

# **PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA DE MATERIAIS E PROCESSOS INDUSTRIAIS**

**Trabalho de Conclusão – 2025**



## Trabalho de Conclusão

**Título:** ANÁLISE DE DESEMPENHO DAS ESTRATÉGIAS DE USINAGEM CAM EM FRESAMENTO CNC

**Autor:** FERNANDO ROBERTO DOS SANTOS BARBOSA

**Tipo do Trabalho:** TRABALHO DE CONCLUSÃO

**Data da Defesa:** 31/03/2025

**Resumo:** Essa pesquisa aborda a importância do processo de usinagem, em especial o fresamento, para a competitividade da indústria. Etapas como a preparação da máquina, escolha correta da ferramenta de corte, definição dos parâmetros de usinagem e a programação do caminho da ferramenta foram fundamentais para a eficiência do processo. Nesse contexto, o objetivo desse estudo é analisar o desempenho de diferentes estratégias de usinagem, comparando os tempos de software com os tempos de máquina. Esse trabalho analisou o desempenho de quatro estratégias de usinagem, focando na comparação entre os tempos gerados por software e os tempos reais de máquina. Foi identificada a estratégia de usinagem CAM com o menor tempo como sendo a Wave Form, ao comparar com as demais estratégias disponíveis no software de programação Edgcam, que incluem as estratégias Concêntrica, Espiral e Zig-Zag. Nesse estudo, ficou evidenciado que a relação de tempo entre software e máquina têm influência direta dos parâmetros de corte informados na programação. Ficou constatado nesse estudo uma relação de 18% de aumento no tempo de usinagem real, em comparação ao tempo estimado pelo software CAM. Contudo, a estratégia que considerou o deslocamento lateral em 3% apresentou o maior tempo de usinagem em comparação com as demais, ficando com uma margem de 58% a mais, em relação a estratégia de corte com 8% de incremento lateral, o qual demonstrou equilíbrio entre as grandezas estudadas, oferecendo boa estabilidade dimensional. Apesar das demais dimensões estarem dentro do campo de tolerância projetado, ficou evidenciado que o deslocamento lateral de 3% resulta em uma precisão dimensional de maior qualidade em relação as demais estratégias. A média dimensional para as 32 dimensões avaliadas no eixo "X" foi de 55.009mm, e de 30.012mm para as 32 dimensões avaliadas no eixo "Y". Os valores com maior diferença dimensional foram identificados nos 04 últimos alojamentos usinados, o que pode representar o desgaste da ferramenta de usinagem.

**Palavras-Chave:** Usinagem, Fresamento, Software CAM, Estratégias de Usinagem, Wave Form, Precisão Dimensional.

**Abstract:** This research addresses the importance of the machining process, particularly milling, for the competitiveness of the industry. Stages such as machine preparation, correct selection of the cutting tool, definition of machining parameters, and programming of the tool path were fundamental for the efficiency of the process. In this context, the objective of this study is to analyze the performance of different machining strategies, comparing software times with machine times. This work analyzed the performance of four machining strategies, focusing on the comparison between times generated by the software and the actual machine times. The CAM machining strategy identified with the shortest time was Wave Form, when compared to the other strategies available in the Edgcam programming software, which include the Concentric, Spiral, and Zig-Zag strategies. This study demonstrated that the time relationship between software and machine is directly influenced by the cutting parameters provided in the programming. It was found in this study that there is an 18% increase in actual machining time compared to the time estimated by the CAM software. However, the strategy that considered a 3% lateral displacement showed the longest machining time compared to the others, with a margin of 58% more than the cutting strategy with an 8% lateral increment, which demonstrated a balance between the studied variables, offering interesting dimensional stability. Although the other dimensions were within the projected tolerance range, it was evident that a 3% lateral displacement results in higher quality dimensional accuracy compared to the other strategies. The dimensional average for the 32 dimensions evaluated on the "X" axis was 55.009



mm, and 30.012 mm for the 32 dimensions evaluated on the "Y" axis. The values with the greatest dimensional difference were identified in the last four machined slots, which may represent tool wear.

**Keywords:** Machining, Milling, CAM software, Machining Strategies, Wave Form, Dimensional accuracy.

**Orientador:** DANIELA MÜLLER DE QUEVEDO

**Acesso ao documento:** [Pergamum - Acervo Online \(feevale.br\)](#)



## Trabalho de Conclusão

**Título:** GERENCIAMENTO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS DE PALMILHAS E ISOLADORES POLIMÉRICOS UTILIZADOS NA ESTRADA DE FERRO CARAJÁS E ESTRADA DE FERRO VITÓRIA MINAS

**Autor:** THIAGO TEPASSE DE BRUM

**Tipo do Trabalho:** TRABALHO DE CONCLUSÃO

**Data da Defesa:** 28/03/2025

**Resumo:** Dentre os assuntos de grande relevância na atualidade, encontra-se a questão da sustentabilidade. Neste contexto, se enquadra também o problema da geração de resíduos, tema que deixa em alerta as empresas e a sociedade, pois trabalhos e pesquisas nesta área apontam crescimento exorbitante na quantidade de resíduos gerados no planeta, e os gestores se deparam com muitas alternativas de destinação para essa gama de material produzido diariamente, mas poucas efetivamente aplicadas. Face aos diversos resíduos que são gerados todos os dias, este trabalho tem como objetivo, desenvolver um processo de gerenciamento de resíduos sólidos para os componentes poliméricos de fixações ferroviárias da Estrada de Ferro Carajás (EFC) e da Estrada de Ferro Vitória Minas (EFVM). Para tanto, foram caracterizados os resíduos sólidos originados de componentes poliméricos em áreas de estoque e manuseio de isolamentos ferroviárias. Avaliou-se o gerenciamento de resíduos originados de componentes dos sistemas de isolamento ferroviário poliméricos em ambas estradas e foi avaliado um plano de gerenciamento dos resíduos de componentes dos sistemas de isolamento ferroviários da EFC e EFVM. Também foi proposto viabilidades econômicas e técnicas para reaproveitar e/ou tratar os resíduos de componentes dos sistemas de isolamento ferroviários. A metodologia aplicada deste estudo foi subdividida em três fases, sendo elas: caracterização dos resíduos de isoladores e palmilhas poliméricas; análise documental; e elaboração de Planos de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (PGRS) de isoladores poliméricos que fornece subsídios para criação de novas alternativas de destinação, que consequentemente promove melhorias no processo de apoio a tomada de decisão. O estudo de caso foi desenvolvido nas EFC e EFVM, principais ferrovias do Brasil no quesito volume de carga transportada. Dentro dos resultados encontrados, a remoção imediata de isoladores e palmilhas recém trocados foi identificada como um problema prioritário, deixando a destinação dos resíduos em segundo plano. A pesquisa demonstrou que uma estruturação adequada do problema amplia a percepção de alternativas, permitindo a identificação de soluções antes não consideradas. Embora a EFVM tenha um gerenciamento estruturado de resíduos, a EFC demanda maior atenção. A implementação de PGRS contribuirá para monitoramento, definição de metas e redução de custos, além de benefícios ambientais. Recomenda-se a redução da geração de resíduos por meio de campanhas de conscientização e melhorias no acondicionamento e estocagem. O cumprimento da Política Nacional de Resíduos Sólidos exige um sistema de informações para cadastrar concessionárias ferroviárias e regulamentar um inventário padronizado, permitindo ao poder público estabelecer metas e otimizar a gestão dos resíduos.

**Palavras-Chave:** Isoladores ferroviários. Resíduos de Serviços de Transporte. Resíduos ferroviários.

**Abstract:** One of the most important issues today is sustainability. In this context, there is also the problem of waste generation, a topic that has companies and society on alert, as studies and research in this area point to an exorbitant growth in the amount of waste generated on the planet, and managers are faced with many alternatives for disposing of this range of material produced on a daily basis, but few that are actually applied. In view of the various types of waste generated every day, the aim of this work is to develop a solid waste management process for the polymeric components of railway fastenings on the Carajás Railway (CR) and the Vitória Minas Railway (VMR). To this end, solid waste originating from polymeric components in railway insulation storage and handling areas was characterized. The management of waste from polymeric rail insulation system components on both roads was assessed and a plan for managing waste from rail insulation system components on the CR and VMR was proposed. It also evaluated the



economic and technical feasibility of reusing and/or treating the waste components of the railway insulation systems. The methodology applied in this study was subdivided into three phases: characterization of the waste from polymeric insulators and insoles; document analysis; and the preparation of Solid Waste Management Plans (SWP) for polymeric insulators, which provides subsidies for the creation of new destination alternatives, which consequently promotes improvements in the decision-making support process. The case study was carried out on the CR and VMR, Brazil's main railroads in terms of the volume of cargo transported. Among the results found, the immediate removal of newly replaced insulators and insoles was identified as a priority problem, leaving waste disposal in the background. The study showed that an adequate structuring of the problem broadens the perception of alternatives, allowing solutions to be identified that were not previously considered. Although VMR has structured waste management, CR requires more attention. The implementation of a SWP will contribute to monitoring, setting targets and reducing costs, as well as environmental benefits. It is recommended that waste generation be reduced through awareness campaigns and improvements in packaging and storage. Compliance with the National Solid Waste Policy requires an information system to register railway concessionaires and regulate a standardized inventory, allowing public authorities to set targets and optimize waste management.

**Keywords:** Railway insulators. Waste from transportation services. Railway waste.

**Orientador:** VANUSCA DALOSTO JAHNO

**Acesso ao documento:** [Pergamum - Acervo Online \(feevale.br\)](#)



## Trabalho de Conclusão

**Título:** AVALIAÇÃO DA VIDA ÚTIL E ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA DAS PALMILHAS RAILPAD APLICADAS NOS DORMENTES DE CONCRETO DA EFC E NOS DORMENTES DE AÇO E DE CONCRETO DA EFVM

**Autor:** FRANCIELI ALBANI

**Tipo do Trabalho:** TRABALHO DE CONCLUSÃO

**Data da Defesa:** 21/02/2025

**Resumo:** A intensa utilização das linhas férreas provoca desgastes prematuros de componentes devido às tensões geradas pela passagem dos trens e às condições ambientais. Cargas aplicadas nos dormentes, resultantes tanto dos planos das rodas quanto de anormalidades, podem levar à quebra das travessas. As palmilhas utilizadas nas fixações do trilho desempenham um papel crucial ao proteger a superestrutura, melhorar a qualidade geométrica da via e reduzir vibrações prejudiciais. A necessidade de substituição ou reparo de elementos da via resulta em interdições, afetando a circulação dos trens e, consequentemente, a produção. Portanto, é essencial estabelecer propriedades de engenharia confiáveis e parâmetros físico-químico-mecânicos para os componentes ferroviários. Este trabalho tem como objetivo avaliar a vida útil nas palmilhas railpad do sistema fastclip, usadas nos dormentes de concreto da Estrada de Ferro Carajás (EFC) e nos dormentes de aço e concreto da Estrada de Ferro Vitória a Minas (EFVM). A pesquisa incluiu a caracterização das palmilhas antes e após o uso em condições reais, bem como o envelhecimento acelerado, analisando composição, propriedades mecânicas, térmicas e de desgaste. Foram identificadas estruturas químicas de polímeros como PU, PP, SBR e PA. Com o DMA foi verificado que as amostras, como 13B e 14, tornaram-se quebradiças na faixa de temperatura de 10°C a 60°C, típica de ambientes ferroviários. Entre os materiais analisados, a palmilha composta (13A – PU, 13B – PA) destacou-se pelo equilíbrio entre a flexibilidade e absorção de impacto do PU e a rigidez e estabilidade térmica do PA, sendo ideal para ambientes com variações térmicas significativas. Os testes de envelhecimento acelerado indicaram uma leve diminuição nas propriedades mecânicas após 1750 horas de exposição UVB, mas os resultados do DMA permaneceram estáveis, sugerindo a necessidade de avaliações mais prolongadas. Os resultados contribuem para o desenvolvimento de especificações técnicas detalhadas para os materiais de palmilha em uso e para novos fornecedores. Recomenda-se a continuidade dos testes em campo com as palmilhas RA (PU) e 13 (PU/PA), considerando também aspectos como custo e condições operacionais.

**Palavras-Chave:** Ferrovia, fixações ferroviárias, rail pad, caracterização de polímeros.

**Abstract:** The intense use of railway lines causes premature wear of components due to the stresses generated by train passage and environmental conditions. Loads applied to the ties, resulting from both wheel planes and abnormalities, can lead to breakage of the ties. The rail pads used in track fixations play a crucial role in protecting the superstructure, improving the geometric quality of the track, and reducing harmful vibrations. The need for replacement or repair of track elements results in shutdowns, affecting train circulation and, consequently, production. Therefore, it is essential to establish reliable engineering properties and physical-chemical-mechanical parameters for railway components. This study aims to evaluate the service life of the railpad insoles of the fastclip system, used on the concrete ties of the Estrada de Ferro Carajás (EFC) and on the steel and concrete ties of the Estrada de Ferro Vitória a Minas (EFVM). The research included the characterization of the insoles before and after use in real conditions, as well as accelerated aging, analyzing composition, mechanical, thermal, and wear properties. Chemical structures of polymers such as PU, PP, SBR, and PA were identified. DMA testing revealed that samples, such as 13B and 14, became brittle in the temperature range of 10°C to 60°C, typical of railway environments. Among the materials analyzed, the composite insole (13A – PU, 13B – PA) stood out for its balance between the flexibility and impact absorption of PU and the rigidity and thermal stability of PA, making it ideal for environments with significant thermal variations. Accelerated aging tests indicated a slight decrease in mechanical properties after 1750 hours of UVB exposure, but the DMA results remained stable,



suggesting the need for further prolonged evaluations. The findings contribute to the development of detailed technical specifications for the insoles in use and for new suppliers. It is recommended to continue field testing with RA (PU) and 13 (PU/PA) insoles, also considering factors such as cost and operational conditions.

**Keywords:** Railway, railroad fastenings, rail pad, polymer characterization.

**Orientador:** FERNANDO DAL PONT MORISSO

**Acesso ao documento:** [Pergamum - Acervo Online \(feevale.br\)](http://Pergamum-AcervoOnline.feevale.br)





## Trabalho de Conclusão

**Título:** ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DAS PLACAS OSB EM PAREDES DE CISALHAMENTO DO SISTEMA LIGHT STEEL FRAMING POR MEIO DE SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS

**Autor:** MILENA CAROLINA DERLAM

**Tipo do Trabalho:** TRABALHO DE CONCLUSÃO

**Data da Defesa:** 27/03/2025

**Resumo:** A crescente demanda por inovações na construção civil brasileira, impulsionada pelo déficit habitacional e pela necessidade de melhorar o desempenho, velocidade e custos das edificações, destaca o Light Steel Framing (LSF) como uma solução promissora. Esse método permite a industrialização do processo construtivo por meio da montagem dos Perfis Formados a Frio (PFF), dispostos de forma alinhada e equidistante, cuja vedação é realizada com placas Oriented Strand Board (OSB) que contribuem, também, para a rigidez e estabilidade do sistema. No entanto, a adoção desse método é limitada pela falta de parâmetros técnicos para o dimensionamento estrutural e modelagem computacional, especialmente no que diz respeito ao uso de placas OSB. O uso de PFF esbeltos resultam em maior susceptibilidade ao deslocamento horizontal e a flambagem das estruturas sob a ação do vento, em comparação a outros sistemas construtivos, o que demanda de técnicas avançadas de contraventamento para garantir a eficiência das paredes de cisalhamento, principais elementos estruturais projetados para resistir a forças horizontais no sistema. A modelagem computacional, especialmente através do Método dos Elementos Finitos (MEF), é crucial para simular e analisar o comportamento dessas estruturas sob diversas condições de carga. Portanto, este estudo analisou computacionalmente as paredes de cisalhamento do sistema LSF, revestidas com placas OSB, investigando sua contribuição estrutural, ao que se refere a resistência e rigidez dos painéis parede, além de estabelecer parâmetros de modelagem computacional através do MEF, utilizando o software Abaqus CAE (2024), sendo este o objetivo do trabalho. O estudo avaliou a influência das placas OSB na resistência e rigidez lateral de painéis de cisalhamento em sistemas LSF, cujos resultados, demonstraram que a presença das placas OSB, especialmente em ambas as faces dos painéis, aumentou a capacidade resistente (de 0,557 kN para até 39,26 kN) e a rigidez (de 0,009 kN/mm para 1,38 kN/mm), além de reduzir o deslocamento máximo, quando comparado ao painel sem revestimento. Estudos paramétricos revelaram que a diminuição do espaçamento entre conectores (de 150 mm para 75 mm) aumentou a força máxima em até 47,12% e a rigidez em até 54,6%, enquanto a maior espessura da placa OSB (de 9 mm para 11 mm) elevou a força máxima em 19,48%. Já a variação na espessura e seção dos perfis e no tipo de aço apresentou efeitos menos expressivos. Logo, a pesquisa reforça a necessidade de parâmetros técnicos para a modelagem computacional do sistema e diretrizes específicas para contraventamento em LSF com utilização das placas OSB, visando a otimização e segurança estrutural.

**Palavras-Chave:** Light Steel Framing; OSB; paredes de cisalhamento; rigidez lateral; Método dos Elementos Finitos; Abaqus CAE.

**Abstract:** The growing demand for innovation in the Brazilian construction sector, driven by the housing deficit and the need to improve performance, speed, and cost-efficiency of buildings, highlights Light Steel Framing (LSF) as a promising solution. This method enables the industrialization of the construction process through the assembly of Cold-Formed Steel Profiles (CFS), arranged in an aligned and equidistant manner, with enclosure provided by Oriented Strand Board (OSB) panels, which also contribute to the system's rigidity and stability. However, the adoption of this method is limited by the lack of technical parameters for structural design and computational modeling, especially regarding the use of OSB panels. The use of slender CFS profiles results in greater susceptibility to horizontal displacement and structural buckling under wind loads when compared to other construction systems, which demands advanced bracing techniques to ensure the efficiency of shear walls—key structural elements designed to resist horizontal forces in the





system. Computational modeling, particularly through the Finite Element Method (FEM), is essential for simulating and analyzing the behavior of these structures under various loading conditions. Therefore, this study conducted a computational analysis of LSF shear walls clad with OSB panels, investigating their structural contribution in terms of panel strength and stiffness, and establishing FEM-based modeling parameters using the Abaqus CAE (2024) software, which is the central objective of this work. The study evaluated the influence of OSB panels on the lateral strength and stiffness of shear panels in LSF systems, with results showing that the presence of OSB—especially on both sides of the panels—increased the load capacity (from 0.557 kN to up to 39.26 kN) and stiffness (from 0.009 kN/mm to 1.38 kN/mm), while reducing maximum displacement compared to the unbraced panel. Parametric studies revealed that reducing the connector spacing (from 150 mm to 75 mm) increased maximum load by up to 47.12% and stiffness by up to 54.6%, while increasing OSB panel thickness (from 9 mm to 11 mm) led to a 19.48% increase in maximum load. On the other hand, variations in profile thickness, section, and steel type had less significant effects. Thus, this research reinforces the need for technical parameters for computational modeling of the system and specific guidelines for bracing in LSF using OSB panels, aiming at structural optimization and safety.

**Keywords:** Light Steel Framing; OSB; shear walls; lateral stiffness; FEM; Abaqus CAE.

**Orientador:** DAIANA CRISTINA METZ ARNOLD

**Acesso ao documento:** [Pergamum - Acervo Online \(feevale.br\)](https://pergamum.feevale.br)



## Trabalho de Conclusão

**Título:** DESENVOLVIMENTO CONCEITUAL DE EQUIPAMENTO PARA AVALIAÇÃO DA DEGRADAÇÃO ACELERADA DOS COMPONENTES DE FIXAÇÃO DE TRILHOS TIPO “FAST CLIP”

**Autor:** PAULO RICARDO PODORODECZKI

**Tipo do Trabalho:** TRABALHO DE CONCLUSÃO

**Data da Defesa:** 20/03/2025

**Resumo:** O transporte ferroviário é um modal muito importante em um país de dimensões continentais como o Brasil, devido a grande capacidade de transporte de cargas e passageiros e que a cada dia se mostra extremamente estratégico para o escoamento de produção dos mais diversos produtos. Entretanto, os esforços aplicados no conjunto roda-trilho, devido a massa transportada, causam desgastes excessivos e são por isso objetos de estudo de qualquer empresa operadora de trens. As fixações de trilhos são itens que merecem a devida atenção, seja por questão de segurança, pois podem ocorrer acidentes fatais, quanto a indisponibilidade da ferrovia, podendo trazer enormes prejuízos financeiros para a operadora. Considerando a importância desse aspecto, devem ser ensaiadas e verificadas através de ensaios normatizados por normas internacionais de segurança, como a série EN 13146. Devido a essa demanda pelos ensaios e os custos de testes envolvidos, a empresa VALE S.A., através de uma parceria com a Universidade FEEVALE, resolveu projetar e dimensionar uma máquina para ensaios de desgaste acelerado em sistemas de fixação de trilhos ferroviários. A maioria das máquinas de ensaio utilizam sistemas hidráulicos dispendiosos para aplicar os esforços cíclicos nas peças, sendo onerosos e de manutenção complexa. Este estudo trata-se de um trabalho técnico conceitual de uma máquina para avaliação da degradação acelerada dos componentes de fixação de trilhos tipo “Fastclip”, apresentando detalhamentos com desenhos do equipamento, bem como os cálculos de embasamento de seus componentes. O equipamento é composto por uma estrutura metálica para fixar os componentes a serem testados (principalmente a palmilha entre o trilho e o dormente) e o mecanismo de compressão do trilho com frequência variável para aplicação de carga para testes das palmilhas. O estudo apresenta componentes hidráulicos selecionados para a condição de carga de 40 toneladas com ciclos de até 6 Hz. Simulações indicaram resultados satisfatórios para a análise estática com coeficiente de segurança de 10,58 vezes ao valor que a carga estática está sendo submetida e suportando solicitações de fadiga entre 4,7 mil e 1 bilhão de ciclos.

**Palavras-Chave:** Máquina de ensaio de desgaste acelerado, fixações ferroviárias, Ensaios de desgaste ferroviários, Norma EN13146.

**Abstract:** Railway transportation is a highly significant mode of transport in countries with continental dimensions such as Brazil, primarily due to its high capacity for freight and passenger movement. It plays an increasingly strategic role in the efficient distribution of a wide range of products. However, the stresses imposed on the wheel-rail interface, resulting from the substantial transported mass, lead to excessive wear and are therefore a recurrent subject of study for railway operators. Rail fastening systems, in particular, warrant special attention—not only from a safety perspective, as failures can result in fatal accidents—but also due to their impact on track availability, which can lead to substantial financial losses for operating companies. Given the critical importance of these systems, they must be tested and validated according to standardized procedures defined by international safety regulations, such as the EN 13146 series. In response to the high demand and costs associated with such testing, VALE S.A., in partnership with FEEVALE University, undertook the design and development of a machine intended for accelerated wear testing of railway rail fastening systems. Unlike most existing test machines, which rely on costly and complex hydraulic systems to apply cyclic loading, this new design seeks to provide a more costeffective and maintainable solution. This study presents a conceptual and technical development of a test machine aimed at evaluating the accelerated degradation of “Fastclip”-type rail fastening components. It includes detailed engineering drawings of the equipment, as well as the mechanical



design calculations that support the proposed structure. The equipment consists of a metallic frame to secure the components under test (particularly the rail pad located between the rail and the sleeper) and a variable-frequency rail compression mechanism designed to apply the necessary cyclic loading. Hydraulic components were selected to meet a load condition of 40 tons, with testing cycles reaching up to 6 Hz. Simulation results demonstrated satisfactory performance in static load analysis, yielding a safety factor of 10.58 under the applied load. Additionally, the system is capable of withstanding fatigue loading ranging from 4,700 to 1 billion cycles, confirming the robustness and viability of the proposed solution.

**Keywords:** Accelerated wear test machine, railway fastenings, railway wear testing, EN 13146 standard.

**Orientador:** CLÁUDIA TRINDADE OLIVEIRA

**Acesso ao documento:** [Pergamum - Acervo Online \(feevale.br\)](https://www.feevale.br/pergamum/)



## Trabalho de Conclusão

**Título:** DESENVOLVIMENTO DE COMPÓSITOS DE ETILENO PROPILENO DIENO E POLICLOROPRENO COM INCORPORAÇÃO DE NEGRO DE FUMO PARA UTILIZAÇÃO COMO PALMILHAS RAILPADS

**Autor:** CÁTIA DULCINÉIA FRANCISCO KLEIN

**Tipo do Trabalho:** TRABALHO DE CONCLUSÃO

**Data da Defesa:** 25/03/2025

**Resumo:** Parte da malha ferroviária brasileira, como a Estrada de Ferro Carajás (EFC) e a Estrada de Ferro Vitória Minas (EFVM), contribuem para o incremento da economia do país, através do transporte de cargas pesadas, também conhecida por aplicação heavy haul. As fixações são componentes fundamentais dos trilhos porque têm a função de prender o trilho ao suporte, de modo que ele permaneça preso ao dormente sob diversos tipos de cargas pesadas que o trem possua. As palmilhas railpad, partes integrantes do sistema de fixação, exercem uma função de extrema relevância dentro dos componentes de uma estrutura ferroviária. Este material polimérico é colocado entre o trilho e o dormente, e desempenha um papel fundamental no comportamento dinâmico mecânico dos trilhos. O objetivo deste trabalho foi desenvolver compósitos dos elastômeros de borracha de etileno propileno dieno e de policloropreno reforçadas com negro de fumo e vulcanizadas por enxofre que possam ser utilizadas como palmilhas railpads. Os materiais desenvolvidos foram avaliados pelos ensaios térmicos de calorimetria exploratória diferencial (DSC) e análise termogravimétrica (TGA), análise dinâmico mecânico (DMA) e ensaios mecânicos, destacando os ensaios deformação permanente por compressão (DPC), dureza shore e resistência à tração. Os melhores resultados foram obtidos com blendas de etileno propileno dieno/ policloropreno (EPDM/CR), com destaque para blenda EPDM/CR (30/70, que apresentou uma densidade de ligações cruzadas e interação entre o polímero e a carga de reforço que gerou os melhores resultados de DPC, dos módulos de amortecimento e perda e de tracionamento. Esta composição também foi avaliada no ensaio de envelhecimento por hidrólise com temperatura de 60°C e 95% de umidade e os resultados apontaram perdas no ensaio de tração e dureza em virtude das quebras das ligações polissulfídicas e formação de novas ligações monossulfídicas e dissulfídicas. Estas novas ligações geradas mantiveram os resultados de DPC 25°C, DPC 70°C e grau de inchamento com valores muito semelhantes à formulação que não foi envelhecida, indicando que a formulação EPDM/CR 30/70 possui propriedades que podem ser aplicadas para a confecção de palmilhas *railpad*.

**Palavras-Chave:** Elastômeros. Ferrovia. Palmilhas *railpad*. Envelhecimento.

**Abstract:** Part of the Brazilian railway network, such as the Carajás Railway (EFC) and the Vitória Minas Railway (EFVM) contributes to the growth of the country's economy, through the transport of heavy loads, also known as heavy haul application. Fastenings are fundamental components of the rails because their function is to secure the rail to the support, so that it remains attached to the sleeper under different types of heavy loads that the train has. Railpads, integral parts of the fastening system, play an extremely important role within the components of a railway structure. This polymeric material is placed between the rail and the sleeper and plays a fundamental role in the dynamic mechanical behavior of the rails. The objective of this work was to develop railpads from composites of ethylene propylene diene and polychloroprene rubber elastomers reinforced with carbon black and vulcanized by sulfur. The materials developed were evaluated by thermal tests of differential scanning calorimetry (DSC) and thermogravimetric analysis (TGA), dynamic mechanical analysis (DMA) and mechanical tests, highlighting the tests permanent deformation by compression (DPC), shore hardness and tensile strength. The best results were obtained with EPDM/CR blends, with emphasis on the EPDM/CR blend (30/70) which presented a higher density of cross-links and interaction between the polymer and the reinforcing filler, which generated the best DPC results, damping and loss and traction modules. This composition was also evaluated in the hydrolysis aging test at a temperature of 60°C and 95% humidity, and the results showed losses in the tensile and hardness tests due to the breaking of polysulfide bonds and the formation of



new monosulfide and disulfide bonds. These new bonds generated maintained the results of DPC 25°C, DPC 70°C and degree of swelling with values very similar to the formulation that was not aged, indicating that the EPDM/CR 30/70 formulation has properties that can be suggested for the manufacture of railpads.

**Keywords:** Elastomers. Railway. Railpads. Aging.

**Orientador:** CARLOS LEONARDO PANDOLFO CARONE

**Acesso ao documento:** [Pergamum - Acervo Online \(feevale.br\)](http://Pergamum-AcervoOnline.feevale.br)



## Trabalho de Conclusão

**Título:** OTIMIZAÇÃO DE COMPONENTES POLIMÉRICOS DE FIXAÇÃO DE TRILHOS FERROVIÁRIOS

**Autor:** CHEILA VIEGAS

**Tipo do Trabalho:** TRABALHO DE CONCLUSÃO

**Data da Defesa:** 26/03/2025

**Resumo:** Atualmente, o Brasil é um dos principais países produtores de minério de ferro do mundo e a principal forma de transporte de todo o minério produzido são as ferrovias. Entretanto, a história do transporte ferroviário brasileiro é marcada por um desenvolvimento lento e com poucos incentivos, o que resultou em uma malha ferroviária pouco abrangente e insuficiente para o transporte de cargas e escoamento das produções nacionais. O aumento do peso das cargas transportadas pelos trens somado ao aumento da frequência de tráfego dos mesmos, estão levando a uma maior exigência das ferrovias e maior desgaste de seus componentes. Portanto, se torna necessário o investimento em pesquisas que ampliem o conhecimento e o desenvolvimento de componentes ferroviários com maior durabilidade e resistência a condições extremas de uso, como fluxo intenso de trens, elevadas cargas por eixo e derramamento de minério na via. O objetivo desta tese foi avaliar a geometria de isoladores laterais e isoladores frontais empregados na fixação de trilhos. Para tanto, foi realizada a investigação das principais causas de falha dos componentes poliméricos utilizados na Estrada de Ferro Carajás (EFC) e Estrada de Ferro VitóriaMinas (EFVM), observações de campo e a utilização de simulações computacionais permitiram relacionar a geometria as falhas observadas. Como resultados, conclui-se que não há registros anteriores das causas de falhas ou da vida útil dos elementos atuais, nas condições da EFC. As simulações mostraram que na geometria dos isoladores laterais atuais as cargas incididas sobre ele se concentram na superfície de contato com o trilho, o que pode acarretar uma maior deterioração nesta superfície e consequentemente falha do sistema de fixação. Baseados nos dados obtidos, foram confeccionados isolados com novas geometrias, os quais foram testados na ferrovia Carajás e através do ensaio de desgaste acelerado. Os resultados mostraram que as alterações na geometria distribuem as cargas aplicadas, fazendo com que a deformação do isolador seja reduzida e, se presume, sua durabilidade seja superior. Os novos isoladores se mostraram adequados quando aplicados a ferrovia EFC, permanecendo íntegros por um período de teste de 12 meses.

**Palavras-Chave:** Isolador ferroviário; sistema de fixação; ferrovias;

**Abstract:** Currently, Brazil is one of the world's leading iron ore producing countries, and the main form of transportation for all the ore produced is by rail. However, the history of Brazilian rail transportation is marked by slow development and few incentives, which has resulted in a rail network that is not very comprehensive and insufficient for the transportation of cargo and the flow of national production. The increase in the weight of cargo transported by trains, combined with the increase in the frequency of their traffic, are leading to greater demands on the railways and greater wear and tear on their components. Therefore, it is necessary to invest in research to expand knowledge and develop rail components with greater durability and resistance to extreme conditions of use, such as heavy train traffic, high axle loads and ore spillage on the track. The objective of this thesis was to evaluate the geometry of side insulators and front insulators used in rail fastening. To this end, an investigation was carried out into the main causes of failure of the polymeric components used in the Carajás Railway (EFC) and Vitória-Minas Railway (EFVM). Field observations and the use of computer simulations allowed the geometry to be related to the observed failures. As a result, it was concluded that there are no previous records of the causes of failures or the useful life of the current elements, under EFC conditions. The simulations showed that in the geometry of the current lateral insulators, the loads applied to them are concentrated on the contact surface with the rail, which can lead to greater deterioration of this surface and consequently failure of the fastening system. Based on the data obtained, insulators with new geometries were manufactured and



tested on the Carajás Railway and through the accelerated wear test. The results showed that the changes in geometry distribute the applied loads, causing the deformation of the insulator to be reduced and, presumably, its durability to be greater. The new insulators proved to be suitable when applied to the EFC railway, remaining intact for a 12-month test period.

**Keywords:** Railway insulator; fastening system; railways;

**Orientador:** MARCO ANTÔNIO SIQUEIRA RODRIGUES

**Acesso ao documento:** [Pergamum - Acervo Online \(feevale.br\)](http://Pergamum - Acervo Online (feevale.br))





## Trabalho de Conclusão

**Título:** INTEGRAÇÃO DOS PROCESSOS DE ANODIZAÇÃO E ELETRODEPOSIÇÃO EM ZAMAC: TRANSFORMAÇÃO DE CAMADA ANODIZADA EM ESTRUTURA ÓXIDA FUNCIONAL POR MECANISMO DE MIGRAÇÃO IÔNICA

**Autor:** CARLOS HENRIQUE AMARO DA SILVA

**Tipo do Trabalho:** TRABALHO DE CONCLUSÃO

**Data da Defesa:** 28/07/2025

**Resumo:** A liga de zamac apresenta baixa temperatura de fusão e boa fluidez, o que proporciona a obtenção de peças por injeção sob pressão, sendo amplamente utilizada no setor metal-mecânico. No entanto, para serem comercializadas, as peças de zamac injetadas sob pressão requerem tratamentos superficiais de eletrodeposição para garantir sua resistência à corrosão. Um estudo revelou que peças de zamac contendo tratamentos superficiais por eletrodeposição, usadas em metais sanitários, possuem baixa resistência à corrosão devido à porosidade causada pelo processo de injeção sob pressão. Para minimizar o defeito de porosidade, pesquisadores da Universidade Feevale patentaram um método de anodização do zamac. O estudo demonstrou que a camada anodizada cobre as porosidades superficiais do zamac, sendo uma alternativa anterior ao processo de eletrodeposição. Portanto, o objetivo deste trabalho é buscar a integração entre os processos de anodização de zamac seguido de eletrodeposição de cobre alcalino. As amostras de zamac foram anodizadas nas mesmas condições da patente BR 10 2019 004926 0 de 13/03/2019, com contatos elétricos de aço inoxidável 316L (utilizado industrialmente), de fio de cobre isolado e de titânio (sem isolamento), seguidas de eletrodeposição em cobre alcalino. As amostras foram analisadas quanto aos transientes de anodização, secção transversal, morfologia e FTIR. Os resultados não foram satisfatórios para o 316L, não sendo indicado como contato elétrico. No entanto, observou-se que é possível utilizar titânio como contato elétrico para a integração entre os processos de anodização e de eletrodeposição. Isso resultou em um modelo de eletrodeposição de cobre alcalino em zamac, que indica que durante a eletrodeposição ocorre a conversão da camada anodizada na camada intermediária rica em óxidos de zinco e de alumínio.

**Palavras-Chave:** Zamac, anodização, eletrodeposição.

**Abstract:** The Zamac alloy has a low melting point and good fluidity, which enables the production of parts by pressure die casting, making it widely used in the metalmechanical sector. However, to be commercialized, die-cast Zamac parts require surface treatments such as electrodeposition to ensure their corrosion resistance. A study revealed that Zamac components with electrodeposited surface coatings, used in sanitary metal fittings, exhibit low corrosion resistance due to the porosity caused by the die-casting process. To minimize this porosity-related defect, researchers at Universidade Feevale patented a method for anodizing Zamac. The study demonstrated that the anodized layer seals the surface porosities of Zamac, providing an alternative pretreatment to the electrodeposition process. Therefore, the objective of this work is to investigate the integration between the anodization of Zamac followed by alkaline copper electrodeposition. The Zamac samples were anodized under the same conditions described in patent BR 10 2019 004926 0 from March 13, 2019, using three types of electrical contacts: 316L stainless steel (industrially employed), insulated copper wire, and non-insulated titanium, followed by alkaline copper electrodeposition. The samples were analyzed in terms of anodization transients, cross-sections, morphology, and FTIR. The results were not satisfactory for the 316L contact, which is therefore not recommended as an electrical contact. However, it was observed that titanium can be used as an electrical contact for integrating the anodization and electrodeposition processes. This led to the development of a model for alkaline copper electrodeposition on Zamac, which indicates that, during electrodeposition, the anodized layer is converted into an intermediate layer rich in zinc and aluminum oxides.

**Keywords:** Zamac, anodization, electroplating.



**Orientador:** CLÁUDIA TRINDADE OLIVEIRA

**Acesso ao documento:** [Pergamum - Acervo Online \(feevale.br\)](http://Pergamum - Acervo Online (feevale.br))



## Trabalho de Conclusão

**Título:** ESTUDO DE MATERIAIS PARA FABRICAÇÃO DOS ISOLADORES FRONTAIS E LATERAIS FERROVIÁRIOS PARA O CONJUNTO DE FIXAÇÃO FASTCLIP

**Autor:** LUANA GRAZIELA ADAM

**Tipo do Trabalho:** TRABALHO DE CONCLUSÃO

**Data da Defesa:** 18/03/2025

**Resumo:** O transporte de minério utiliza de forma intensiva a via permanente. No Brasil, a malha ferroviária não possui uma extensão muito grande em comparação a área que o país ocupa, o que faz com que as existentes estejam ainda mais propensas ao desgaste acelerado. Esse desgaste está relacionado à alta utilização, às tensões e esforços causados pela passagem dos trens e pelas condições ambientais como calor intenso e umidade alta. Todas as vezes que se faz necessária manutenção da via permanente, a operação de transporte precisa ser paralisada por algumas horas, o que impacta no transporte de dezenas de toneladas de minério por hora extraído das minas que precisa ficar aguardando para poder chegar ao seu destino. Desta maneira, é fundamental que os materiais utilizados nas peças de fixação das vias sejam os mais adequados, para que proporcione a menor necessidade de trocas e manutenções possíveis, visando diminuir o impacto do tempo fora de operação. No presente trabalho, foram investigados os polímeros sulfeto de polifenileno natural, sulfeto de polifenileno com 30% de fibra de vidro, polioximetileno, polibutileno tereftalato e polietileno de ultra alta massa molecular como possíveis materiais para confecção dos isoladores laterais e frontais no sistema de fixação fastclip das Estradas de Ferro Carajás e Estrada de Ferro Vitoria Minas. Após avaliação das propriedades foram produzidos isoladores laterais e frontais de sulfeto de polifenileno com e sem fibra de vidro que foram instalados na Estradas de Ferro Carajás para avaliar seu desempenho in site durante um período de oito meses. Após, foram removidas amostras dos isoladores e caracterizados novamente. Vários isoladores laterais apresentaram falha por fratura ou fissuras, o que também foi observado nos isoladores frontais, porém ocorreu em menor número. Dano superficial observável devido a contaminação com minério e ao esforço cíclico exercido na passagem dos trens, fez com que ocorresse aderência do minério e sujeidade na cama superficial das peças. Sugere-se que o estudo do desenvolvimento dos isoladores frontais e laterais siga considerando dois polímeros distintos para atender as propriedades necessárias de cada isolador.

**Palavras-Chave:** Ferrovia, Poliamida, Fixação, *Fastclip*.

**Abstract:** Ore transport uses permanent roads intensively. In Brazil, this form of transport does not have a very large use compared to other countries, which means that the existing railways are even more prone to accelerated wear. This wear is related to high usage due to the tensions and efforts caused by the passage of trains and environmental conditions such as intense heat and high humidity. Every time maintenance of the permanent road is required, the transport operation needs to be stopped for a few hours, which impacts on the transport of dozens of tons per hour of ore extracted from the mines that must wait to reach its destination. Therefore, it is essential that the materials used in the fixing parts of the tracks are the most suitable to provide the least possible need for changes and maintenance, aiming to reduce the impact of time out of operation. In the present work, the polymers natural polyphenylene sulfide, polyphenylene sulfide with 30% glass fiber and polyoxymethylene were investigated as possible materials to be used in the side and front insulators used in the fastclip fastening system, used by the company Vale S.A. on its roads. made of iron to replace the polyamide 66 model currently in use. After evaluating the foam properties, lateral and frontal insulators made of polyphenylene sulfide with and without fiberglass were produced to be installed on railways in order to evaluate their performance on site for eight months. Afterwards, samples were removed from the insulators and characterized again. Several side insulators showed failure due to fracture or cracks, which was also observed in the front insulators, although in smaller numbers. Surface damage observed due to contamination with ore and the cyclical stress exerted by the passage of the trains caused adhesion of the ore and dirt to the surface bed of the parts. It is suggested that the



study of development of front and side insulators continue considering two different polymers to meet the necessary properties of each insulator.

**Keywords:** Railway, Polyamide, fastening, fastclip.

**Orientador:** FERNANDO DAL PONT MORISSO

**Acesso ao documento:** [Pergamum - Acervo Online \(feevale.br\)](#)

