

Ciência e Engenharia de Materiais e o Desenvolvimento Socioambiental



Henrique Ajuz Holzmann
Ricardo Vinicius Bubna Biscaia
(Organizadores)

Ciência e Engenharia de Materiais e o Desenvolvimento Socioambiental



Henrique Ajuz Holzmann
Ricardo Vinicius Bubna Biscaia
(Organizadores)

2019 by Atena Editora
Copyright © Atena Editora
Copyright do Texto © 2019 Os Autores
Copyright da Edição © 2019 Atena Editora
Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira
Diagramação: Geraldo Alves
Edição de Arte: Lorena Prestes
Revisão: Os Autores



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição Creative Commons. Atribuição 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores. Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

Profª Drª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior – Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá
Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima
Prof. Dr. Fabiano Tadeu Grazioli – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Profª Drª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Universidade Federal do Maranhão
Profª Drª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobom – Universidade Estadual do Centro-Oeste
Profª Drª Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia
Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Profª Drª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia
Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

Ciências Biológicas e da Saúde

Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás
Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Profª Drª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Profª Drª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto
Prof. Dr. Alexandre Leite dos Santos Silva – Universidade Federal do Piauí
Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)	
C569	<p>Ciência e engenharia de materiais e o desenvolvimento socioambiental [recurso eletrônico] / Organizadores Henrique Ajuz Holzmann, Ricardo Vinicius Bubna Biscaia. – Ponta Grossa, PR: Atena Editora, 2019</p> <p>Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-85-7247-848-9 DOI 10.22533/at.ed.489191912</p> <p>1. Engenharia – Pesquisa – Brasil. 2. Materiais – Análise. I. Holzmann, Henrique Ajuz. II. Biscaia, Vinicius Bubna.</p> <p style="text-align: right;">CDD 620.11299</p>
Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422	

Atena Editora
Ponta Grossa – Paraná - Brasil
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

A engenharia de materiais, vem cada vez mais ganhando espaço nos estudos das grandes empresas e de pesquisadores. Esse aumento no interesse se dá principalmente pela escassez de matérias primas, a necessidade de novos materiais que possuam melhores características físicas e químicas e a necessidade de reaproveitamento dos resíduos em geral.

Neste contexto o tema socioambiental pode ser inserido, visto que devido à redução nas disponibilidades de matérias primas, a elevação de custos de descarte dos materiais, sua reciclagem vem ganhando cada vez mais destaque a nível mundial. Hoje optar por produtos reciclados bem como sustentáveis se torna uma vitrine as vendas.

Neste livro são apresentados trabalho teóricos e práticos, relacionados a área de materiais e de sustentabilidade, dando um panorama dos assuntos em pesquisa atualmente. A caracterização dos materiais é de extrema importância, visto que afeta diretamente aos projetos e sua execução dentro de premissas técnicas e econômicas. Pode-se dizer que a área de reciclagem está intimamente ligada ao estudo dos materiais, para que possam ser desenvolvidas técnicas e processos para um eficiente aproveitamento.

De abordagem objetiva, a obra se mostra de grande relevância para graduandos, alunos de pós-graduação, docentes e profissionais, apresentando temáticas e metodologias diversificadas, em situações reais.

Aos autores, agradecemos pela confiança e espírito de parceria.

Boa leitura

Henrique Ajuz Holzmann
Ricardo Vinicius Bubna Biscaia

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
ESTUDO DA ADIÇÃO DE ADITIVOS NÃO CONVENCIONAIS NA PRODUÇÃO DE ARGAMASSAS	
Antonio Dias de Lima Terceiro Neto Daniel Baracuy da Cunha Campos Francisco Humberlânio Tavares de Araújo Júlio Lopes da Silva	
DOI 10.22533/at.ed.4891919121	
CAPÍTULO 2	12
ESTUDO DA INFLUÊNCIA NA CONCENTRAÇÃO DE FIBRAS DE POLIPROPILENO NO CONCRETO DE ALTA RESISTÊNCIA	
Wendel Melo Prudêncio de Araújo Thays Mabelly Bezerra e Silva Kássia Hellen Souza de Oliveira João Marcos Lima Veras Joaquim Lucas de Souza Paixão João Emmanuel Alves Oliveira	
DOI 10.22533/at.ed.4891919122	
CAPÍTULO 3	24
TIJOLO PRODUZIDO POR COMPÓSITO DE EXOCARPO DE LICURI FRAGMENTADO	
Bárbara Jane Martins Borges Rafael Santos de Sousa Silva Rúi Carlos de Sousa Mota	
DOI 10.22533/at.ed.4891919123	
CAPÍTULO 4	31
PRODUÇÃO DE AGREGADOS UTILIZANDO LAMA VERMELHA: O ESTUDO DA CINÉTICA DE SECAGEM	
Bruno Marques Viegas Edílson Marques Magalhães Julia Alves Rodrigues Josiel Lobato Ferreira Diego Cardoso Estumano José Antônio da Silva Souza Emanuel Negrão Macêdo	
DOI 10.22533/at.ed.4891919124	
CAPÍTULO 5	39
ANÁLISE DO COMPORTAMENTO FÍSICO E MECÂNICO DO RESÍDUO DE FELDSPATO COMO MATERIAL PARA CAMADAS DOS PAVIMENTOS	
Jonatas Kennedy Silva de Medeiros Larissa Santana Batista Giovanna Feitosa de Lima	
DOI 10.22533/at.ed.4891919125	

CAPÍTULO 6 52

FÔRMAS: UTILIZAÇÃO E REUTILIZAÇÃO DE FÔRMAS REVESTIDAS COM POLIETILENO DE BAIXA DENSIDADE (PEDB - SACOLAS PLÁSTICAS)

Lucas Prestes Chize
Léo Jaime de Amorim e Silva
Aída Pereira Baêta
Flávia da Silva

DOI 10.22533/at.ed.4891919126

CAPÍTULO 7 61

OBTENÇÃO DE UM COPO MAIS SUSTENTÁVEL: PREPARAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE FIBRAS NATURAIS E DE BIOCÓMPÓSITOS

Emília Satoshi Miyamaru Seo
Nicolle Silva da Silva
Isabella Tereza Ferro Barbosa
Alessandro Augusto Rogick Athiê
Adriano Camargo de Luca

DOI 10.22533/at.ed.4891919127

CAPÍTULO 8 74

CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA E RESISTÊNCIA À CHAMA DE CÓMPÓSITOS POLIMÉRICOS COM ADIÇÃO DE RESÍDUOS DE LAMA VERMELHA E CAULIM

Mario Henrique Moreira de Moraes
Diogo Pontes de Queiroz
Luiz Gabriel da Silva Nascimento
José Antônio Silva Souza
Roberto Tetsuo Fujiyama
Deibson Silva da Costa

DOI 10.22533/at.ed.4891919128

CAPÍTULO 9 85

DISPERSÃO DE NANOPARTÍCULAS DE PRATA SOBRE PÓ POLIMÉRICO PARA PRODUÇÃO DE FILME PLÁSTICO

Lucas Matono Casagrande
Paulo Henrique Chulis
Fabrício Antônio Moreno Zanetelli
Márcia Silva de Araújo
José Alberto Cerri

DOI 10.22533/at.ed.4891919129

CAPÍTULO 10 99

INFLUENCE OF LIGNIN CONTENT IN MACADAMIA NUTSHELL ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF HDPE BIOCÓMPÓSITOS

Bruno Chaboli Gambarato
Heitor Buzetti Simões Bento
Ana Karine Furtado de Carvalho

DOI 10.22533/at.ed.48919191210

CAPÍTULO 11 104

MÉTODOS DE SÍNTESE DAS NANOESTRUTURAS A BASE DE TITÂNIO

Jardel Meneses Rocha

Reinaldo Nascimento Morais
Fernando Pereira Lima
Tiago Linus Silva Coelho
Patrícia Santos Andrade
Angélica de Brito Sousa
Juracir Francisco de Brito
José Milton Elias de Matos

DOI 10.22533/at.ed.48919191211

CAPÍTULO 12 113

APLICAÇÕES DAS NANOESTRUTURAS A BASE DE TITÂNIO

Jardel Meneses Rocha
Reinaldo Nascimento Morais
Fernando Pereira Lima
Tiago Linus Silva Coelho
Patrícia Santos Andrade
Angélica de Brito Sousa
Juracir Francisco de Brito
José Milton Elias de Matos

DOI 10.22533/at.ed.48919191212

CAPÍTULO 13 122

CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA, MECÂNICA E DA FRATURA DE TRILHOS PERLÍTICOS

Beatriz Seabra Melo
Vinicius Silva dos Reis
Clóvis Iarlande Oliveira Santana
Carlos Vinicius de Paes Santos
Gregory de Oliveira Miranda
Andrey Coelho das Neves
José Maria do Vale Quaresma

DOI 10.22533/at.ed.48919191213

CAPÍTULO 14 135

ANÁLISE DOS EFEITOS DA CORROSÃO EM ELETRODO DE ATERRAMENTO ELÉTRICO COBREADO

Walter Leandro Cordeiro da Silva Filho
Magda Rosângela Santos Vieira
Ivanilda Ramos de Melo
Roseana Florentino da Costa Pereira
Severino Leopoldino Urtiga Filho

DOI 10.22533/at.ed.48919191214

CAPÍTULO 15 145

INFLUÊNCIA DA VARIAÇÃO DOS GASES DE PROTEÇÃO E PARÂMETROS DE SOLDAGEM NA MICROESTRUTURA E MICRODUREZA DO AÇO SAE 1035 SOLDADO POR PROCESSO MAG

Perla Alves de Oliveira
Thiago Monteiro Maquiné
Marcia Cristina Gomes de Araújo Lima
José Costa de Macêdo Neto
Suelem de Jesus Pessoa
Efraim Ribas Linhares Bruno

Anne Gabrielle Mendes Xavier
Josiel Bruno de Oliveira
DOI 10.22533/at.ed.48919191215

CAPÍTULO 16 155

A RELAÇÃO ENTRE A LOGÍSTICA REVERSA E O *TRIPLE BOTTOM LINE* EM COOPERATIVAS DE RECICLAGEM

Alequexandre Galvez de Andrade
Nélio Fernando dos Reis
Jair Minoro Abe

DOI 10.22533/at.ed.48919191216

CAPÍTULO 17 165

A UNIVERSALIZAÇÃO DO SANEAMENTO E O SUBSÍDIO CRUZADO: CRÍTICA À PROPOSTA DE ALTERAÇÃO DAS DIRETRIZES NACIONAIS

Joel de Jesus Macedo
Leura Lucia Conte de Oliveira
Marcus Venicio Cavassin

DOI 10.22533/at.ed.48919191217

SOBRE OS ORGANIZADORES..... 185

ÍNDICE REMISSIVO 186

CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA, MECÂNICA E DA FRATURA DE TRILHOS PERLÍTICOS

Data de aceite: 18/11/2019

Beatriz Seabra Melo

Universidade Federal do Pará, Faculdade de Engenharia Mecânica
Belém – Pará

Vinicius Silva dos Reis

Universidade Federal do Pará, Faculdade de Engenharia Mecânica
Belém – Pará

Clóvis Iarlande Oliveira Santana

Universidade Federal do Pará, Faculdade de Engenharia Mecânica
Belém – Pará

Carlos Vinicius de Paes Santos

Universidade Federal do Pará, Faculdade de Engenharia Mecânica
Belém – Pará

Gregory de Oliveira Miranda

Universidade Federal do Pará, Faculdade de Engenharia Mecânica
Belém – Pará

Andrey Coelho das Neves

Universidade Federal do Pará, Faculdade de Engenharia Mecânica
Belém – Pará

José Maria do Vale Quaresma

Universidade Federal do Pará, Faculdade de Engenharia Mecânica
Belém – Pará

RESUMO: As amostras avaliadas são de um trilho ferroviário confeccionados em aço perlítico, sua microestrutura é predominante constituída de lamelas alternadas de ferrita e cementita. O estudo de caso tentou determinar qual teria sido a causa da falha do componente. A amostra fora cedida por uma empresa que faz uso de trilhos em vias que operam com carregamento elevado. Lançou-se mão das técnicas de análise da fratura, via análise visual com auxílio de lupa e fractografia com auxílio de microscópio eletrônico de varredura (MEV), posteriormente efetuou-se a caracterização mecânica da amostra por intermédio de ensaios de tração e dureza. Na análise de falha detectou-se macroscopicamente a origem da falha, que fora localizada na região do patim, e a presença de marcas de praia e posteriormente marcas de sargento, microscopicamente não fora possível detectar a presença de outras estruturas características a não ser a clivagem. As caracterizações mecânicas forneceram informações que estão de acordo com a literatura. Portanto entende-se que a provável causa da fratura se deu por fadiga em decorrência do elevado carregamento que o componente fora submetido.

PALAVRAS-CHAVE: Trilho ferroviário; Sobrecarga; Análise da fratura; Fadiga.

CHEMICAL, MECHANICAL AND FRACTURE CHARACTERIZATION OF PERLITE RAILS

ABSTRACT: The samples evaluated are of a railway rail made of pearlitic steel, its predominant microstructure consists of alternating lamellae of ferrite and cementite. The case study attempted to determine what would have been the cause of component failure. The sample was supplied by a company that makes use of high-load rails. The techniques of fracture analysis were used, through visual analysis with the aid of a magnifying glass and fractography with the aid of a scanning electron microscope (SEM), the mechanical characterization of the sample was carried out by means of traction and hardness tests. In the fault analysis, the origin of the fault was detected macroscopically, which had been located in the flange, and the presence of beachmark and after chevron, microscopically it was not possible to detect the presence of other characteristic structures other than the cleavage. The mechanical characterizations provided information that is in agreement with the literature. Therefore, it is understood that the probable cause of the fracture was due to fatigue due to the high loading that the component had undergone.

KEYWORDS: Railway rail; Overload; Failure analysis; Fatigue.

1 | INTRODUÇÃO

Atualmente há uma necessidade pulsante no Brasil em desenvolver todos os seus modais, pois assim o país estará melhorando sua infraestrutura de transporte, para poder tornar sua economia mais competitiva. Nos países desenvolvidos o modal ferroviário é de vital importância devido a sua eficiência (BARRETO, OLIVEIRA, et al., 2018).

A eficiência do transporte ferroviário está comprovada, pois este se destaca como um dos mais econômicos, no que tange o deslocamento de grandes volumes de cargas se comparando com os demais modais. Sua utilização em larga escala pode gerar uma economia que gira entorno de 40 a 50% nos custos dos fretes, se associado ao transporte via navios, e pode acarretar em uma redução de 7% no preço dos produtos repassados ao consumidor (BRIGUENTE, 2013).

Em decorrência desse horizonte o Brasil deve promover a melhoria da tecnologia relacionada ao sistema roda-trilho e os materiais que o constituem, assim como atuar no sentido de garantir a segurança das ferrovias, uma vez que há uma tendência em cada vez mais se desenvolver maiores velocidades associadas a carregamentos elevados nessas vias (Y.D.LI, C.B.LIU, et al., 2013).

Em ferrovias destinadas ao transporte de carga de grande fluxo, como por exemplo Estrada de Ferro Carajás (EFC), são utilizados trens que possuem várias composições, além de elevado carregamento por eixos. Nesse tipo de ferrovia a linha férrea é assentada como uma via contínua, que é obtida pela soldagem dos

segmentos dos trilhos. Em decorrência dos tipos de solicitações impostos a essas linhas férreas se faz necessária uma manutenção muito bem executada, a fim de garantir a menor probabilidade possível de ocorrência de acidentes, já que falhas que ocorrem em trilhos, podem ocasionar perdas humanas, econômicas e prejuízos ambientais (LIMBERGER, 2000).

Aliada a questão da fadiga tem-se que se considerar outras variáveis como variações térmicas, tensões residuais oriundas do processo de fabricação e impostas pela solicitação de serviço e também a influência da soldagem no desempenho via. É importante destacar que muitas falhas e defeitos de trilhos estão associados a questões relacionadas com os processos de soldagem empregados (Y.D.LI, C.B.LIU, et al., 2013).

Assim buscou-se avaliar um trilho fraturado, com o intuito de determinar a causa e a origem da fratura. Para essa finalidade se utilizou análise da falha, via inspeção visual e da fractografia obtida via MEV, assim como a análise química e realização de caracterizações mecânicas, para tentar verificar se as amostras cedidas apresentam alguma falha de fabricação, ou seja, não atendiam as normas técnicas vigentes ou se a falha do componente fora ocasionada em decorrência das solicitações de serviço.

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

A fim de promover um diagnóstico que levasse a compreensão sobre qual seria a motivação da fratura da seção do trilho que fora cedida, dividiu-se os esforços em duas frentes, sendo que a primeira preocupava-se compreender, como se processou a falha do componente e a segunda frente em tentar desvendar quais foram os fatores que levaram a região de solda presente no trilho a apresentar uma irregularidade na superfície de rolamento.

O escopo deste estudo está vinculado primeira frente destacada acima, que se predispôs a avaliar, se o trilho possui alguma irregularidade quanto a composição química, efetuar uma avaliação das propriedades mecânicas por meio do ensaio de tração e dureza e promover um estudo detalhado da falha apresentada, assim como tentar determinar qual fora a possível causa do colapso do componente.

2.1. Trilho perlítico

Os trilhos ferroviários perlítico possuem uma estrutura lamelar de camadas alternadas de ferrita e cementita e são amplamente utilizados em ferrovias por agregarem uma boa combinação entre resistência mecânica, ductibilidade e baixo custo (MASOUMI, SINATORA e GOLDENSTEIN, 2019).

As amostras analisadas são oriundas de uma ferrovia que possui elevado

carregamento e foram recebidas com as informações de que, o trecho do trilho corresponde a uma seção que foi unida via técnica de soldagem por caldeamento (flash-butt welding) e fora colocada em operação. É importante frisar que não se informou os detalhes dessa operação, ou seja, por quanto tempo o trecho ficou em serviço e/ou quais foram as solicitações sofrida. A Figura 1 a seguir apresenta as amostras tal qual foram recebidos.



Figura 1 - Trilhos cedidos, em (a) como recebido, (b) aberto, (c) Trilho fraturado e (d) Trilho com defeito superficial.

A fim de facilitar a identificação subdividiu-se a amostra em corpos de prova denominados de T1 e T2, os quais correspondem respectivamente a seção do trilho que sofreu a fratura e a seção que apresentou o esmagamento superficial próximo a região da junta soldada. Na Figura 1 tais zonas correspondem as seções c e d, respectivamente.

O esmagamento localizou-se na superfície de rolamento e ocorreu em uma região ligeiramente antes e após a solda. A Figura 2 apresenta o corpo de prova T2 destacando a região do componente, onde fora efetuada a soldagem, pode-se verificar que a patologia é evidente.



Figura 2 – Amostra T2 correspondente a região da solda do componente mecânico

O corpo de prova T1 fora seccionado e as seções geradas foram denominadas

de T1E, que corresponde a face da fratura do lado esquerdo, e T1D que é a face da fratura do lado direito. O detalhamento dos cortes efetuados está apresentado na Figura 3.

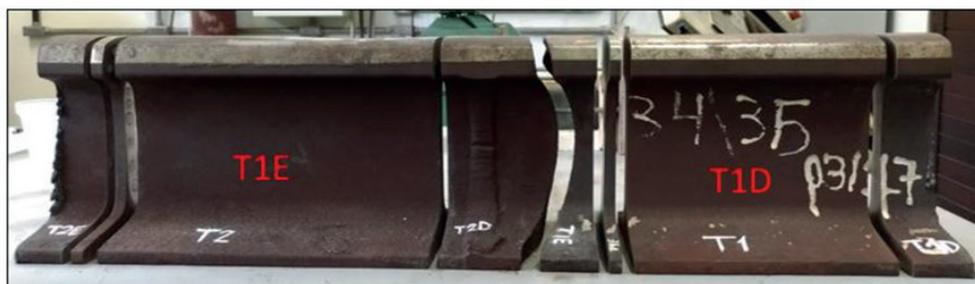


Figura 3 - Cortes efetuados no corpo de prova T1

2.2. Análise química

A análise química foi efetuada via um espectrômetro de emissão óptica da marca BRUKER e do modelo Q4 TASMAN. As análises foram efetuadas em duas partes da amostra T1, mais especificamente nas seções denominadas de T1D e T1E que foram seccionadas de acordo com a Figura 3. Tal postura foi adotada, pois pretendeu-se verificar se há variação na composição química longitudinal do trilho.

A fim de garantir uma maior representatividade da amostra, assim como verificar se há variações químicas ao longo das regiões presentes na área da seção transversal do perfil do trilho, as quais são o boleto, alma e patim, adotou-se o esquema presente na Figura 4 como modelo para efetuar a análise química localizada das áreas que serão estudadas. É importante destacar que foram selecionados três pontos em cada região da seção do trilho.

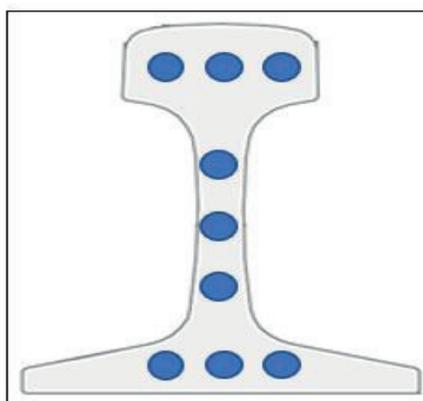


Figura 4 - Esquema das locais utilizados na seção do trilho para efetuar a análise química.

2.3. Análise da fratura

Analisou-se a fratura via duas técnicas, a primeira foi a análise visual e para essa intervenção foi utilizada a seção T1D do corpo de prova T1, que foi a seção da amostra que apresentou a fratura. Para realização desse procedimento utilizou-se

o auxílio de uma lupa, a fim de se certificar das características que usualmente as fraturas de componentes mecânicos possuem e que são previstas pela literatura.

A outra etapa de investigação da topografia da fratura ocorreu utilizando-se de microscopia eletrônica de varredura e serviu-se de um Microscópio Eletrônico de Varredura marca TESCAN e modelo Mira 3. Nesse caso avaliou-se mais detalhadamente a zona onde a fratura teve início, a fim de verificar a presença de inclusões, porosidades e outras possíveis fontes de nucleação para a trinca.

2.4. Ensaio de dureza

Seguindo com o procedimento experimento realizou-se a o ensaio de dureza brinell, a fim de aferir se a dureza apresentada nos corpos de prova extraído da amostra T1.

Para realizar uma aferição da dureza por região da seção transversal do perfil do trilho adotou-se uma sequência de endentações no boleto, alma e patim que corresponde a 3 (três) linhas contínuas de endentações no boleto e 2 (duas) linhas contínuas de endentações contínuas na alma e patim. A Figura 5 apresenta a sequência de endentações realizadas na amostra.

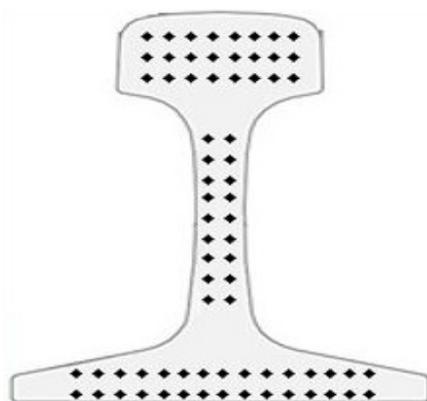


Figura 5 - Perfil de endentações adotadas para realização do ensaio de dureza brinell

2.5. Ensaio de tração

Para realização do ensaio de tração utilizou-se uma máquina de ensaio universal marca Shimadzu, Modelo Servopulser hidráulica com capacidade de 100KN ajustada de acordo com a norma ASTM E8/E8M – 16^a (ASTM – AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS, 2016).

Os corpos de prova foram confeccionados de acordo com o que prevê a norma ASTM E8/E8M – 16^a (ASTM – AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS, 2016) e foram extraídos do corpo de prova T1 seguindo o esquema detalhado na Figura 6 em sua seção a, na seção b está apresentado um corpo de prova de tração após a confecção.

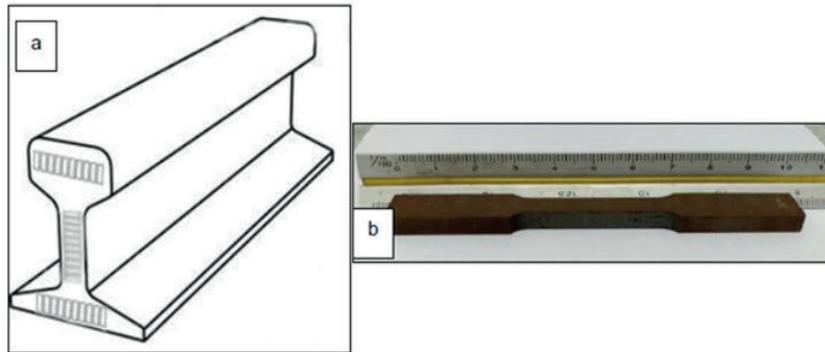


Figura 6 - Esquemático das regiões de onde as amostras foram retiradas em (a); amostras para o ensaio de tração em (b).

Com intuito garantir a análise mais completa do elemento mecânico extraiu-se corpos de prova de tração das três regiões da seção transversal do trilho, totalizando 4 (quatro) corpos de prova de tração da zona do boleto, alma e patim.

3 | RESULTADOS

3.1. Análise de falha

3.1.1. Análise visual

A superfície da fratura analisada está presente no corpo de prova TD1, na Figura 7 a seguir, percebe-se o defeito denominado de detalhe da fratura (Detail fracture), o qual revela o início e o percurso da fratura no trilho.

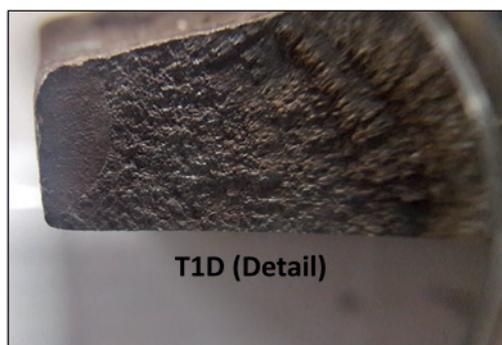


Figura 7 - Defeito do tipo Detail fracture

Prosseguindo com a análise da superfície de fratura selecionada, com o auxílio da Figura 8, é possível efetuar algumas considerações mais detalhadas a respeito das características apresentadas pela superfície fratura analisada.

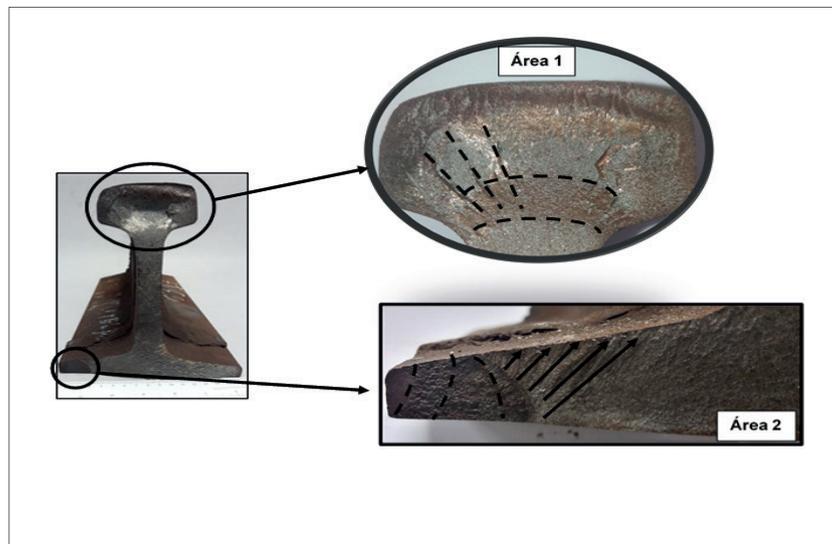


Figura 8 - Regiões de maior importância para análise visual

A Figura 8 apresenta duas zonas que merecem atenção, estas foram destacadas e denominadas de área 1 e área 2. A área 1 faz parte da região do boleto, nesse destaque se pode observar que há marcas de propagação de trinca denominadas de *chevron patterns* ou marcas de sargento (CALLISTER, 2016; Y.D.LI, C.B.LIU, *et al.*, 2013), e esse tipo de estria está associado a fraturas frágeis, ou seja, não há deformação plástica associada, porém não é perceptível um local onde tenha ocorrido a iniciação da trinca.

Na área 2, nota-se a presença dos elementos que podem determinar que a falha teve origem na região da seção transversal do trilho que é denominada de patim, pois nela percebe-se uma mancha escura que possui aspecto de clivagem e logo após nota-se a presença de elementos denominados de marcas de praia (CALLISTER, 2016) e tais marcas estão associadas a esforço de fadiga, uma vez que as estrias exibem um padrão periódico que está correlacionado aos ciclos de carregamento que o componente mecânico pode ter sido submetido e segundo a literatura (Y.D.LI, C.B.LIU, *et al.*, 2013; MASOUMI, SINATORA e GOLDENSTEIN, 2019) é admissível que os trilhos venham a colapsar por mecanismos associados a esforços cíclicos característicos do mecanismo de falha associado a fadiga, tal condição ainda é mais acentuada em trilhos perlíticos, já que as trincas associadas a fadiga se iniciam na ferrita proeutetoide originada nos contornos de grão da austenita.

Ainda com relação a região de origem da falha se pode inferir que a fratura apresenta um aspecto viável para situações associadas a fadiga, uma vez que apresenta uma região, onde há a presença das marcas de praia, seguida por uma área com forte presença de marcas de sargento. Tal fato está associado a questão de que na região que há a falha repentina, as estrias características das marcas de praia não irão ocorrer e darão lugar a um local onde ocorrerá uma falha dúctil associada a deformação plástica evidente e na ausência falha frágil (CALLISTER,

2016).

Como é perceptível na Figura 8 mais especificamente na seção destacada como área 2 a região de falha repentina assumiu uma característica de fratura frágil, tal fato pode ser reforçado pela presença das marcas de sargento.

3.1.2 Análise fractográfica

Com o intuito de promover um estudo mais profundo sobre a região que foi determinada como origem da falha, utilizou-se a técnica de microscopia eletrônica de varredura, a Figura 9 a seguir, apresenta a análise da fratura via MEV.

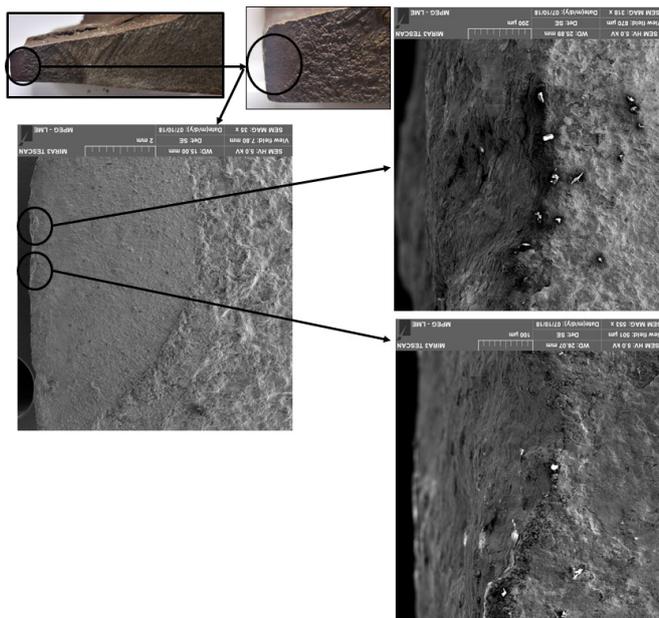


Figura 9 - Regiões da fratura analisadas no MEV

Ao se analisar as micrografias da região do patim, a qual se atribuiu o início da propagação da trinca, atentou-se para uma pequena marca na borda, porém não fora possível identificar, nesse grau de aumento e resolução, qualquer anomalia evidente, os pontos brilhosos evidentes na imagem são decorrentes da manipulação da peça e não possíveis incrustações na matriz.

Portanto a motivação da falha foi associada ao declive verificados nas imagens e tal elemento pode ter sido ocasionado durante a implantação, transporte ou até mesmo no processo de fabricação.

3.2 Análise química

Para a realização da análise química efetuou-se o procedimento no trilho T1, mais especificamente nos corpos de prova T1D e T1E, detalhamento presente na Figura 3, com a intenção de verificar se os trilhos que haviam sido unidos apresentavam a mesma composição química. A tabela 1 apresenta o resultado da análise.

Composição Química [%] das amostras de trilhos										
	C	Mn	Cr	V	P	S	Ni	Ti	Co	Si
T1D	0.751	0.819	0.354	0.081	0.0052	<0.150	0.028	0.0034	0.020	0.365
T1E	0.770	0.850	0.415	0.087	<0.0050	<0.150	0.032	0.0052	0.023	0.378

Tabela 1 – Análise química das amostras T1D e T1E

A tabela 1 apresentou que ambas as amostras possuem virtualmente a mesma composição química, tal fato facilitou a restante dos trabalhos, pois dispensou maiores preocupações com identificação das amostras, uma vez que se comprovou que é mesmo tipo de material.

Efetua-se um comparativo da composição química das duas amostras analisadas com a literatura (AREMA, 2016), e com relação a norma técnica ASTM A1 (ASTM – AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS, 2018) e em ambos os casos a composição química está coerente com o previsto, ou seja, o trilho analisado atende o padrão previsto para utilização em operação.

3.3 Ensaio de tração

O ensaio de tração dos corpos de prova retirados da amostra T1 podem ser observados na Figura 10 a seguir:

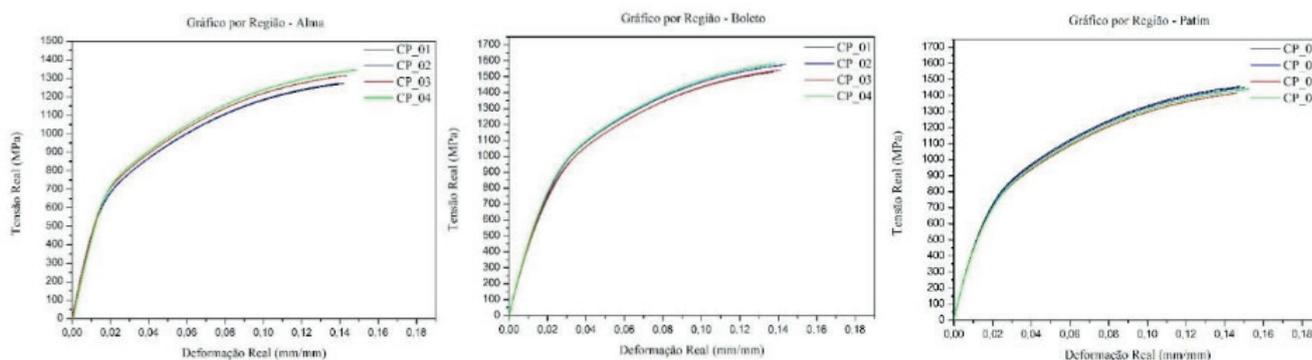


Figura 10 – Curvas tensão real x deformação real para as regiões da Alma, Boletó e Patim

Os resultados obtidos nos gráficos tensão-deformação demonstram que o material possui uma homogeneidade, já que as curvas se apresentaram bem próximas. E todos os ensaios executados apresentaram resultado de resistência a tração superior ao previsto pela norma ASTM A1 (ASTM – AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS, 2018).

Na tentativa de efetuar um comparativo entre as regiões presentes na seção transversal de do trilho, notou-se que em todas as situações, ou seja, em todos os corpos de prova analisados o comportamento era idêntico ao apresentado na Figura

11, que trata da curva tensão real x deformação real do corpo de prova CP1. Nessa Figura é possível observar que as regiões da seção transversal do trilho (boleto, alma e patim) apresentam comportamento mecânico distinto, na zona caracterizada como elástica e também na zona plástica.

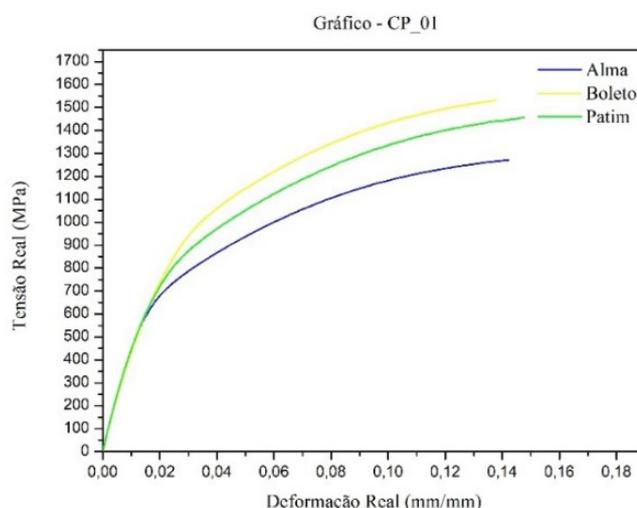


Figura 11 - Curvas tensão-deformação das regiões do boleto, alma e patim.

Os resultados obtidos na Figura 11, demonstram que as diferentes partes do trilho possuem certa variação no LRT, principalmente entre o boleto e a alma. É importante frisar que, o trilho após ser fabricado possui tensões residuais, ou seja, em decorrência do processo de fabricação cada região do trilho está submetida a tensões residuais, que são do tipo trativa para as regiões do boleto e do patim e do tipo compressiva para a região da alma. Em decorrência das solicitações de serviço, observa-se que a região do boleto passa a apresentar tensões residuais de compressão (BRIGUENTE, 2013).

O boleto obteve um elevado LRT se comparado as demais regiões do trilho, tal fato pode estar associado a maior dureza dessa região, assim como ao tempo de serviço, pois sabe-se que essa zona passa por encruamento, associada a esses fatores os maiores valores de LRT podem ser atribuídos ao fato do boleto, em decorrência da solicitação de serviço, apresentar tensões residuais do tipo compressiva e durante o ensaio de tração, tais tensões podem ter contribuído para um aumento do desempenho do material quando analisado sob tração.

A região do patim obteve um desempenho intermediário em relação aos demais, outra vez o encruamento pode ter influenciado nos resultados, pois enquanto a superfície do trilho recebe cargas de compressão o patim recebe tensões trativas que são somadas a tensões do tipo mesmo tipo oriundas do processo de fabricação, tal fato pode contribuir para uma redução das propriedades mecânicas em um ensaio de tração.

A alma atingiu o menor LRT que pode ser explicado pela “linha neutra” que é um ponto que não recebe esforços de tração nem compressão da flexão que o trilho recebe pela passagem das rodas das locomotivas (BRIGUENTE, 2013). A Tabela 2 mostra os resultados médios do limite de resistência a tração (LRT) de todos os ensaios de tração efetuados.

CORPOS DE PROVA	BOLETO	ALMA	PATIM
	Tensão (MPa)	Tensão (MPa)	Tensão (MPa)
1	1331,28	1102,78	1256,35
2	1364,70	1106,28	1242,90
3	1338,78	1139,44	1215,22
4	1368,22	1157,96	1230,22
MEDIA GERAL	1351,74	1122,86	1236,56

Tabela 2 - Resultados de tensão máxima dos ensaios de tração.

3.4 Ensaio de dureza

O ensaio de dureza gerou o resultado conforme a apresentado na Figura 12, nela estão representados os valores médios para cada região do perfil do trilho, nota-se que a região do boleto apresentou um resultado de dureza superior ao das demais. Por sua vez as regiões da alma e patim apresentam resultado de dureza próximos.

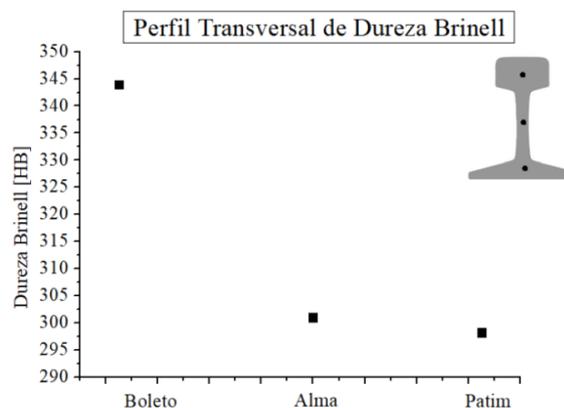


Figura 12 - Resultados obtidos de cada parte do trilho

O comportamento das regiões da seção transversal, quanto a propriedade de dureza Brinell aparentou o esperado, já que devido a solicitação de serviço, ou seja, a questão do encruamento imposto pela passagem das trem favoreceu o aumento da dureza da região do boleto (BRIGUENTE, 2013).

A literatura (AREMA, 2016) e a norma ASTM A1 (ASTM – AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS, 2018) determinam que os valores de dureza brinell não podem ser inferiores a 240 HB, fato que não ocorreu em nenhum dos valores médios determinados por região para as amostras analisadas.

4 | CONCLUSÃO

Ao que se propôs o escopo dessa investigação, ou seja, a avaliação do trilho que sofreu a fratura, se pode observar que com relação a análise química constatou-se que as seções estudadas apresentam virtualmente a mesma composição química, assim como atendem as especificações demandadas na literatura e norma técnica.

Com relação aos ensaios de dureza e tração nota-se que não houve nenhum resultado que se apresentasse incoerente, ou seja, as análises atestam que trilho analisado apresenta boa integridade com relação as propriedades mecânicas, assim como boa concordância com a literatura e normas técnicas.

A análise da falha, via análise visual e fractografia, aponta para uma falha ocasionada por fadiga, pois fora possível identificar a origem da falha e na região próxima a este local há a presença de estruturas características desse tipo de mecanismo de fratura. A falha por fadiga segundo a literatura (Y.D.LI, C.B.LIU, *et al.*, 2013; MASOUMI, SINATORA e GOLDENSTEIN, 2019) é recorrente em trilhos que operam em ferrovias que trabalham em regime de carregamento elevado, portanto pode-se atribuir a hipótese de que a amostra em questão falhou por fadiga devido as condições de operação e descartar que o colapso possa ter sido atribuído a fatores relacionados a fabricação do componente.

REFERÊNCIAS

- AREMA. **Manual for Railway Engineering**. American Railway Engineering Maintenance (Org). [S.l.]. 2016.
- ASTM – AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. **E8/E8M - 16a: Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials**. West Conshohocken, PA, USA. 2016.
- ASTM – AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. **A1-00: Standard Specification for Carbon Steel Tee Rails**. West Conshohocken, PA, USA. 2018.
- BARRETO, R. A. M. et al. **Determinação da resistência a partir da porosidade e absorção da brita de Gnaise e da escória de Aciaria LD**. ENGEVISTA, n. 5, Dezembro 2018. p. 623-636.
- BRIGUENTE, C. A. **Caracterização microestrutural e mecânica de trilhos ferroviários soldados de topo por caldeamento**. Dissertação em engenharia mecânica, Universidade Estadual Paulista. Ilha Solteira. 2013.
- CALLISTER, W. D. **Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução**. Rio de Janeiro: LTC, 2016.
- GARCIA, A.; SPIM, J. A.; SANTOS, C. A. D. **Ensaio dos Materiais**. Rio de Janeiro: LTC, 2000.
- LIMBERGER, I. D. F. **Estudo da Propagação de Trincas por Fadiga em Trilhos Ferroviários**. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 2000.
- MASOUMI, M.; SINATORA, A.; GOLDENSTEIN, H. **Role of microstructure and crystallographic orientation in fatigue**. Engineering Failure Analysis, n. 96, 2019. 320–329.
- Y.D.LI et al. **A failure study of the railway rail serviced for heavy cargo trains**. Article in Case Studies in Engineering Failure Analysis, October 2013. 243–248.

SOBRE OS ORGANIZADORES

Henrique Ajuz Holzmann - Professor da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Graduação em Tecnologia em Fabricação Mecânica e Engenharia Mecânica pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Mestre em Engenharia de Produção pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Doutorando em Engenharia e Ciência do Materiais pela Universidade Estadual de Ponta Grossa. Trabalha com os temas: Revestimentos resistentes a corrosão, Soldagem e Caracterização de revestimentos soldados.

Ricardo Vinicius Bubna Biscaia - Professor da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Graduado em Engenharia Mecânica pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Mestre em Engenharia Mecânica pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Doutorando em Engenharia de Produção pela UTFPR. Trabalha com os temas: análise microestrutural e de microdureza de ferramentas de usinagem, modelo de referência e processo de desenvolvimento de produto e gestão da manutenção.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Acesso ao saneamento 168
Aditivos 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 11, 14
Agregado leve 31, 34, 37, 38
Análise da fratura 122, 126, 130
Análise de variância 99
Aplicações biomédicas 113, 119
Argamassas 1, 2, 3, 4, 10, 11

B

Baterias de lítio 106, 113, 118
Biomassa 99

C

Características 3, 29, 32, 38, 39, 42, 45, 46, 47, 56, 61, 64, 65, 74, 83, 84, 88, 89, 97, 110, 118, 122, 127, 128, 129, 134, 136, 146, 147, 150, 151, 153, 164, 168
Caulim 74, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84
Células combustível 113
Compensado 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 170
Compósito 20, 24, 25, 61, 75, 76, 77, 79, 80, 84
Compósitos 22, 24, 29, 30, 63, 64, 72, 74, 75, 76, 79, 80, 81, 82, 84, 99, 119, 135
Concreto de alta resistência 12, 14, 15, 17, 19, 20, 22, 23
Cooperativas 155, 156, 157, 158, 159, 162, 163, 164
Corrosão 135, 136, 137, 138, 139, 140, 141, 143, 144, 185
Cristalização hidrotérmica 104

D

Dispersão 82, 85, 86, 89, 90, 91, 92, 94, 95

E

Economia solidária 155, 162, 163, 164

F

Fadiga 122, 124, 129, 134
Fibra de polipropileno 12, 13, 14, 16, 17, 18, 19, 20, 22
Fibras de cana-de-açúcar 61
Fibras de côco verde 61
Filme plástico 85
Fôrmas 52, 54, 58, 60
Fotocatálise 113, 114

I

Instalações elétricas 135, 144

italic 105

L

Lama vermelha 31, 32, 33, 34, 37, 38, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 81, 82, 83, 84

Licuri 24, 25, 26, 29, 30

M

Marco regulatório do saneamento 165, 166, 181, 183

Materiais conjugados 74

Materiais de construção 1, 2, 11

Mercerização 61, 65, 66, 67, 68, 71

Microemulsão 104

Mineração 32, 39, 40, 41, 43, 46, 47, 50, 75, 84

N

Nanoestruturas de titânio 113

Nanopartículas de prata 85, 86, 87, 89, 91, 96

P

Pavimentação 39, 40, 41, 42, 47, 48, 50, 51

Polietileno 52, 53, 54, 55, 61, 64, 65, 66, 72, 85, 88, 89

Propriedades mecânicas 12, 14, 15, 19, 20, 22, 64, 81, 82, 83, 99, 124, 132, 134, 147, 148, 151, 152, 153

R

Resina poliéster 74

Resistência à compressão 1, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 20, 22, 61, 64

Resistência à compressão diametral 12, 20

Riscos do fim do subsídio 166

S

Sacolas plásticas 52, 53, 54, 55, 56, 59, 60

Secagem 24, 25, 26, 29, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 43, 66, 76, 93, 105, 107, 117

Síntese TiO₂ nanoestruturado 104

Sistemas de aterramento 135, 136, 144

Slump test 12, 13, 18

Sobrecarga 21, 122

Sol-gel 104, 105, 111, 112

Subsídio cruzado 165, 166, 168, 169, 170, 174, 175, 180, 182

Substituto 52

Sustentabilidade 2, 25, 39, 53, 61, 155, 156, 159, 160, 161, 163, 164, 169

T

Técnicas eletroquímicas 135, 144

Tijolo 24, 25, 26, 28, 29

Trilho ferroviário 122

Triple bottom line 155, 156, 157, 159

Agência Brasileira do ISBN

ISBN 978-85-7247-848-9



9 788572 478489