, 2011) e visita técnica a VALE S.A.

Tabela 1 – Parâmetros Geométricos aplicados neste trabalho.

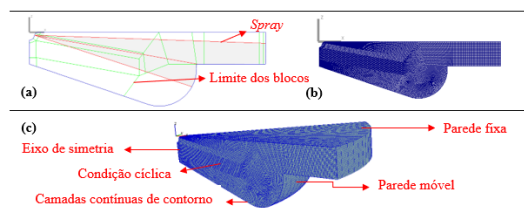
Parâmetro	Descrição	Parâmetro	Descrição	Parâmetro	Descrição
Número de Ciclos	4	Curso do Pistão	266,7 mm	Número de Válvulas	4
Número de Cilindros	16	Razão de Compressão	12,7:1	Comprimento da Biela	590,50 mm
Configuração	V turbo	Raio do Virabrequim	133,35 mm	Diâmetro do Cilindro	228,6 mm

Fonte: VALE (2011).

2. Modelo numérico usando AVL-FIRE™

Para o modelo numérico, o *template* de um pistão com geometria típica de motor ferroviário foi utilizado na ferramenta ESE-Diesel. Como pode ser visto na Tabela 1, o motor possui 16 cilindros, mas apenas um foi modelado de forma a reduzir o esforço e o tempo computacional. Além disso, a condição de eixo simétrico foi usada, desta forma, o pistão permite dividir a câmara de combustão pelo número de orifícios de injeção, 8. Assim, apenas uma porção de 45° do cilindro foi modelada com um único spray de combustível caracterizado. A Figura 1 também mostra a malha móvel estruturada em blocos e as condições de contorno do modelo. Há 348232 elementos neste domínio de estudo com 9640 faces e 445 faces de contorno. Não apresenta volumes negativos ou faces triangulares e mais de 80% das células com relação de aspecto menor que 2 durante a mobilidade da malha. A Tabela 2 mostra as condições aplicadas ao modelo numérico com o motor em ponto 7 de aceleração.

Figura 1 – Modelo numérico aplicado ao ESE-Diesel.



Fonte: HENSCHERL Jr, J.A.; CANCINO, L.R (2019)

Tabela 2 – Condições aplicadas ao modelo numérico.

Parâmetro	Descrição	Parâmetro	Descrição	Parâmetro	Descrição
Velocidade de Rotação	996 rpm	Swirl	2880 [1/min]	Combustível	Diesel-D1
Pressão no Cilindro	255000 Pa	Direção de Rotação Z	-1	Massa injetada	1,10E-03
Temperatura	355 K	Fração Mássica EGR	0,049	Duração de Injeção	6,35 ms
Energia cinética turbulenta	10	Temperatura de Parede Móvel	570,15 K	Ângulo de Início de Injeção	342°
Escala de comprimento de turbulência	0,0045 m	Temperatura de Parede Fixa	470,15 K	Temperatura do Combustível	350 K

Fonte: HENSCHERL Jr, J.A.; CANCINO, L.R (2019).



RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Tabela 3 apresenta os resultados obtidos da simulação utilizando a ferramenta ESE-Diesel.

Tabela 3 - Parâmetros Globais de Operação - Previsões Numéricas.

Ângulo	Pressão Média Efetiva [bar]	Potência Indicada [kW]	Torque Indicado [Nm]	Razão Estequiométrica [-]	Consumo Específico de Combustível [kg/kWh]	Rendimento Indicado [-]
160°	15,95	145,94	1399,25	1,77	0,2269	0,38
153°	16,00	146,33	1402,92	1,77	0,2263	0,38
167°	14,68	134,38	1288,35	1,77	0,2466	0,35

Fonte: HENSCHERL Jr, J.A.; CANCELINO, L.R (2019).

De acordo com os dados da Tabela 3, mudanças insignificantes na potência, torque e consumo são encontradas com a redução do ângulo de injeção de combustível de 160° para 153°. Por outro lado, ao elevar este parâmetro para 167°, há reduções de 7,92% na potência e no torque produzido e aumento de 7,98% no consumo específico. Para as emissões, a maior fração de massa de NO e fuligem foi encontrada em 153° e 167°, respectivamente. Soni e Gupta (2017), também encontraram as menores frações de NO com a redução da angulação ao simular os ângulos de injeção 120°, 140° e 160°. Já Wei *et al* (2014) diminuíram as frações deste poluente com o aumento do ângulo de injeção, de 146° para 154°. Estes conflitos só comprovam que, na verdade, a interação do spray com a cavidade da cabeça do pistão e a movimentação de gases existentes na câmara é o que predomina nas respostas finais do motor. Por conta disso, ao se projetar qualquer mudança nestes parâmetros, a interação é que deve ser avaliada de motor para motor, não podendo generalizar soluções.

CONCLUSÕES

A alteração do ângulo de injeção do combustível mostrou impacto direto no comportamento da combustão dentro do cilindro do motor da locomotiva a diesel modelado. O motor foi modelado em ESE-Diesel pela ferramenta de simulação AVL-FIRE™ e foi validado com base nos dados operacionais atuais DASH9-BB40W. Os resultados obtidos indicam a melhor resposta no menor ângulo simulado em direção a cavidade do pistão. Nesta área, existem níveis mais elevados de circulação de gases e condições necessárias para a quebra das gotículas do spray até a vaporização e queima da mistura que garantem maior potência e menor consumo de combustível. Novos estudos podem apontar a partir de qual ângulo inferior a 153° o motor começará a apresentar respostas piores, pois o spray perderá seu espaço de desenvolvimento quando for direcionado para a cabeça do pistão. Como proposta para trabalhos futuros, recomenda-se repetir o estudo com diferentes geometrias de câmara de combustão e outros combustíveis.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DOCUMENTAÇÃO INTERNA VALE. **Dados da Locomotiva Dash 9 - BB40W**. Contagem: General Electric, 2011.

GORJI-BANDPY, M.; SOLEIMANI, S.; GANJI, D. D.. **The Effect of Different Injection Strategies and Intake Conditions on the Emissions Characteristics in a Diesel Engine**. International Journal Of Vehicular Technology, [s.l.], v. 2009, p.1-11, 2009. Hindawi Limited. <http://dx.doi.org/10.1155/2009/105363>

HENSCHERL Jr, J.A.; CANCELINO, L.R. **Numerical Analysis of Fuel Spray Angle on The Operating Parameters in a Locomotive Diesel Engine**. In: 25th ABCM International Congress of Mechanical Engineering, October 20-25, 2019, Uberlandia, MG, Brazil.



I CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA FERROVIÁRIA

27 de outubro a 29 de outubro de 2020

Universidade Federal do Pará, Universidade Federal de Santa Catarina e Instituto

Federal do Sudeste de Minas Gerais

SONI, D. K.; GUPTA, R. **Numerical Analysis of Flow Dynamics for Two Piston Bowl Designs at Different Spray Angles**. Journal of Cleaner Production, v. 149, p. 723-734, abr. 2017.

SUBRAMANIAN, K. A.; LAHANE, S. **Comparative evaluations of injection and spray characteristics of a diesel engine using karanja biodiesel-diesel blends**. International journal of energy research, v. 37, n. 6, p. 582-597, 18 nov. 2011.

WEI, Shengli; KUNPENG, Ji; XIANYAN, Leng; FEIHU, Wang e XIN, Liu. **Numerical simulation on effects of spray angle in a swirl chamber combustion system of DI (direct injection) diesel engines**. Energy, v. 75, p. 289-294, out. 2014.



UMA ANÁLISE DO CENÁRIO DO TRANSPORTE FERROVIÁRIO DE CARGAS

Pablo R. SGROTT^{1*}; Elisete S. S. ZAGHENI¹

1. *Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico de Joinville*
** pablogrott@hotmail.com*

INTRODUÇÃO

Com a globalização de produtos e serviços, o transporte de cargas em âmbito mundial vem sendo cada vez mais utilizados para os diversos deslocamentos. Dentre os modos de transporte de cargas via terrestre, destaca-se o setor ferroviário, o qual é responsável por transportar grandes quantidades de produtos.

Atualmente, no Brasil, há aproximadamente 30.576 quilômetros de ferrovias para operação e transporte de cargas, as quais são geridas pelas empresas que detêm a concessão das mesmas, segundo dados da Associação Nacional dos Transportadores Ferroviários (ANTF, 2018).

Essa quantidade de quilometragem está aquém de países como Estados Unidos com 293.564 quilômetros, China com 124.000 quilômetros e Rússia 87.157 quilômetros, países com extensão territorial semelhante a do Brasil. Para fins de comparação, França e Alemanha, que possuem uma extensão territorial menor que a brasileira, apresentam respectivamente 29.640 quilômetros e 43.468 quilômetros de vias ferroviárias, mostrando que há possibilidades de expansão da malha em território brasileiro.

De acordo com Telles (2011) o transporte ferroviário é o modo mais econômico para trajetos de grandes distâncias, já que é possível transportar uma alta quantidade de carga em apenas um conjunto ferroviário, diferentemente do que acontece, por exemplo no modo rodoviário. Em contrapartida, sua implantação é de alto custo.

No Brasil, até o ano 2007, a quantidade de carga transportada via ferrovia, chegou a 258 bilhões de toneladas por quilômetro útil (TKU), superior se comparado ao ano de 1997, que atingiu 137 bilhões de TKU. Esse aumento ocorreu devido, principalmente, ao avanço do programa de concessões de ferrovias elaborado pelo governo ainda no século XX, iniciado em 1997 (TELLES, 2011).

Com esse constante avanço e toda essa importância, novos estudos se fazem necessários e crescem, juntamente com novas tecnologias que surgem buscando maior eficiência e modernização de empresas e das malhas ferroviárias, mostrando que é um setor que pode ainda ser amplamente explorado.

OBJETIVOS

Analisar o cenário do transporte ferroviário de cargas a partir de um levantamento bibliográfico e identificar avanços e tendências voltados ao tema.

METODOLOGIA

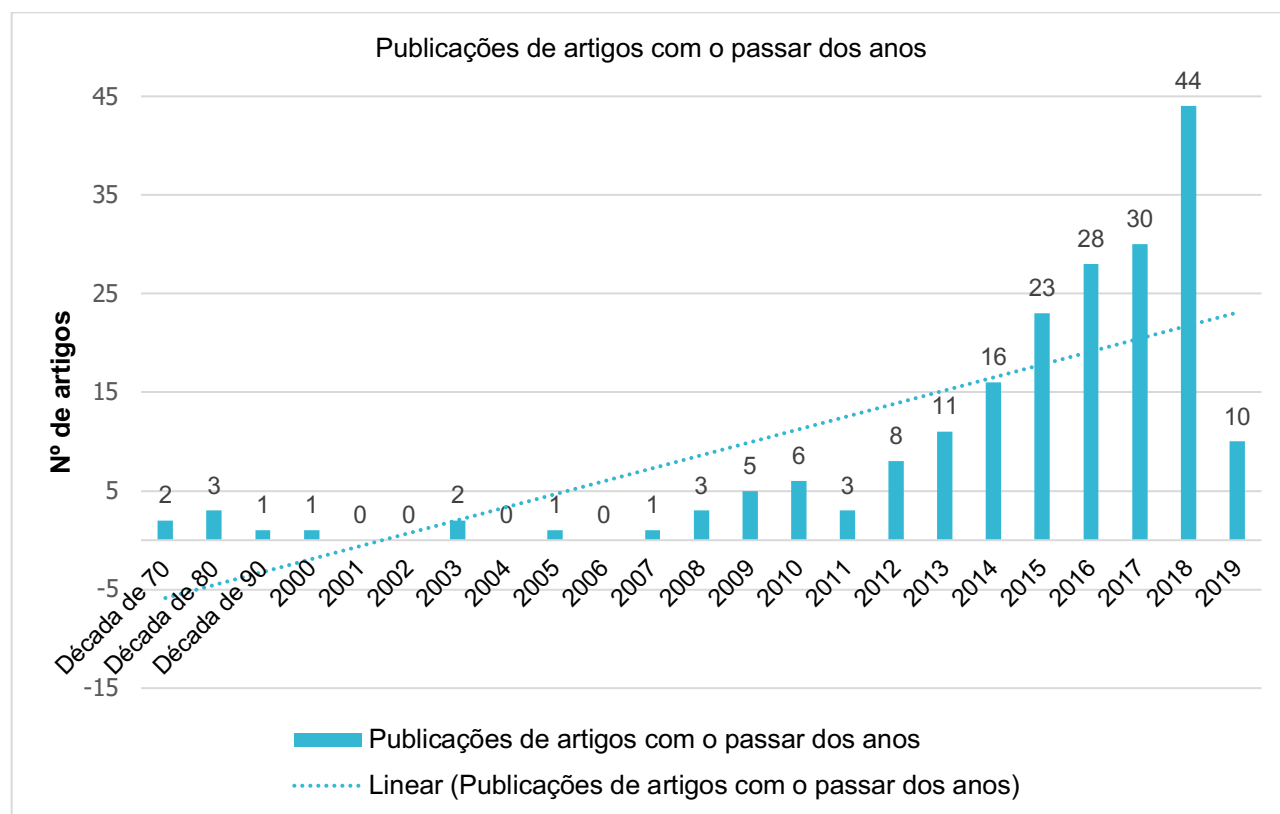
A análise bibliométrica realizada no estudo, foi ao encontro da indicação de palavras-chave com maior destaque, autores, centros de pesquisa e país de origem, a fim de compreender seu papel de influência

dentro deste campo de pesquisa. Dessa forma, foi possível identificar informações fundamentais para melhor compreensão do funcionamento, bem como o papel que desempenha o transporte ferroviário de cargas e as possibilidades de sua expansão.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A pesquisa evidenciou através de filtros aplicados durante o estudo, a crescente tendência de pesquisas voltadas para o setor de transporte ferroviário de cargas, nota-se o fato, principalmente, pela linha pontilhada do gráfico, que mostra a tendência de publicações ao longo dos anos. Nela é possível notar que, a partir do ano de 2015, esse número ficou, pela primeira vez, acima dessa linha.

Figura 1 – Publicações de artigos com o passar dos anos.



Fonte: Autores (2019).

Notou-se também que os estudos estão concentrados principalmente no Reino Unido, China, Eslováquia e Ucrânia. Efeito esse que pode ser explicado pela presença de universidades e institutos que dedicam estudos para o setor ferroviário.

Por fim, a análise bibliométrica indicou os principais temas que estão sendo estudados voltados para melhorias do setor ferroviário de cargas, como mostra a tabela abaixo:



I CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA FERROVIÁRIA

27 de outubro a 29 de outubro de 2020

Universidade Federal do Pará, Universidade Federal de Santa Catarina e Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais

Tabela 1 - Quadro resumo dos temas dos artigos.

Temática	Número de Artigos
Melhorias na Operação	17
Novas tecnologias	10
Sustentabilidade	6
Redução de custos	3

Fonte: Autor (2019).

CONCLUSÕES

O modo ferroviário de cargas se mostra importante para muitos países, principalmente no que se refere a economia dos mesmos, sendo cada vez mais relevante no mundo todo. O Brasil apesar de uma malha aquém do ideal em comparação com outros países, possui uma grande movimentação de carga. Além disso, a busca por melhorias está diretamente voltada para o tema sustentabilidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS TRANSPORTADORES FERROVIÁRIOS - ANTF. **Informações Gerais**. Disponível em: <https://www.antf.org.br/informacoes-gerais/>. Acesso em: 20 mar. 2019.

TELLES, P. C. S. **História da engenharia ferroviária no Brasil**. Rio de Janeiro: Notícia e Cia., 2011.



INFLUÊNCIA DO TIPO DE VÁLVULA DE CONTROLE NO TEMPO DE FRENAGEM DE VAGÕES

**Leonardo H. PIANESSO^{1*}; Alexandre
MIKOWSKI¹**

1. *Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharias da Mobilidade*

**leonardo.pianesso@gmail.com*

INTRODUÇÃO

As frenagens no sistema ferroviário ocorrem com frequência durante sua operação, sendo utilizadas para parar e controlar a velocidade do trem. Entender o funcionamento desse sistema é imprescindível para a operação ferroviária, desde a melhor eficiência energética e uso de recursos até a segurança operacional. Com o auxílio de simulações computacionais, o comportamento dinâmico do sistema pode ser estudado de maneira eficiente, sem a necessidade de testes empíricos. O sistema de freio ferroviário apresentado neste trabalho utiliza ar comprimido como sinal e força motriz para a frenagem. O sistema de freio a ar automático é composto por compressor de ar, reservatório principal e manipulador de freio, que se encontram na locomotiva. Nos vagões ficam distribuídos reservatórios auxiliares, as válvulas de controle e o encanamento geral, que percorre toda extensão do trem.

OBJETIVOS

Investigar a influência do tipo de válvula de controle nos tempos de aplicação e alívio das operações de frenagem ferroviária mínima, total e de emergência. Para isso, realizou-se simulações computacionais para determinar os tempos de respostas de diferentes válvulas de controle, e assim determinar a taxa de variação do tempo de resposta após as operações de frenagem em função do número de vagões, afim de verificar a eficiência no tempo de resposta das válvulas AB, ABD e ABDX.

METODOLOGIA

As simulações computacionais foram realizadas com o simulador Train-Dynamics Systems 5000 (TDS) da New York Air Brake (NYAB). Os trens foram simulados em terreno sem alicive ou declive e totalmente parados. Os parâmetros utilizados foram os da locomotiva DASH 9 e para os vagões o modelo padrão GDE. As válvulas AB, ABD e ABDX foram simuladas em uma composição de uma locomotiva seguida pelos vagões. O número de vagões simulado foi de 50, 100, 150 e 200. Para cada simulação, foram realizadas as operações mínima, total e de emergência.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados apresentados são de uma composição com 200 vagões, pois essa é a mais expressiva entre as composições simuladas. Foram analisados os tempos, em segundos, para o sinal chegar ao último vagão da composição e o tempo de estabilização da pressão (até entrar em regime permanente).

Tabela 1. Resultados das operações com 200 vagões.

Válvula de controle	Operação Mínima		Operação Total	
	Tempo do sinal até o último vagão [s]	Tempo de estabilização da pressão até o último vagão [s]	Tempo do sinal até o último vagão [s]	Tempo de estabilização da pressão até o último vagão [s]
AB	13	77	6	186
ABD	5	38	4	194
ABDX	2	27	2	82

Fonte: Os autores (2020).

A válvula AB apresenta tempo superior de chegada do sinal ao último vagão e de estabilização. A válvula ABDX apresenta o mecanismo de aplicação acelerada, que conecta o encanamento geral a atmosfera, diminuindo o tempo para a aplicação do freio. Essa função pode ser notada, especialmente, na operação total, em que a ABDX leva 82 segundos para acionar os freios dos 200 vagões, menos da metade do tempo das válvulas AB e ABD.

O alívio, que ocorre quando o maquinista não deseja mais manter os freios pressionados, é apresentado na Tabela 2.

Tabela 2. Resultados dos alívios das operações com 200 vagões.

Válvula de controle	Alívio da Operação Mínima		Alívio da Operação Total	
	Tempo do sinal até o último vagão [s]	Tempo de estabilização da pressão até o último vagão [s]	Tempo do sinal até o último vagão [s]	Tempo de estabilização da pressão até o último vagão [s]
AB	6	310	8	351
ABD	3	161	4	339
ABDX	3	161	3	340

Fonte: Os autores (2020).

A função de alívio acelerado, que foi introduzida na válvula ABD, faz uma ligação entre o reservatório de emergência e o encanamento geral, diminuindo o tempo de estabilização do sistema. Essa função pode ser notada na diferença entre os tempos de alívio das válvulas ABD e ABDX na operação mínima, sendo significativamente menores.



I CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA FERROVIÁRIA

27 de outubro a 29 de outubro de 2020

Universidade Federal do Pará, Universidade Federal de Santa Catarina e Instituto

Federal do Sudeste de Minas Gerais

CONCLUSÕES

As simulações computacionais realizadas possibilitaram determinar os tempos de resposta para as operações de frenagem ferroviária mais utilizada em um trem. A partir dos dados gerados das simulações, foram avaliadas a eficiência e as melhorias introduzidas em cada versão. A válvula AB se mostrou a mais lenta, ABD apresentou melhoria principalmente no tempo de alívio e ABDX no tempo de aplicação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BORBA, J. L. **Sistemas de freios e equipamentos auxiliares**. Vitória: Universidade Federal do Espírito Santo, 2009.

BORBA, J. L. et al. **Sistema de Locomotivas e Vagões I – Módulo Sistema de Freios**. Vitória: Valer, 2008.

RIBEIRO, D. F. **Desenvolvimento de Modelos para Simulação em Tempo Real da Frenagem de Composições Ferroviárias de Carga. Dissertação (Mestrado)** — UNICAMP, Campinas, 2017.



DESGASTE DE AÇOS AUSTENÍTICOS APLICADOS EM JACARÉ DE PONTA FIXA

Gustavo PRESTES^{1*}; Matheus ARAÚJO¹; Paulo MACHADO¹

1. UFPA, Engenharia Ferroviária e Logística

*gustavo.prestes@itec.ufpa.br

INTRODUÇÃO

Em 1882, Robert Abbot Hadfield inventou o aço Hadfield com a composição clássica de 1,2% carbono e 12,5% de manganês (GOUSSELAND, 1974), tendo microestrutura austenítica. Esse é um dos aços mais usados em condições de altas tensões de contato e solicitações mecânica devido a capacidade de endurecimento por deformação plástica, tem alta tenacidade e alta ductilidade (Zambrano, 2018). Estas propriedades possibilitam o uso do aço Hadfield em equipamentos para movimentação de terra, mineração, ferrovias e dragagem (ANDRADE, 2015).

Em ferrovias ele é aplicado nos aparelhos de mudança de via (AMVs), mais precisamente na ponta do “coração” ou “jacaré”, com sua composição clássica. Esta região do AMV é submetida a grandes esforços devido ao impacto entre o rodeiro e o AMV (XIN et. al. 2013, apud. ISSOMURA, 2016, p. 43). Há diversos fatores que influenciam na vida útil do jacaré ferroviário, tais como: tonelada por eixo, velocidade do trem, geometria do AMV, interferências na superfície de rolamento, influência da rigidez da estrutura da via, condição das rodas e identificação das variáveis (ISSOMURA, 2016). Além disso, a ponta do jacaré, fabricada com aço Hadfield, perde a capacidade de deformação plástica conforme o número de interações com o rodeiro aumenta, causando um desgaste severo na região deformada e podendo ocorrer falha catastrófica do componente.

Portanto, este trabalho objetiva estudar o desgaste do jacaré em condições operacionais da via e de laboratório, ensaio tribológico pino-disco. Análises macro e micrográficas foram realizadas para identificação dos defeitos presentes nas superfícies e a caracterização mecânica de microdureza foi realizada no perfil transversal das amostras para identificar o valor máximo de microdureza na subsuperfície e a profundidade de endurecimento gerada pelas solicitações mecânicas do contato jacaré-rodeiro (via) e pino-disco (laboratório).

OBJETIVOS

Geral

Analisar e caracterizar o comportamento tribológico microestrutural do aço austenítico submetido a desgaste em campo, para efeito de comparação com o comportamento do mesmo aço em ensaio pino-disco.

Específicos

- Analisar o desgaste do aço Hadfield na peça;
- Caracterizar a microestrutura e a subsuperfície dos aços após realização dos ensaios;
- Analisar o micromecanismo de desgaste na seção da peça;
- Avaliar o perfil de dureza gerado pelo desgaste.

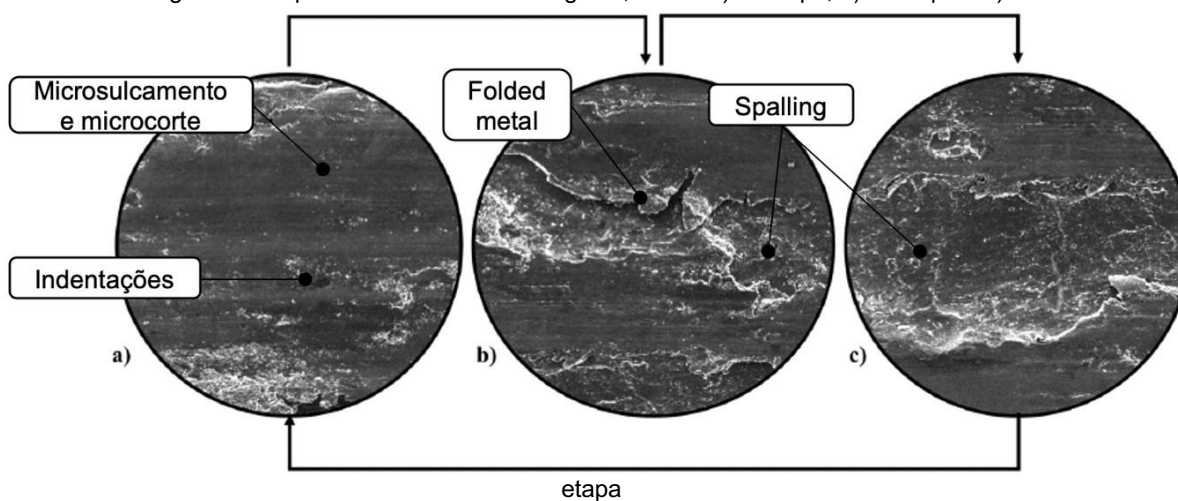
METODOLOGIA

Amostras da ponta do jacaré ferroviário fabricadas em aço Hadfield foram submetidas a 96 MTBT (Milhões de Toneladas Brutas Transportadas) e caracterizadas com técnicas de fotografia, micrografia óptica (MO) e eletrônica de varredura (MEV). A caracterização mecânica das amostras desgastadas foi realizada via ensaio de microdureza Vickers com 0,3 kgf. A amostra de laboratório de aço Hadfield foi desgasta no ensaio pino disco (Araujo, M., 2019), no qual simula o desgaste por deslizamento presente no canto de bitola do trilho/AMV e friso da roda.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

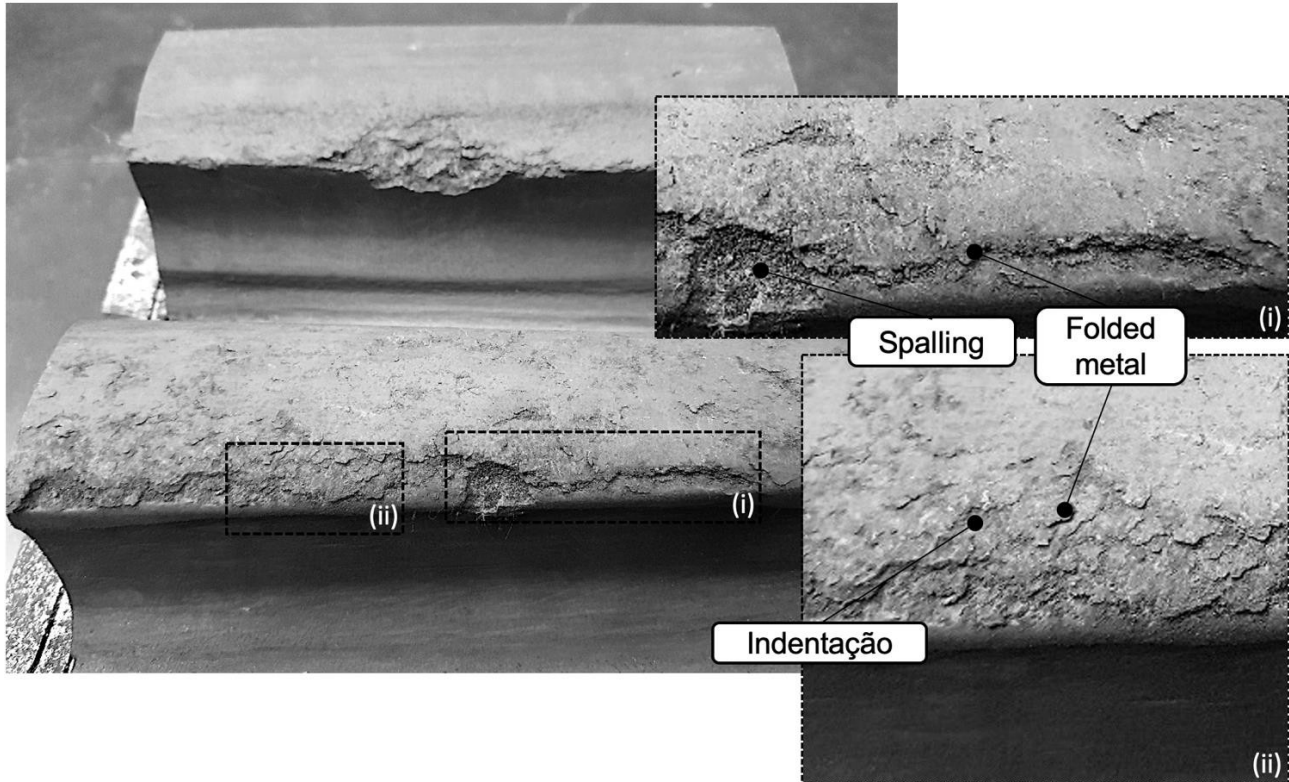
A Figura 1 mostra a superfície desgastada da amostra de aço Hadfield após ensaio de desgaste. Notar a presença de defeitos superficiais, tais como: riscamento (microsulcamento e microcorte), formação de dobras (*folded metal*), intensa deformação plástica, endentações e spalling. Os mesmos tipos de defeitos podem ser observados na amostra de jacaré desgasta em campo (Figura 2), no entanto, os defeitos têm tamanho superior a uma ordem de grandeza dos defeitos observados no ensaio, resultado da diferença dos níveis de tensões (energia) entre os sistemas analisados. O valor máximo de dureza obtida no ensaio pino-disco foi de 517 HV_{0,3kgf}, enquanto que para a amostra de campo o valor é superior e varia conforme a posição ao longo do jacaré, Zambrano (2019) obteve valores entre 600 a 900 HV_{0,3kgf}.

Figura 1 - Etapas de ocorrência do desgaste, sendo a) 1° etapa; b) 2° etapa e c) 3°



Fonte: Adaptado de Araújo et al., 2019.

Figura 2 – Peça desgastada em campo.



Fonte: Autor, 2020.

CONCLUSÕES

As análises realizadas mostraram que os defeitos superficiais e o valor de microdureza da subsuperfície do aço Hadfield desgastado dependem diretamente das condições de aplicação, ou seja, das solicitações mecânicas. Os tipos de defeitos e micromecanismos de desgaste observados nas superfícies do material desgastado em campo e em laboratório foram os mesmos, no entanto, com diferentes ordens de grandeza. Este resultado mostra que o ensaio tribológico pino-disco reproduz em parte os danos gerados em condições reais de aplicações do aço Hadfield em AMV.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, G. T. de; **Efeito dos teores de carbono, manganês, cromo e nitrogênio e da força normal no comportamento tribológico de aço manganês austenítico**. 2019. Qualificação de Tese (Doutorado em Ciências) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2019.

ANDRADE, G. T. de; **Resistência à abrasão de aço Hadfield para britadores: efeito do tamanho do abrasivo e do pH do meio**. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola Politécnica,



Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

ANDRADE-NETO, A. V.; et. al.; **Rolamento e atrito de rolamento ou por que um corpo que rola pára**. Revista Brasileira de Ensino de Física. v. 35, n. 3, 2013. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbef/v35n3/a33v35n3.pdf>

AVERY, H. S.; Word Hardening in relation to abrasion resistance. *In*: SEMCHYSHEN, M. (Pres.), BARR, R. Q. (editor); **Materials for The Mining Industry**. Vail: 1974.

DIESBURG, D. E., BORIK, F.; Optimizing abrasion resistance and toughness in steels and irons for the mining industry. *In*: SEMCHYSHEN, M. (Pres.), BARR, R. Q. (editor); **Materials for The Mining Industry**. Vail: 1974.

GOUSSELAND, Pierre; Mines, Metals and Materials. *In*: SEMCHYSHEN, M. (Pres.), BARR, R. Q. (editor);

Materials for The Mining Industry. Vail: 1974.

HAVEL, P. E. D.; **Austenitic Manganese Steel: a complete overview**. 2017. Columbia Steel Casting Co. Disponível em: <https://www.sfsa.org/doc/2017-4.1%20Columbia%20-%20Havel.pdf>

HUTCHINGS, I. M.; **Tribology: friction and wear** of engineering materials. Londres: Butterworth Heinemann, 1992.

ISSOMURA, S. L.; **Aplicação da engenharia de valor para análise de aparelho de mudança de via em ferrovia heavy haul**. 2016. Dissertação (Mestre em Ciências em Engenharia dos Transportes) – Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 2016.

MACHADO, P. C.; **Análise multiescala da abrasão de aços austeníticos ao manganês aplicados em britadores de minério**. 2017. Tese (Doutorado em Ciências) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3151/tde-28112017-073503/pt-br.php>

MACIEL, M. A., **Estudo do desgaste por deslizamento de aços austeníticos manganês utilizados em componentes de aparelhos de mudança de via ferroviária**. Trabalho de Conclusão de Curso – Engenharia Ferroviária e Logística, Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará. Orientador: Prof. Dr. Paulo Cordeiro Machado. 2019.

RADI, et. al.; **Tribologia, conceitos e aplicações**. *In*: ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E PÓS-GRADUAÇÃO DO ITA, 13., 2007, São José dos Campos. Anais. São José dos Campos. ITA. Disponível em: <http://www.bibl.ita.br/xiiiencita/FUND18.pdf>

ROSA, R. de A.; RIBEIRO, R. C. H. **Estradas de ferro: projeto, especificação & construção**. Vitória: EDUFES, 2016.

SEMCHYSHEN, M. (Pres.), BARR, R. Q. (editor); **Materials for The Mining Industry**. Vail: 1974.

SEMPREBONE, P. da S.; **Desgaste em trilhos ferroviários: um estudo teórico**. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2006. Disponível em: http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/258211/1/Semprebone_PauladaSilva_M.pdf



I CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA FERROVIÁRIA

27 de outubro a 29 de outubro de 2020

Universidade Federal do Pará, Universidade Federal de Santa Catarina e Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais

STOETERAU, R. L.; **Tribologia**. Notas de aula. Universidade Federal de Santa Catarina, 2004. Disponível em: https://docgo.net/doc-detail.html?utm_source=stoeterau-tribologia

ZAMBRANO, O. A. et. al; Failure analysis of a crossing rail made of Hadfield steel after severe plastic deformation induced by wheel-rail interaction. 2020

Zhang, F. C., et. al.; **Explosion hardening of Hadfield steel crossing**. Material Science and Technology, vol. 26,

n.3, 223. Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/249844360_Explosion_hardening_of_Hadfield_steel_crossing

EFEITO DO RESFRIAMENTO CONTROLADO NA MICROESTRUTURA E PROPRIEDADE MECÂNICA DE SOLDA ELÉTRICA EM TRILHO FERROVIÁRIO

Janaína Raiane Silva DA SILVA^{1*}; Paulo Cordeiro MACHADO¹

1. Universidade Federal do Pará, Faculdade de Engenharia Ferroviária e Logística

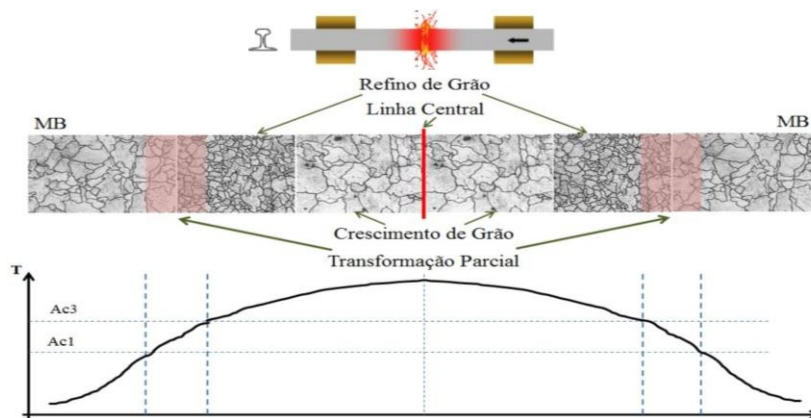
* janaina.silva@itec.ufpa.br

INTRODUÇÃO

O trilho é considerado o ativo de maior valor agregado da superestrutura ferroviária e, por esse fator, pesquisas e estudos foram realizados ao longo dos anos, como forma de contribuir no refinamento do tipo de aço a ser empregado na operação da ferrovia com eficiência, considerando a constante atualização de velocidade e carga por eixo nas vias férreas.

A forma mais comum de união de trilhos na fase de assentamento de via (trecho) é feita pelo processo de soldagem por centelhamento (*Flash Butt Welding*) e por conta do alto ciclo térmico. A Figura 1 mostra o esquema da ocorrência da soldagem e a resultante microestrutural (BAURI, 2020).

Figura 1 – Esquema relacionando as regiões da ZAC em função da temperatura de pico.



Fonte: Saita (2013) e Porcaro (2017) - adaptado.

Segundo Pompeu (2020), as consequências decorrentes desse procedimento são evidenciadas comumente em alterações microestruturais e de propriedade mecânica do trilho na Zona Afetada pelo Calor – ZAC, devido ao ciclo térmico do processo; as áreas de proximidades com a solda apresenta uma região com descontinuidades microestrutural e isso acaba refletindo no comprometimento do comportamento mecânico e tribológico.

Como forma de melhorar as propriedades nessa região, tratamentos térmicos vêm sendo empregados para gerar o resfriamento adequado nas juntas soldadas (POMPEU, 2020), em conjunto com análises dos efeitos de diferentes taxas de resfriamento, resultando no melhoramento de suas propriedades.

OBJETIVOS

Realizar abordagem conceitual a respeito das alterações microestruturais e de propriedades mecânicas na Zona Afetada pelo Calor - ZAC em trilhos submetidos ao processo de soldagem.

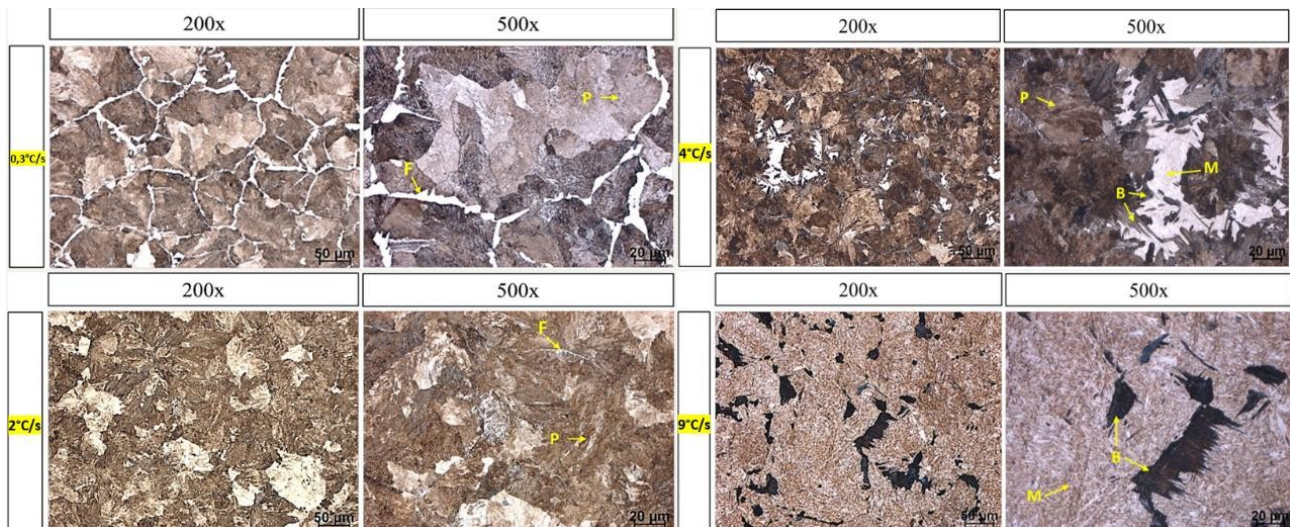
METODOLOGIA

Há inúmeros caminhos para se refletir sobre a produção de conhecimento de uma determinada área. Para o presente artigo, a metodologia empregada deu-se por meio de revisão da literatura de pesquisadores atuantes e com artigos científicos publicados em periódicos da área de metalurgia e materiais.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A análise realizada por Pompeu (2020) foi realizada a partir das imagens obtidas com microscópio ótico das amostras do trilho como recebido e após os ensaios no dilatômetro, com patamar isotérmico em 1000°C, resfriadas em suas taxas específicas, foram reveladas com o reagente de Nital 2% durante 6 e 12 segundos para as microestruturas de perlita e martensita, respectivamente.

Figura 2 - Microestruturas obtidas nas amostras do trilho T1. Temperatura de pico a 1000°C e resfriada na taxa de 0,3°C/s, 2°C/s, 4°C/s e 9°C/s na ampliação de 200x e 500x, atacadas com Nital 2%. Com a presença da fase perlita (P), ferrita pró-eutetóide (FP), bainita (B) e martensita (M).



Fonte: Pompeu (2020) - adaptado.

O autor conclui que as taxas de resfriamento e a temperatura de austenitização influenciaram de forma diferente na cinética de transformação de fases durante a decomposição da austenita em cada trilho.

Para a taxa de 0,3°C/s, segundo Pompeu (2020), as colônias de perlita são dominantes na microestrutura e com características morfológicas semelhantes ao material como recebido. As fases pró-eutetóide são observadas em certas quantidades, assim como ocorre na taxa de 2°C/s. Na taxa de 4°C/s, encontra-se ripas de bainita (transformação intermediária) e ilhas de martensita. Para a taxa de 9°C/s, a predominância é a martensita com a presença de bainita superior e inferior na microestrutura.

Na avaliação da microdureza, os valores de microdureza da Tabela 1 foram plotados em função da taxa de resfriamento. Foram realizados, de acordo com Pompeu (2020), ensaios de microdureza Vickers nas amostras como recebidas e, para o presente artigo, selecionadas as taxas de 0,3°C/s, 2°C/s, 4°C/s e 9°C/s, observando o aumento da dureza relacionada à microestrutura martensítica nas taxas de 4°C/s e 9°C/s.

Tabela 1 – Valores de microdureza (HV0,3) e o desvio padrão das amostras ensaiadas em dilatomia com temperatura de austenitização a 1000°C nas respectivas taxas de resfriamento.

Microdureza dos Trilhos a 1000°C (HV0,3)				
Taxa de Resfriamento (°C/s)	T1	T2	T3	T4
Como Recebido	355 (±12)	350 (±10)	372 (±13)	382 (±18)
0,3	251 (±11)	283 (±5)	280 (±12)	310 (±12)
1	345 (±16)	359 (±10)	359 (±18)	389 (±11)
2	372 (±14)	375 (±15)	407 (±12)*	420 (±17)*
3	382 (±12)*	413 (±10)*	437 (±34)*	533 (±16)*
4	397 (±11)*	483 (±26)*	530 (±9)*	687 (±23)*
5	475 (±13)*	656 (±23)*	648 (±20)*	678 (±31)*
9	764 (±16)*	753 (±23)*	778 (±37)*	767 (±25)*
17	756 (±15)*	765 (±22)*	759 (±22)*	751 (±17)*
50	794 (±15)*	801 (±10)*	774 (±16)*	752 (±25)*

*Presença de martensita na microestrutura.

Fonte: Pompeu (2020) - adaptado



I CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA FERROVIÁRIA

27 de outubro a 29 de outubro de 2020

Universidade Federal do Pará, Universidade Federal de Santa Catarina e Instituto

Federal do Sudeste de Minas Gerais

CONCLUSÕES

A partir do presente trabalho, foi possível concluir a importância de estudos e investigações a respeito das variações microestruturais que o aço perlítico do trilho pode apresentar sob a influência dos ciclos térmicos e o impacto direto em seu comportamento mecânico e tribológico, bem como na vida útil desse material.

AGRADECIMENTOS

Agradecimento a equipe do projeto Cátedra Roda-Trilho e em particular a equipe do projeto de tratamento térmico de solda de trilho incluindo os pesquisadores do Laboratório de Caracterização de Materiais Metálicos – LCAM/ITEC/UFGA. Ao apoio financeiro da FAPESP durante o desenvolvimento das investigações e ao Projeto Vale Cátedra Roda-Trilho, pela grande oportunidade que possibilitou imensa contribuição para a formação profissional e acadêmica de discentes de graduação e mestrado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BAURI, Luiz Felipe. **Soldagem de topo com centelhamento de trilhos ferroviários: caracterização microestrutural, propriedades mecânicas e desgaste**. 2020. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, [s. l.], 2020.

POMPEU, Sammy do Nascimento. **Curvas TRC de aços de trilhos ferroviários: dilatometria, microestrutura e microdureza**. 2020. Universidade Federal do Pará, [s. l.], 2020.

PORCARO, Rodrigo Rangel et al. **Microestrutura e Propriedades Mecânicas de um Aço para Trilhos Ferroviários Soldado por Centelhamento**. Soldagem & Inspeção, [s. l.], v. 22, n. 1, p. 59–71, 2017.

SAITA, Kenji. **Trends in Rail Welding Technologies and Our Future Approach**. [s. l.], n. 105, p. 84–92, 2013.



MÉTODO MLE PARA GERAÇÃO DE CURVAS DE FADIGA EM PONTES FERROVIÁRIAS

Maria Rafaela B. de M. RIBEIRO^{1*}; Ritermayer M. TEIXEIRA²; José Antônio F. SANTIAGO³

1. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE
2. Universidade Federal do Pará, ITEC
3. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE
* maria.ribeiro@coc.ufrj.br

INTRODUÇÃO

No final do século XIX e início do século XX, as primeiras pontes metálicas foram construídas na América do Norte e na Europa. Segundo NETO (2013), durante o período Imperial brasileiro, começaram a ser construídas as primeiras ferrovias como uma estratégia logística para o país, bem como as suas OAE's. Grande parte dessas estruturas continuam operantes, mesmo passado mais de um século desde as suas construções. A avaliação das condições de segurança destas pontes tem uma relevância cada vez maior, já que foram dimensionadas para condições de tráfego completamente diferentes das que se verificam nos momentos atuais, que são cada vez mais intensificadas.

OBJETIVOS

O presente trabalho tem como objetivo aplicar abordagens probabilísticas para geração de curvas S-N de resistência a fadiga (modelos S-N-p), adotando o Método da Máxima Verossimilhança, comparando os resultados por meio dos processos adotados em algoritmos de otimização.

METODOLOGIA

1. Modelagem de Resistência a Fadiga (Curva S-N Linear)

A resistência à fadiga de detalhes estruturais é tradicionalmente apresentada na forma de curvas S-N que relacionam faixa de tensão, $\Delta\sigma$, para um percentil de probabilidade de número de ciclos até a falha, N. Essas curvas são obtidas a partir de testes de fadiga a amplitudes de tensão constantes (CAFL). Neste tipo de modelo o limite de fadiga é fixado. Em geral, usam-se curvas percentis para avaliar a gama de tensão correspondente a um específico número de ciclos. Tais curvas apresentam um comportamento em exponencial (equação 1), sendo necessária sua linearização em escala log de modo a facilitar a interpretação dos dados (equação 2).

$$N = \Delta\sigma^{-m} \cdot k, \quad \Delta\sigma > \gamma \quad (1)$$

$$\ln(N) = -m \cdot \ln(\Delta\sigma) + \ln(k), \quad \ln(\Delta\sigma) > \ln(\gamma) \quad (2)$$

2. Abordagem Probabilística (Curvas S-N-p)

Para descrever um modelo probabilístico de resistência à fadiga é necessário determinar suas funções de densidade de probabilidade ($f_x(x, y, \theta)$) e de probabilidades acumuladas ($F_x(x, y, \theta)$), as quais dependem

da hipótese paramétrica adotada, sendo θ o vetor de parâmetros do modelo. A função de probabilidades acumuladas define a probabilidade de ocorrência p da vida à fadiga, assumir um valor menor ou igual a x . De uma forma geral, os campos S-N-p podem ser determinados considerando a Distribuição Cumulativa Inversa de probabilidades, F_x^{-1} , para uma dada probabilidade de falha p , conforme expresso na equação 3:

$$x = \bar{x}(y) + [F_x^{-1}(p)] \cdot S_x \quad (3)$$

3. Método da Máxima Verossimilhança

O método MLE (*Maximum Likelihood Estimator*) consiste em maximizar a verossimilhança de um conjunto de parâmetros calculados para ajustar o modelo. Para um dado conjunto de x_i observações independentes obtidas em diferentes níveis y_i . Em geral, é mais fácil trabalhar com a função de verossimilhança em domínio logarítmico, porque nesta forma a maximização é feita por uma soma ao invés de um produto (SARKANI et al., 2007). Dessa forma, a função de log-verossimilhança $L_i(z_i; \theta)$ para um único ponto de teste da amostra é dada pela equação 4:

$$L_i(z_i; \theta) = \delta_i \cdot \{\ln[f_x(x_i; y_i, \theta)]\} + (1 - \delta_i) \cdot \ln[1 - F_x(x_i; y_i, \theta)] \quad (4)$$

Onde $\delta_i = 1$ para falha e $\delta_i = 0$ para *runout*; $f_x(x_i; y_i, \theta)$ e $F_x(x_i; y_i, \theta)$ são, respectivamente, a função de densidade de probabilidade e a distribuição cumulativa de probabilidade de x_i ; θ é o vetor de parâmetros do modelo. Assim, a função de log-verossimilhança para o conjunto inteiro de dados, é dada pela contribuição de cada ponto da amostra, de acordo com a equação 5.

$$\Lambda(\theta) = \sum_{i=1}^n L_i(z_i; \theta) \quad (5)$$

4. Algoritmos de Otimização

O conjunto de parâmetros θ deve ser determinado para maximizar a função $\Lambda(\theta)$, podendo ser solucionado pela utilização de algum algoritmo de otimização. Neste trabalho, foi desenvolvida subrotinas usando a função nativa *fmincon* disponível no MATLAB Optimization Toolbox™ (The Mathworks, 2010) que possui o algoritmo de otimização do ponto interior e a função *ga* disponível no MATLAB Global Optimization™ (The Mathworks, 2019) para otimização em algoritmo genético. Tais algoritmos devem ser usados para minimizar $-\Lambda(\theta)$ (equivalente a maximizar $\Lambda(\theta)$) quando restrições iniciais são dadas para θ , a fim de limitar o espaço de busca dentro de uma região factível. As restrições (constraints) dos parâmetros podem ser introduzidas diretamente no algoritmo por meio de uma inequação linear, conforme a equação 7 de otimização expressa a seguir:

$$\min_{\theta} \{-\Lambda(\theta) \text{ tal que } \mathbf{A} \cdot \theta \leq \mathbf{b}\} \quad (7)$$

Onde \mathbf{A} é uma matriz e \mathbf{b} é um vetor criados para estabelecer as restrições, com base no domínio factível de cada parâmetro.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os dados utilizados para as análises são encontrados em TARAS e GREINER (2010), MAYORGA *et al.* (2017) e PEDROSA *et al.* (2019), no qual foram realizados ensaios de fadiga em detalhes estruturais de pontes ferroviárias rebitadas de várias partes do mundo. A seguir são apresentados os resultados obtidos das curvas S-N-p geradas utilizando os algoritmos de otimização do ponto interior (figura 1) e do algoritmo genético com as gerações realizadas para a busca da log-verossimilhança (figura 2), adotando a função de distribuição de probabilidade de valores extremos.

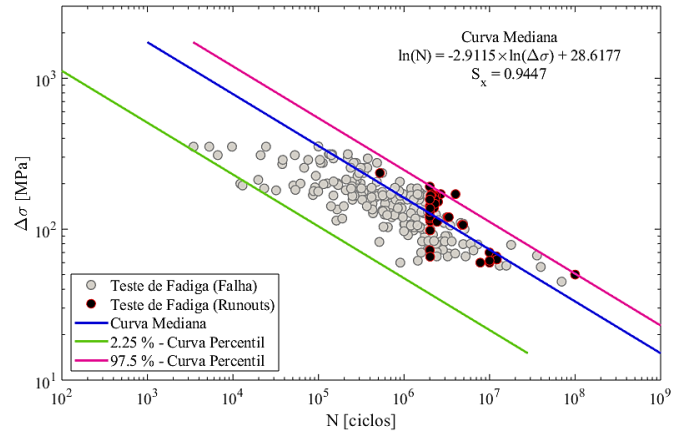
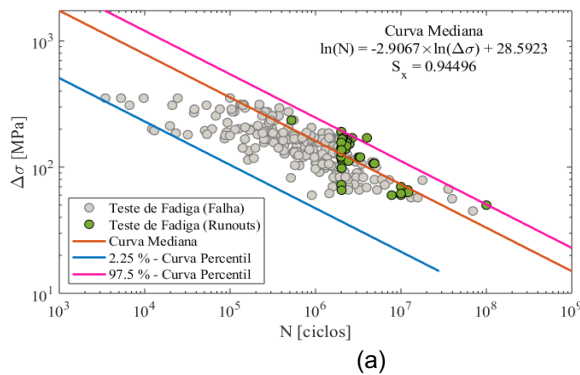
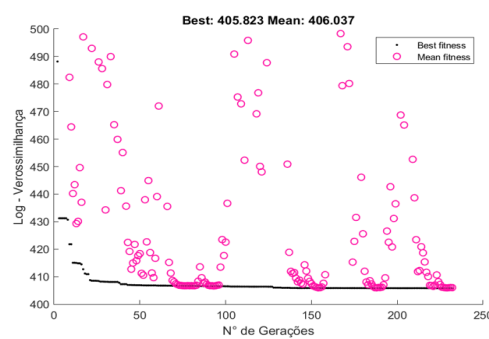


Figura 1: Curvas geradas com base nos parâmetros encontrados (MLE-API).

Figura 2: Em (a): Curvas geradas com base nos parâmetros encontrados (MLE-GA); Em (b): 232 gerações realizadas para busca dos parâmetros ótimos da função log-verossimilhança.



(a)



(b)

Tabela 1 – Comparação dos parâmetros obtidos.

Modelo	k	m	S _x	Exp(k)
MLE - API	28,6177	-2,9115	0,94470	2,68.10 ¹²
MLE - GA	28,5923	-2,9067	0,94496	2,62.10 ¹²
Diferença (%)	0,089	0,016	0,028	2,24



I CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA FERROVIÁRIA

27 de outubro a 29 de outubro de 2020

Universidade Federal do Pará, Universidade Federal de Santa Catarina e Instituto
Federal do Sudeste de Minas Gerais

CONCLUSÕES

Os resultados obtidos para ambos os algoritmos de otimização mostraram-se satisfatórios. Notou-se uma diferença maior para os valores de limite de fadiga para o $\text{Exp}(k)$, justificável em virtude do processo da vida a fadiga ser naturalmente um processo aleatório. O método MLE mostrou ser uma boa ferramenta para análise de vida a fadiga, uma vez que é capaz de inferir probabilisticamente dados que não vieram a falhar.

AGRADECIMENTOS

Os autores deste trabalho agradecem à Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) e à Universidade Federal do Pará (UFPA) o incentivo a pesquisa e ao CNPq pelo apoio financeiro concedido.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

MATHWORKS. **Optimization Toolbox User's Guide (Release 2010b)**. Mathworks Inc., Natick, MA, USA, 2010.

MATHWORKS. **Global Optimization Toolbox User's Guide (Release 2019b)**. Mathworks Inc., Natick, MA, USA., 2019.

MAYORGA, L. G.; SIRE, S.; CORREIA, J. A. F. O.; DE JESUS, A. M. P.; REBELO, C.; CANTELI, A. F.; RAGUENEAU, M. e PLU, B., Statistical evaluation of fatigue strength of double shear riveted connections and crack growth rates of materials from old bridges. **Engineering Fracture Mechanics**, vol. 185, pp. 241–257, 2017.

NETO, M. F. N. **A construção da ponte metálica sobre o rio Potengi: aspectos históricos, construtivos e de durabilidade – Natal/RN, Brasil (1912-1916) – Estudo de caso**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, RN, 2013.

PEDROSA, B.; CORREIA, J. A.F.O.; REBELO, C.; LESIUK, G.; DE JESUS, A. M. P.; FERNANDES, A. A.; DUDA, M.; CALÇADA, R. and VELJKOVIC, M. Fatigue resistance curves for single and double shear riveted joints from old portuguese metallic bridges. **Engineering Failure Analysis**, n. 96, pp. 255 – 273, 2019.

SARKANI, S.; MAZZUCHI, T. A.; LEWANDOWSKI, D. AND KIHIL, D. P. Runout analysis in fatigue investigation. **Engineering Fracture Mechanics**, 74 (18), pp. 2971 – 2980, 2007.

TARAS, A. and GREINER, R. **Development and Application of a Fatigue Class Catalogue for Riveted Bridge Components**. Institute for Steel Structures and Shell Structures, Graz University of Technology, Graz, Austria. (Report ECCS TC6 – 2010) Riveted Components, pp. 1–27., 2010.



I CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA FERROVIÁRIA

27 de outubro a 29 de outubro de 2020

Universidade Federal do Pará, Universidade Federal de Santa Catarina e Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais

ESTUDO DE AVALIAÇÃO DA DISPONIBILIDADE DE ELEMENTOS DA VIA PERMANENTE DA ESTRADA DE FERRO CARAJÁS

Felipe SILVA^{1*}

1. *Universidade Federal do Pará, Instituto de Tecnologia*
** felipealberto.ms@gmail.com*

INTRODUÇÃO

Esse trabalho é uma proposta para aplicação de conceitos de disponibilidade à infraestrutura ferroviária, esses conceitos estão no âmbito do sistema RAMS (*reliability, availability, maintainability and safety*) e na análise da Dependência. Devido a restrições na abrangência das ferramentas de análise pesquisadas e dos dados de manutenção fornecidos, o trabalho é restrito a análise de disponibilidade relacionada a manutenções não planejadas que interferissem no período reservado à operação dos trens e na circulação dos trens. A motivação desse tema foi a importância de garantir que a operação ferroviária ocorra sem interrupções, para isso é crucial identificar os tempos de interrupção e suas causas. A operação ferroviária é complexa, portanto, quando uma falha na infraestrutura da via interrompe o tráfego, todas as outras áreas são penalizadas.

OBJETIVOS

A proposta de trabalho foi explorar e aplicar os conceitos de disponibilidade para ferrovias. Os objetivos foram, após o recebimento dos dados de manutenção da ferrovia necessários para determinar a disponibilidade da via durante os tempos dedicados para operação, realizar a caracterização dos tempos relativos à disponibilidade e dos elementos fonte da pane em cada ocorrência, e o cálculo da disponibilidade através das somas e das médias aritméticas dos tempos médios entre falhas (TMEF), dos tempos médios para reparo (TMPR) e trem hora parado (THP), os resultados serão dados por elemento da via permanente.

METODOLOGIA

Foram utilizados dados fornecidos pela área de controle de qualidade do administrador dessa ferrovia, os dados foram registrados no cadastro de ocorrências do centro de controle de operação dos trens para cada situação de falha na via durante o período planejado à operação. Os dados são da Estrada de Ferro Carajás, ferrovia de carga de minérios na região do norte do Brasil. Não foram avaliadas as falhas em obras de arte (pontes e túneis) nem nas estruturas abaixo da camada de sublastro. O trabalho também buscou separar os tempos relativos à manutenção dentro do planejamento de operação da ferrovia para a correta interpretação dos dados, e também separou as ocorrências por elemento e defeito.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

O resultado do trabalho é uma tabela relacionando cada elemento da via permanente destacado com: a frequência de ocorrências, a soma e a média da duração de reparo (TMPR), a soma e a média do THP, o TMEF e a disponibilidade associada. Foram encontrados os principais valores responsáveis pela avaliação da D_{IAC} (Disponibilidade inerente não planejada afetando a circulação dos trens): Tempo total e médio de reparo, o tempo total e médio de trens interrompidos, e o tempo médio entre falhas. Abaixo, esses resultados são apresentados por elemento.

Tabela 1. Frequência, Soma dos tempos de reparo, TMPR, soma e média do THP em horas e o TMEF por elemento da via permanente.

Elementos da Via Permanente	Frequência	Soma da Duração dos Reparos (h)	TMPR (h)	Soma do THP (h)	Média de THP (h)	TMEF (D_{IAC}) (h)	D_{IAC}
AMV	211	176,19	0,835	1762,33	8,35	41,36	97,98
Atraso	85	84,47	0,994	790,50	9,30	100,69	99,01
Dormente	5	5,13	1,026	104,14	20,83	1621,08	99,94
Inspeção	26	22,93	0,882	311,10	11,97	334,54	99,74
Lastro	2	1,48	0,742	193,50	96,75	4135,64	99,98
Palmilha	9	11,96	1,329	46,64	5,18	793,17	99,83
S. Bloco	13	16,25	1,250	370,23	28,48	595,49	99,79
Solda	63	71,82	1,140	730,23	11,59	137,56	99,17
Sujeira	48	39,56	0,824	340,68	7,10	177,11	99,53
Tala	12	11,25	0,937	60,93	5,08	678,90	99,86
Trilho	70	72,41	1,034	496,70	7,10	120,45	99,14
N/I	139	157,90	1,136	2618,68	18,84	61,70	98,16
Resumo	684	673,99	0,985	7828,29	11,44	12,76	92,28

Fonte: Autor.

CONCLUSÕES

Ao final, a disponibilidade para manutenções na via permanente em período não planejado que afetassem a operação foi de 92,30%.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5462. **Confiabilidade e Manutenibilidade**. 1993.

SMITH, David John. **Reliability, Maintainability and Risk**. 8 ed. Oxford: Elsevier Ltd., 2011.



I CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA FERROVIÁRIA

27 de outubro a 29 de outubro de 2020

Universidade Federal do Pará, Universidade Federal de Santa Catarina e Instituto

Federal do Sudeste de Minas Gerais

STAPELBERG, Rudolph Frederick. *Handbook of Reliability, Availability, Maintainability and Safety in Engineering Design*. Springer. 2009.

STENSTRÖM, Christer Tord Simon. Measuring and Monitoring Operational Availability of Rail Infrastructure. In: STENSTRÖM, Christer Tord Simon. *Operation and Maintenance Performance of Rail Infrastructure*. Doctoral Thesis. Luleå University of Technology. 2014.



I CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA FERROVIÁRIA

27 de outubro a 29 de outubro de 2020

**Universidade Federal do Pará, Universidade Federal de Santa Catarina e Instituto
Federal do Sudeste de Minas Gerais**

DESCARTE IRREGULAR DE RESÍDUOS SÓLIDOS NA LINHA FÉRREA EM UM TRECHO URBANO DA CIDADE DE SANTOS DUMONT, MINAS GERAIS

Amanda Andressa de Souza CARVALHO^{1*}; Fernando Paulo CANESCHI¹

*1. IFSUDESTEMG – campus Santos Dumont, Departamento de ferrovia
* carvalho.amandasouza@gmail.com*

INTRODUÇÃO

O sistema de drenagem é composto pelos elementos que promovem o escoamento satisfatório das águas pluviais e conseqüentemente evitam o processo de degradação da via. No caso de alagamento, pode promover a ocupação do circuito da via, o que dificulta a visualização correta da posição do trem pelo centro de controle operacional (HENRIQUES, 2006).

Em áreas urbanas, parte da população tem hábito de depositar, de forma irregular, diversos tipos de resíduos sólidos no perímetro ferroviário (ÁBALOS, MOSSERI e SULIMAM 2012). Com a chuva os resíduos sólidos tenderão a ser carreados para os elementos de drenagem

Os trechos ferroviários que cortam áreas pouco urbanizadas e com menores índices de atividade humana possuem menores taxas de manutenção. O que torna nítido a relação existente entre o local em que se encontra a via férrea e os custos logísticos necessários para manter de forma adequada a ferrovia (REVISTA CONEXÃO, 2017).

OBJETIVOS

O presente trabalho tem como objetivo geral, avaliar possíveis impactos técnicos resultantes da deposição de lixo bem como aqueles de caráter socioambiental.

METODOLOGIA

A primeira etapa consistiu em revisão de literatura e delimitar o trecho de campo de estudo. Também produziu-se um mapa através de foto aérea, do GoogleMaps, para referido trecho.

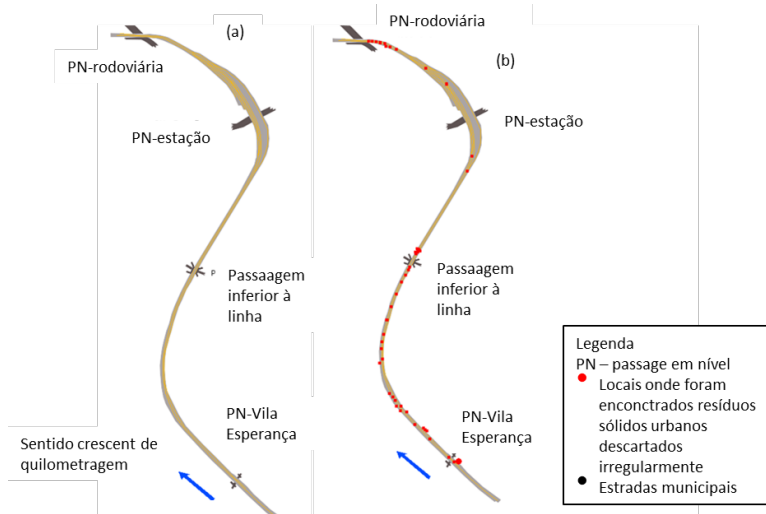
A segunda etapa percorreu-se o trecho, analisando o sistema geral de drenagem e a linha propriamente dita. Registrou-se a presença de resíduos sólidos urbanos (RSU) por fotografias e o local, por demarcação de um ponto no mapa do trecho. Realizou-se ainda análise, em campo, de possíveis origens/causas da presença de RSU na linha férrea.

A terceira, tratou-se os dados por meio de software livre de edição de imagem, o Gimp. Após a editoração da imagem, passou-se a análise e discussão dos dados coletados.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 1(a) ilustra o trecho escolhido para a investigação de campo, ao passo que a Figura 1 (b) apresenta o mesmo trecho com os pontos, em vermelho, de descarte encontrados ao longo do trecho.

Figura 2. Esquema do trecho estudado (a) e identificação dos pontos de descarte irregular (b).



Através da análise dos dados, observou-se que a maior concentração desses pontos (Figura 1 (b)) está localizada entre a PN - Vila Esperança e a Passagem inferior.

A Figura 2 de modo geral retrata cenas do trecho estudado com material descartado irregularmente nas proximidades da linha férrea.

Figura 3 Imagens de resíduos sólidos descartados nos arredores da via permanente.



Na Figura 2 (a) observa-se a obstrução da canaleta, resultante de uma passagem clandestina de pedestres. Esse descarte irregular, pode gerar consequências, como a poluição visual, a presença de mal cheiro, proliferação de vetores como o mosquito transmissor da dengue e derivados, roedores, que por sua vez criam um ambiente propício para o desenvolvimento de uma cadeia alimentar. Na Figura 2(b) observa-se o descarte de esgoto doméstico dentro de um elemento de drenagem. Na Figura 2 (c), localizada próximo à PN – Vila Esperança, além do descarte de lixo, observa-se uma residência que possui acesso único e pela linha férrea. Isso gera como consequência o aumento do descarte de lixo nos arredores da linha férrea e consequente maiores esforços de manutenção por parte da operadora.

Na Figura 2 (d,e), localizada nas proximidades da PN – Rodoviária observou-se descarte de carcaças de celulares. Ressalta-se que o descarte não ocorre apenas com objetos de pequeno porte, mas chega-se ao ponto de encontrar pneus (Figura 2 (f)) no sistema de drenagem ferroviário. Independentemente do tipo e quantidade dos resíduos identificados na análise, ressalta-se que estes prejudicam o sistema de drenagem da ferrovia, sobretudo a saúde da população circunvizinha.

Percebe-se a necessidade de uma possível ação sociocultural. Para isso propõe-se a implementação de um plano de ação para conscientizar e sensibilizar a população envolvida sobre descarte irregular de RSU.

CONCLUSÕES

Por meio do presente trabalho, se conclui que o trecho ferroviário analisado sofre com o descarte irregular de resíduos sólidos ao longo da via permanente. O tipo de material descartado pode gerar simplesmente poluição visual até obstrução do sistema de drenagem local, passando por problemas de saúde nas



I CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA FERROVIÁRIA

27 de outubro a 29 de outubro de 2020

Universidade Federal do Pará, Universidade Federal de Santa Catarina e Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais

pessoas que vivem nas proximidades. Conclui-se ainda que uma ação de parceria entre concessionária e órgão público poderá minimizar o problema apresentado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ábalos, Felipe; Sulimam, Felipe; Mosseri, Igor; Ota, Nádia; Farina, Rafael. **Gestão de Resíduos Sólidos e Impactos sobre a Drenagem Urbana**. 17 f, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012. Disponível em: <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwjCkfuqjaHsAhXF D7kGHW2eAF0QFjABegQIBRAC&url=http%3A%2F%2Fwww.pha.poli.usp.br%2FLeArq.aspx%3Fid_arq%3D6457&usg=AOvVaw1CO7yf8AAHax-iqnF8ZnJu>

HENRIQUES, César de Freitas. **Manutenção de Via Permanente com Foco na Produção**. 2006. 65 f. Monografia - Curso de Curso de Especialização em Transporte Ferroviário de Carga, Curso de Especialização em Transporte Ferroviário de Carga Instituto Militar de Engenharia Academia MRS, Rio de Janeiro, 2006. Disponível em: <<http://transportes.ime.eb.br/etfc/monografias/MON006.pdf>>. Acesso em: 12 maio 2017.

REVISTA CONEXÃO: **Impactos da Deficiência do Sistema de Drenagem em Vias Férreas**. In Três Lagoas: Aems, v. 14, 2017. Anual. Engenheiro Civil; Mestrando em Recursos Hídricos e Tecnologias Ambientais – Unesp; Docente das Faculdades Integradas de Três Lagoas – Fitl/aems. Disponível em: <revistaconexao.aems.edu.br/wpcontent/plugins/download.../download.php?id=1538>. Acesso em: 4 jun. 2017.



I CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA FERROVIÁRIA

27 de outubro a 29 de outubro de 2020

**Universidade Federal do Pará, Universidade Federal de Santa Catarina e Instituto
Federal do Sudeste de Minas Gerais**

EFICIÊNCIA LOGÍSTICA E CRESCIMENTO ECONÔMICO – UMA ABORDAGEM QUANTITATIVA

**Charles Lopes Ribeiro^{1*}; João Paulo Albuquerque Kalil¹; Philipe Pacheco²; Débora Magalhães
Kirchmair¹**

1. *IFSUDESTEMG – campus Santos Dumont, Departamento de Transporte de Cargas*
2. *IFSUDESTEMG – campus Santos Dumont, Departamento de Ferrovias*

**charlesomega1@hotmail.com*

INTRODUÇÃO

Países com sistemas logísticos desenvolvidos tendem a proporcionar mais qualidade de vida com acesso a bens e serviços de maneira mais eficiente com custos acessíveis. Nesse quesito, a manutenção e expansão do modal ferroviário, é extremamente importante para a sociedade.

OBJETIVOS

Utilizando de indicadores como, Malha Ferroviária/1000Km². TKU (Toneladas por Quilômetro Útil), Eficiência logística, Qualidade da infraestrutura logística, do grupo amostral dividido em países desenvolvidos e subdesenvolvidos, juntamente, com o PIB corrente, na série temporal de 2007-2017, esse artigo busca medir a influência dos indicadores logísticos e do transporte ferroviário, na eficiência e qualidade de um país.

REFERENCIAL TEÓRICO

Segundo Ballou (2006) a cadeia de suprimentos, relaciona-se com o fluxo de mercadorias, desde a matéria-prima, até o usuário final. Segundo Bowersox et al (2014), o sistema de transportes é composto e sofre influência de diversos atores, como, O embarcador e Destinatário, a Transportadora, o Governo, a internet, e o Público.

METODOLOGIA

Essa é uma pesquisa de cunho exploratório e quantitativo, visto que busca avaliar o desempenho logístico de países, através de modelos matemáticos, aplicados a fatores financeiros, econômicos e logísticos, constitui-se uma pesquisa bibliográfica, tratando da cadeia de suprimentos, sistema transportes ferroviários e infraestrutura logística. As fontes secundárias utilizadas advêm de livros, artigos e de instituições referendadas como o Banco Mundial, ANTF e IPEA.

Para tratar os dados, foi utilizado o procedimento estatístico com teste de hipóteses paramétrico. Nesse



procedimento foi utilizada uma técnica de estatística multivariada, a análise de regressão linear múltipla com o emprego do método dos mínimos quadrados generalizados.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Feita à análise de estatística descritiva, com os indicadores citados anteriormente, os resultados foram agrupados na tabela a seguir, relatando os dados referentes aos valores Máximos, Mínimos, Média e Desvio Padrão, dos países Desenvolvidos e Subdesenvolvidos (BRIC). Os indicadores analisados foram: PIB, Malha Ferroviária/ 1000 km², TKU, Eficiência Logística, e Qualidade de Infraestrutura.

Tabela 1: Estatística descritiva dos indicadores em painel

Grupos de países em análise	Estatística descritiva	Produto Interno Bruto	Malha Ferroviária /1000 km ²	TKU railways	Eficiência Logística	Qualidade de Infraestrutura
BRIC	Média	4,99%	8,7	6,13	3,044	2,965
	Valor Máximo	14,23%	20,5	6,41	3,661	3,752
	Valor Mínimo	-7,82%	3,4	5,39	2,368	2,230
	Desvio Padrão	4,42%	6,5	5,97	0,368	0,436
Países Desenvolvidos	Média	0,79%	54,4	5,82	3,911	4,063
	Valor Máximo	4,19%	94,9	6,43	4,226	4,439
	Valor Mínimo	-5,61%	16,1	4,00	3,575	3,519
	Desvio Padrão	2,30%	27,3	6,03	0,176	0,240

Nota: Os valores do PIB real estão em termos percentuais; a variável TKU está em formato de logaritmo. Os indicadores de eficiência e infraestrutura logística estão numa escala internacionalmente pré-definida que varia de 0-5.

Resultados do Modelo de Eficiência Logística.

Complementando a pesquisa, foi realizada uma regressão da eficiência logística como variável dependente, para representar os modelos de eficiência logística de cada país.

Baseando-se no teste de Hausman, foi escolhido o modelo de efeitos aleatórios, A significância do teste de Hausman foi de 0,2982 aceitando a hipótese nula do teste.



I CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA FERROVIÁRIA

27 de outubro a 29 de outubro de 2020

Universidade Federal do Pará, Universidade Federal de Santa Catarina e Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais

Resultado do modelo de eficiência logística

EfiLog	Coefficiente	Desvio Padrão	z	Z Valor
MalhaFe	0,0014	0,0008	1,77	0,077***
TKUfe	0,0075	0,0214	0,35	0,724
QualiInfra	0,7377	0,0624	11,82	0,000*
Const.	0,7975	0,2411	3,31	0,001*

Esse modelo é uma regressão linear simples que busca verificar se a variável eficiência logística de um país afeta o PIB.

Resultado do modelo de desenvolvimento pela eficiência logística.

PibcurrentLogtmz	Coefficient	Standard deviation	z	Z Valor
EfiLog	0,5075	0,0718	7,06	0,000*
Const.	10,791	0,2712	39,78	0,000*

Nota: Os valores significantes a 1%, 5% e 10% estão indicados por *, ** e ***, respectivamente.

CONCLUSÕES

Portanto, pode se concluir que investir em infraestrutura logística e em malhas ferroviárias contribui para o aumento da eficiência logística. E o resultado do segundo modelo, revela que o aumento da eficiência logística impacta no crescimento dos países. Logo, a variável eficiência logística afeta positivamente o PIB dos países da amostra.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BALLOU, Ronald H. **Gerenciamento da cadeia de suprimentos/logística empresarial**. 5 ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.

BOWERSOX, Donald J. *et al.* **Gestão Logística Da Cadeia de Suprimentos**. Porto Alegre: AMGH Editora Ltda, 2014.



ESTUDO DO DESGASTE DOS INSERTOS UTILIZADOS NA FRESAGEM DE RODAS FERROVIÁRIAS

Thiago MENDES^{1*}; Philipe PACHECO¹; Richard Júnior²

1. IF Sudeste MG – Campus Santos Dumont, Ferrovia

2. IF Sudeste MG – Campus Muriaé, Mecânica

* thiagomendes008@gmail.com

INTRODUÇÃO

As rodas são retiradas de serviço e enviadas para manutenção quando as dimensões do friso e do aro atingem os limites de condenação. O friso fino, abaixo de 20,6 mm, pode provocar quebra do friso e aumenta o risco de descarrilamento em curvas. O friso alto é uma característica do desgaste excessivo na pista de rolamento e causa danos aos aparelhos de mudança de via (AMV). O friso vertical é especialmente danoso ao direcionamento do rodeiro em razão da perda de conicidade da pista e do raio de concordância na raiz do friso, também provoca danos aos AMVs. A altura do aro está relacionada à segurança da roda quanto às solicitações mecânicas e térmicas (SISDELLI,2006).

A recuperação das rodas consiste no processo de reperfilamento por usinagem em fresa ou torno mecânico. Este processo refaz os contornos dos aros das rodas do rodeiro através da retirada de material. Após o processo, recupera-se a forma e as dimensões do perfil original dos contornos dos aros. Como consequência, reduz-se o diâmetro das rodas através da diminuição da espessura dos aros. A utilização das fresas e tornos garantem a obtenção de rodas simétricas após a operação.

Durante o processo de reperfilamento, os insertos estão expostos a diferentes condições, dependendo do tipo de desgaste da roda, o que interfere diretamente no seu desgaste, podendo levar à quebra da pastilha.

OBJETIVOS

O objetivo do presente trabalho é avaliar o desgaste nos insertos utilizados na fresagem de rodas.

METODOLOGIA

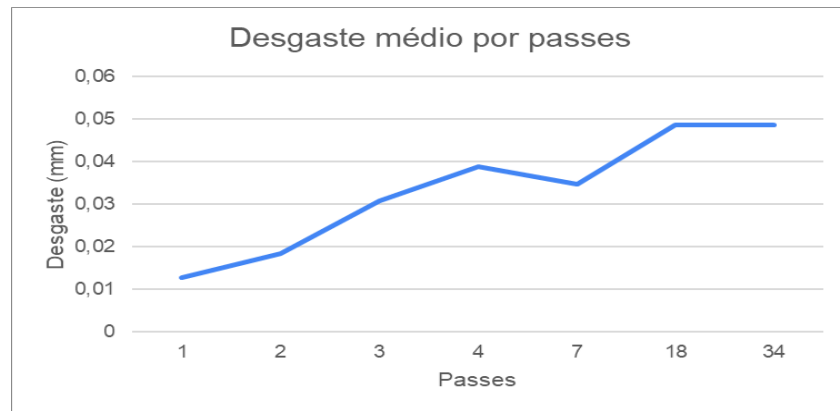
Foi utilizado a fresadora Kawasaki de 1979, presente na oficina da MRS Logística S.A. em Santos Dumont. A fresa de rodas ferroviárias consiste em um cabeçote com o perfil da roda, onde são posicionados 150 insertos de corte, os quais estão divididos em 10 lâminas com 15 ferramentas de corte cada.

O avanço e a profundidade de trabalho utilizados, assumem valores iguais à 350mm/min e 2mm, respectivamente. A rotação foi fixada em 150rpm. O processo de fresamento é realizado à seco.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 1 mostra um gráfico com a média do desgaste encontrado em cada análise. Como era de se esperar, o valor do desgaste aumentou a cada observação. Além disso, quando se utiliza ferramentas de metal-duro revestidas, no início os desgastes crescem lentamente devido à resistência do revestimento, mas após atingir valores de desgaste (VB) elevados, as camadas de revestimento são consumidas quase que totalmente e o substrato menos resistente fica exposto ao processo, aumentando consideravelmente o desgaste, podendo levar a quebra (SOUZA, 2004).

Figura 1: Desgaste médio dos insertos por passe.



Analisando a Figura 2, que mostra o desgaste médio em todos os passes por inserto, pode-se concluir que os insertos 2 e 3 apresentaram os maiores desgastes. Esses realizam a usinagem bem na região da pista, onde ocorre o encruamento. Esse aumento de dureza superficial do material usinado coopera para o aumento de desgaste dos insertos que trabalham nesse local.

Figure 2: Desgaste médio em todos os passes por inserto





I CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA FERROVIÁRIA

27 de outubro a 29 de outubro de 2020

Universidade Federal do Pará, Universidade Federal de Santa Catarina e Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais

Alguns insertos apresentando lascamento prematuro, fato que pode ser explicado por variações do estado das rodas usinadas. Além disso, o perfil do cabeçote de fresamento é bem complexo, haja vista que deve acompanhar o perfil da roda, assim sendo, apesar da rotação ser a mesma para todos os insertos, alguns estão localizados em diâmetros diferentes, logo, trabalham com velocidades de corte distintas, o que interfere significativamente nos mecanismos de desgaste e avarias. Mesmo alguns insertos que não apresentaram lascamento possuíam trincas térmicas bem visíveis na superfície de saída.

CONCLUSÕES

Com todas as observações feitas, podemos concluir que:

- O desgaste de flanco e as trincas térmicas foram os mais comuns encontrados e são as principais razões para o lascamento e a quebra dos insertos.
- A região que apresenta a maior quantidade de desgaste de insertos é na região da pista de rolamento. Isso pode ser explicado pelo fato de que essa região é a que mais tem contato com o trilho, logo, existe um aumento da dureza da roda nessa região por encruamento;
- Outra região que apresentou uma certa quantidade de desgaste é a região do friso. Isso se justifica pelo fato de que as condições da ferrovia onde as locomotivas em análise trafegam, proporcione a presença de friso alto e grosso.

AGRADECIMENTOS

O presente projeto agradece o apoio da MRS Logística S.A. e do Campus Juiz de Fora do IF Sudeste MG.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

MELO, A. C. A.; MACHADO A. R.; FRANCO, S. D. **Estudo da formação de trincas de origem térmica no fresamento**. Congresso nacional de engenharia mecânica 2000, Natal, 2000.

NETO, A.L. **O Desgastes de Rodas e o Processo de Reperfilamento**. 2006. 62f. Monografia (Especialização em Transporte Ferroviário de Carga) – Instituto Militar de Engenharia (IME), Rio de Janeiro.

OKAGATA, Y. **Design Technologies for Railway Wheels and Future Prospects**. Nippon Steel & Sumitomo Metal Technical report No.105, n.105, p.26-33, 2013.

SISDELLI, A. **Estudo de Desgastes de Rodas e suas Consequências no Material Rodante e na Via Permanente**. 2006. 124f. Monografia (Especialização em Transporte Ferroviário de Carga) – Instituto Militar de Engenharia (IME), Rio de Janeiro.

SOUZA, A.J. **Aplicação de Multisensores no Prognóstico da Vida da Ferramenta de Corte em Torneamento**. 2004. Tese de doutorado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina.



IMPLANTAÇÃO DA GESTÃO DE ATRITO NA ESTRADA DE FERRO CARAJÁS (EFC)

Eric PRETTI¹; Felipe SIMÕES¹; Bras OLIVEIRA¹

1. Vale S/A, Engenharia Ferroviária Corredor Norte

INTRODUÇÃO

O atrito entre a roda e o trilho representa uma perda de energia, adicionando resistência ao movimento que gera um adicional esforço trator. A perda de energia é manifestada no consumo de combustível, no desgaste e nas superfícies de contato da roda e do trilho. Como exemplo, um trem longo de carga para transpor um quilômetro de via, gera em torno de 600 gramas de material proveniente de trilho e roda. Isto ocorre através do processo de desgaste e deformação plástica que é consequência do atrito.

A adição de uma substância lubrificante para o contato sólido-sólido reduz o atrito. Assim, leva-se a um desgaste menor, com redução na geração de calor e perda de energia. Porém, o baixo atrito causa problemas de adesão e frenagem, pondo em risco a segurança da operação ferroviária. Além disso, afeta a tração do material rodante. Por outro lado, se o coeficiente de atrito é muito alto, aumenta a fadiga na superfície do trilho e da roda. O Gerenciamento do Atrito consiste em controlar o atrito na interface roda-trilho em níveis ideais para otimizar a operação ferroviária. Através do controle na região do terceiro corpo

OBJETIVOS

Avaliar e implantar a melhor estratégia a ser adotada para o gerenciamento de atrito na Estrada de Ferro Carajás.

METODOLOGIA

Foi analisado o traçado e o perfil altimétrico da ferrovia, além de levar em consideração as características operacionais para adoção do melhor método de gerenciamento de atrito. Dada a viabilidade de instalação do TOR (Top Of Rail), foram utilizados dois aplicadores como teste, na região da ferrovia com o maior potencial de ganho do equipamento. Avaliou-se a redução de desgaste dos trilhos, o retardamento dos defeitos por fadiga de contato de rolamento, além de maiores intervalos entre ciclos de esmerilhamento na região.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os aplicadores do TOR colocados para teste, resultaram em uma redução no desgaste do trilho entre 14% a 17% na região molhada (local de aplicação do TOR). Isto motivou a instalação definitiva de 40 aplicadores do TOR, espalhados na região de maior concentração de curvas e rampas da EFC.



I CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA FERROVIÁRIA

27 de outubro a 29 de outubro de 2020

Universidade Federal do Pará, Universidade Federal de Santa Catarina e Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais

A implantação do projeto definitivo foi iniciada em abril de 2019, encerrando-se em dezembro deste mesmo ano.

Conseguiu-se obter resultados no controle dos RCF's na região, alcançando até a redução dos defeitos, pela combinação do uso do TOR com os ciclos de esmerilhamento. Por conseguinte, foi verificado o esmerilhamento dos trilhos poderiam ter maiores intervalos entre ciclos, aumentando de 20 MTBT (Milhões de Toneladas Brutas Transportadas) até 26 MTBT.

Apesar do conhecimento de benefícios do TOR para a redução no consumo de combustível, com base em trabalhos realizados em outras ferrovias, ainda não foi possível avaliar este ganho na aplicação do TOR da EFC. No entanto, estão sendo avaliados os meios de obter este resultado.

Como os aplicadores instalados do TOR são relativamente recentes na ferrovia, não se conseguiu avaliar plenamente a redução no desgaste dos trilhos em toda região. Porém, considerando-se apenas os primeiros aplicadores instalados, obteve-se uma redução no desgaste dos trilhos em até 10%.

CONCLUSÕES

Considera-se que a implantação do TOR na EFC teve o alcance dos resultados esperados. Verificou-se que o investimento realizado para a implantação do sistema teve o seu retorno dentro do orçamento planejado. Porém, demais ganhos como a redução no consumo de combustível e uma avaliação mais refinada na redução de desgaste dos trilhos, vão sustentar a manutenção de perpetuação no uso do sistema pela ferrovia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BNSF. **TOR presentation**. Forth North, 2011.

CRC Rail. **Annual report – Rail curve lubrication best practice for Australian heavy haul lines**. Brisbane, 2011.

VIDON, F. **Gerenciamento de Atrito**. CH.Vidon–Especialistas, Serviços e Equipamentos Ferroviários, Juiz de Fora, 2016.

FRA. **A Survey of Wheel/Rail Friction**. Federal Railroad Administration, Washington, 2017.

LB Foster. **KELTRACK® ER Plus Top of Rail Friction Modifier**. L.B. Foster Company, 2018.



I CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA FERROVIÁRIA

27 de outubro a 29 de outubro de 2020

Universidade Federal do Pará, Universidade Federal de Santa Catarina e Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais

EVOLUÇÃO DAS RODAS FERROVIÁRIAS FORJADAS NO TRANSPORTE HEAVY HAUL

Domingos José MINICUCCI^{1*}; Renato Lyra VILLAS BOAS²; Luiz Gustavo OLIVEIRA³

1. *DJ Consulting*

2. *MWL Brasil Rodas & Eixos Ltda, Engenharia*

3. *Instituto Federal São Paulo, Departamento de Materiais*

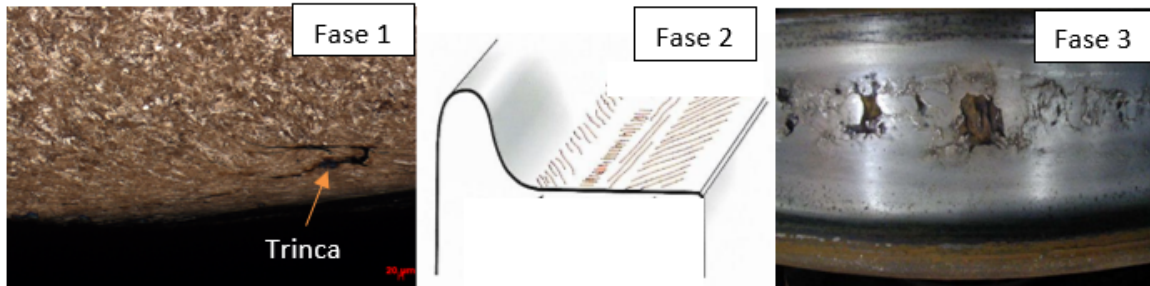
**domingosminicucci@terra.com.br*

INTRODUÇÃO

A carga por eixo nos vagões de carga vem aumentando ao longo dos anos, com isto, as tensões atuantes nas rodas ferroviárias também são crescentes impulsionando a sua evolução em termos de material e de design para se adequar à estas necessidades. Em 1970, a carga por eixo no Brasil era de 20 toneladas, hoje temos ferrovias operando em território nacional com 35 toneladas. Porém, o recorde mundial é da Austrália com 45 toneladas por eixo para transporte de minério (HEMSWORTH, 2015). Devido a carga por eixo ter sido dobrada nos últimos 40 anos, foi criada uma nova categoria chamada de carga pesada (heavy haul), que contempla composições acima de 30 toneladas por eixo. Neste nicho de mercado surgiram as rodas microligadas, que tem como função principal suportar as altas cargas por eixo com materiais de alto limite de escoamento, alta dureza e alta tenacidade, propiciando redução do shelling com aumento da resistência à fadiga. A norma para rodas mais usada no mundo no transporte heavy haul é a AAR (Association of American Railroads). Esta norma criou, em 2011, a categoria de rodas Classe D, microligadas com propriedades específicas (AAR Section G, 2016). A análise de elementos finitos adotada pela AAR (AAR Section S660, 2016) também ajudou no desenvolvimento de novas geometrias para o disco das rodas, visando a redução das tensões em serviço com o constante aumento da carga por eixo.

Quando a tensão de contato é alta suficiente, deformações plásticas começam a se acumular até que a ductilidade do material é vencida e a trinca tem início (fase 1, figura 1). Com a progressão das trincas elas afloram à superfície (fase 2, figura 1), se unem umas às outras provocando o destacamento de material da roda (fase 3, figura 1). Este fenômeno é chamado de shelling, sendo a falha mais comum em rodas no transporte heavy haul. Logo o shelling ocorre a baixas temperaturas ou temperatura normal de frenagem (em torno de 350 °C).. O aumento da tensão de escoamento e da dureza do material reduz a ocorrência de shelling (STONE, 1992), sendo este o objetivo das rodas microligadas. A figura 1 mostra a evolução do shelling nas rodas.

Figura 1. Fases da evolução do shelling nas rodas ferroviárias (MINICUCCI, 2020).



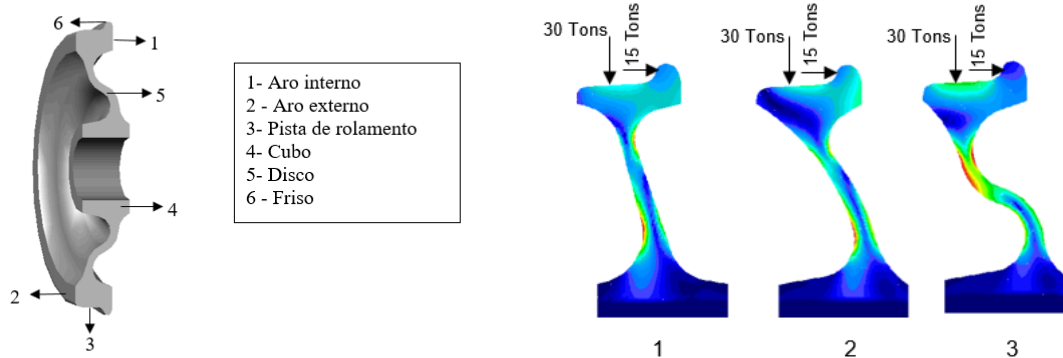
OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é destacar a evolução dos materiais empregados na fabricação das rodas ferroviárias forjadas para o transporte heavy haul, aliado à evolução do design das rodas amparado pela técnica de elementos finitos adotada pela AAR.

METODOLOGIA

Para mostrar a evolução do design das rodas forjadas visando a redução das tensões em serviço, foi feita a simulação em elementos finitos tomando-se como base a roda AAR K-36. O estudo de elementos finitos foi elaborado conforme AAR parte S 660, onde podemos verificar, em termos de tensão, as melhorias proporcionadas pelas mudanças na geometria do disco ao longo dos anos. Três rodas K-36 com diferentes perfis de disco, foram simuladas na última vida com as mesmas cargas estáticas indicadas pela AAR M107 (S 660), com objetivo de obter um mesmo parâmetro de comparação dos resultados, conforme figura 2. A Norma AAR M107 (S 660) especifica um carregamento estático lateral (friso) de 15 Ton e vertical (pista) de 30 Ton para análise de elementos finitos na K-36, considerando a roda na última vida (condição mais crítica).

Figura 2. Nomenclatura e evolução da forma geométrica do disco das rodas forjadas para análise de tensões por elementos finitos conforme AAR S-660. 1- Disco reto, 2 – Disco parabólico, 3 – Disco em “S” (MINICUCCI, 2011).



Conforme sua evolução, o primeiro disco criado para rodas de carga foi o reto, depois o parabólico e atualmente o disco em “S”.

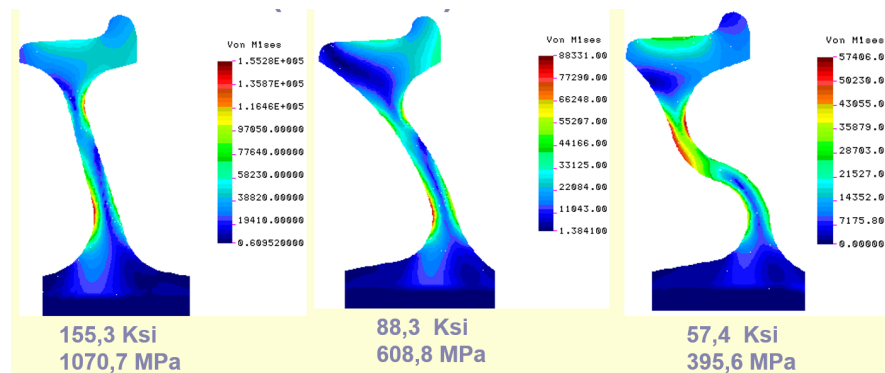
Para mostrar a evolução dos materiais das rodas forjadas, foram ensaiadas rodas AAR classe C, material utilizado para as rodas heavy haul antes dos aços microligados, e rodas AAR microligadas classe D com vanádio e nióbio, este último desenvolvido na UNICAMP. O elemento de microliga mais utilizado nas rodas ferroviárias atualmente é o vanádio, porém o nióbio está se mostrando uma microliga eficiente para rodas ferroviárias forjadas (MINICUCCI, 2020). Estes elementos aumentam a resistência do aço e a tensão de escoamento pela redução do tamanho de grão austenítico (CALISTER, 2012). Os seguintes ensaios físicos e metalográficos foram contemplados para comparação dos materiais das rodas ferroviárias forjadas: tração no aro, mapa de dureza no aro, tamanho de grão austenítico e tenacidade à fratura no aro. As rodas ferroviárias tem microestrutura perlítica, a qual com o sucessivo aumento da carga por eixo, está chegando no limite da sua resistência (SHARMA, 2016). A microestrutura bainítica está em desenvolvimento no aro da roda para suprir esta demanda, neste caso, o nióbio se mostra uma boa opção.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

1 – Análise de elementos finitos

A figura 3 mostra os resultados da simulação em elementos finitos para os diferentes perfis de disco da K-36 forjada.

Figura 3. Tensões máximas no disco das rodas AAR K 36, segundo AAR S 660.



2 – Propriedades mecânicas e tamanho de grão austenítico

A tabela 1 mostra os resultados comparativos para rodas forjadas entre os aços AAR classe C (sem microliga) e os aços microligados com vanádio e nióbio.

Tabela 1. Comparação entre os aços AAR classe C e microligados com vanádio e nióbio

Material	Ensaio (valores típicos)							Tamanho de Grão (µm)
	Tração*				Tenacidade à Fratura (K _{Ic}) MPa√m*			
	Escoamento (MPa)	Resistência (MPa)	Alongamento (%)	R. Área (%)	A	B	C	
C	780	1142	13	34	45	48	50	38
Vanádio	922	1182	14	37	55	52	48	16
Nióbio	894	1151	15	40	66	66	63	11

*Corpos de prova retirados do aro da roda a 120 °, conforme AAR M107/280, section G, 2016.

■ Melhores resultados

A figura 4 com auxílio da tabela 2, mostram os valores típicos das durezas no aro dos 3 materiais há 9,5 mm de profundidade da pista da roda.

Figura 4. Localização dos pontos de dureza no mapa das rodas ensaiadas.

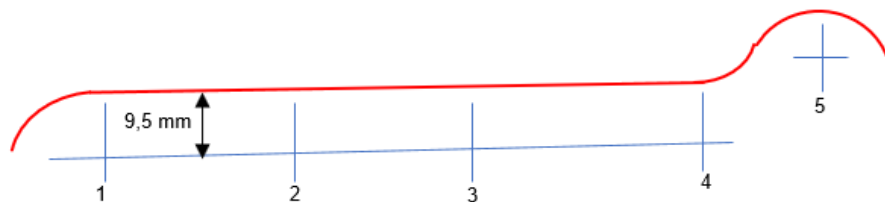


Tabela 2. Dureza das rodas em Brinell

Material	Durezas em Brinell (BNH)				
	Ponto				
	1	2	3	4	5
C	351	351	351	340	340
Vanádio	380	380	375	370	360
Nióbio	384	384	375	360	364

CONCLUSÕES

As seguintes conclusões podem ser consideradas nesta pesquisa:

A evolução da carga por eixo depende da evolução dos materiais e do design da roda.

Os aços microligados são responsáveis um avanço significativo no aumento da carga por eixo no transporte heavy haul.



I CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA FERROVIÁRIA

27 de outubro a 29 de outubro de 2020

**Universidade Federal do Pará, Universidade Federal de Santa Catarina e Instituto
Federal do Sudeste de Minas Gerais**

Novas pesquisas têm sido desenvolvidas para introdução da microestrutura bainítica na pista da roda, pois a perlita está próxima do seu limite de resistência com aumentos sucessivos da carga por eixo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

AAR – Association of American Railroads – **Manual of Standards and Recommended Practices Section G – Wheels and Axles**, M-107/M208, 2016.

CALLISTER, W. D.; RETHWISCH, D. G. **Ciência e Engenharia de Materiais uma Introdução**. Oitava edição Livros Técnicos e Científicos Editora, Rio de Janeiro, 2012, 817p.

HEMSWORTH, A.; ORJEKH, I. **Development of 42 tons axle load heavy haul wheel**. International Heavy Haul Congress, p. 617 - 626, Perth, 2015.

MINICUCCI, D. J. **Desenvolvimento de aço microligado ao nióbio com microestrutura perlítica bainítica para rodas ferroviárias forjadas classe D**. Tese de doutorado – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2020.

MINICUCCI, D. J. **Rodas e eixos ferroviários conceitos básicos**. Apostila MWL Brasil, 2011, 145p.

SHARMA, S.; SANGAL, S.; MONDAL, K. **Wear behavior of bainitic rail and wheel steels**. Materials Science and Technology, v. 32:4, p. 266-274, 2016.

STONE, D. H.; MOYAR, G. J.; GUINS, T. S. **An interpretative review of wheel shelling and spalling**. ASME Rail Transportation, v. 5, p. 97-103, 1992.

Apoio Institucional

