

Engenharia de Materiais e Metalúrgica: Tudo à sua Volta 2

Henrique Ajuz Holzmann
João Dallamuta
(Organizadores)



Atena
Editora
Ano 2021

Engenharia de Materiais e Metalúrgica: Tudo à sua Volta 2

Henrique Ajuz Holzmann
João Dallamuta
(Organizadores)



Atena
Editora
Ano 2021

Editora Chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Assistentes Editoriais

Natalia Oliveira

Bruno Oliveira

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto Gráfico e Diagramação

Natália Sandrini de Azevedo

Camila Alves de Cremo

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

Imagens da Capa

Shutterstock

Edição de Arte

Luiza Alves Batista

Revisão

Os Autores

2021 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2021 Os autores

Copyright da Edição © 2021 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. 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.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná

Prof. Dr. Américo Junior Nunes da Silva – Universidade do Estado da Bahia

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. Carlos Antonio de Souza Moraes – Universidade Federal Fluminense
Prof. Dr. Crisóstomo Lima do Nascimento – Universidade Federal Fluminense
Prof^ª Dr^ª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Daniel Richard Sant’Ana – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia
Prof^ª Dr^ª Dilma Antunes Silva – Universidade Federal de São Paulo
Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá
Prof. Dr. Elson Ferreira Costa – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima
Prof. Dr. Gustavo Henrique Cepolini Ferreira – Universidade Estadual de Montes Claros
Prof^ª Dr^ª Ivone Goulart Lopes – Instituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Prof. Dr. Jadson Correia de Oliveira – Universidade Católica do Salvador
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Prof^ª Dr^ª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Prof. Dr. Luis Ricardo Fernandes da Costa – Universidade Estadual de Montes Claros
Prof^ª Dr^ª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Pontifícia Universidade Católica de Campinas
Prof^ª Dr^ª Maria Luzia da Silva Santana – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof^ª Dr^ª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof^ª Dr^ª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof^ª Dr^ª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. William Cleber Domingues Silva – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano
Prof^ª Dr^ª Carla Cristina Bauermann Brasil – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados
Prof^ª Dr^ª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof^ª Dr^ª 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
Prof. Dr. Fágner Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará
Prof^ª Dr^ª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Jael Soares Batista – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof^ª Dr^ª Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa
Prof^ª Dr^ª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof^ª Dr^ª Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido

Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

Ciências Biológicas e da Saúde

Prof. Dr. André Ribeiro da Silva – Universidade de Brasília

Prof^ª Dr^ª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas

Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás

Prof^ª Dr^ª Débora Luana Ribeiro Pessoa – Universidade Federal do Maranhão

Prof. Dr. Douglas Siqueira de Almeida Chaves – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri

Prof^ª Dr^ª Elizabeth Cordeiro Fernandes – Faculdade Integrada Medicina

Prof^ª Dr^ª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília

Prof^ª Dr^ª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina

Prof^ª Dr^ª Eysler Gonçalves Maia Brasil – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira

Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia

Prof. Dr. Fernando Mendes – Instituto Politécnico de Coimbra – Escola Superior de Saúde de Coimbra

Prof^ª Dr^ª Gabriela Vieira do Amaral – Universidade de Vassouras

Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria

Prof. Dr. Helio Franklin Rodrigues de Almeida – Universidade Federal de Rondônia

Prof^ª Dr^ª Iara Lúcia Tescarollo – Universidade São Francisco

Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande

Prof. Dr. Jefferson Thiago Souza – Universidade Estadual do Ceará

Prof. Dr. Jesus Rodrigues Lemos – Universidade Federal do Piauí

Prof. Dr. Jônatas de França Barros – Universidade Federal do Rio Grande do Norte

Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará

Prof. Dr. Luís Paulo Souza e Souza – Universidade Federal do Amazonas

Prof^ª Dr^ª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande

Prof. Dr. Marcus Fernando da Silva Praxedes – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia

Prof^ª Dr^ª Maria Tatiane Gonçalves Sá – Universidade do Estado do Pará

Prof^ª Dr^ª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma

Prof^ª Dr^ª Natiéli Piovesan – Instituto Federaci do Rio Grande do Norte

Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá

Prof. Dr. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados

Prof^ª Dr^ª Regiane Luz Carvalho – Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino

Prof^ª Dr^ª Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof^ª Dr^ª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Prof^ª Dr^ª 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. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás

Prof^ª Dr^ª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná

Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás

Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia

Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof^ª Dr^ª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Prof^ª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Prof^ª Dr^ª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora
Prof^ª Dr^ª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Prof^ª Dr^ª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof^ª Dr^ª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Linguística, Letras e Artes

Prof^ª Dr^ª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins
Prof^ª Dr^ª Angeli Rose do Nascimento – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro
Prof^ª Dr^ª Carolina Fernandes da Silva Mandaji – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof^ª Dr^ª Denise Rocha – Universidade Federal do Ceará
Prof. Dr. Fabiano Tadeu Grazioli – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Prof^ª Dr^ª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná
Prof^ª Dr^ª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará
Prof^ª Dr^ª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste
Prof^ª Dr^ª Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia

Conselho Técnico Científico

Prof. Me. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo
Prof. Me. Adalberto Zorzo – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza
Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba
Prof. Dr. Adilson Tadeu Basquerote Silva – Universidade para o Desenvolvimento do Alto Vale do Itajaí
Prof. Dr. Alex Luis dos Santos – Universidade Federal de Minas Gerais
Prof. Me. Aleksandro Teixeira Ribeiro – Centro Universitário Internacional
Prof^ª Ma. Aline Ferreira Antunes – Universidade Federal de Goiás
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Prof^ª Ma. Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa
Prof^ª Dr^ª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Prof^ª Dr^ª Andrezza Miguel da Silva – Faculdade da Amazônia
Prof^ª Ma. Anelisa Mota Gregoleti – Universidade Estadual de Maringá
Prof^ª Ma. Anne Karynne da Silva Barbosa – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Antonio Hot Pereira de Faria – Polícia Militar de Minas Gerais
Prof. Me. Armando Dias Duarte – Universidade Federal de Pernambuco
Prof^ª Ma. Bianca Camargo Martins – UniCesumar

Profª Ma. Carolina Shimomura Nanya – Universidade Federal de São Carlos
Prof. Me. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Me. Christopher Smith Bignardi Neves – Universidade Federal do Paraná
Prof. Ma. Cláudia de Araújo Marques – Faculdade de Música do Espírito Santo
Profª Drª Cláudia Taís Siqueira Cagliari – Centro Universitário Dinâmica das Cataratas
Prof. Me. Clécio Danilo Dias da Silva – Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Me. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará
Profª Ma. Daniela da Silva Rodrigues – Universidade de Brasília
Profª Ma. Daniela Remião de Macedo – Universidade de Lisboa
Profª Ma. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco
Prof. Me. Douglas Santos Mezacas – Universidade Estadual de Goiás
Prof. Me. Edevaldo de Castro Monteiro – Embrapa Agrobiologia
Prof. Me. Eduardo Gomes de Oliveira – Faculdades Unificadas Doctum de Cataguases
Prof. Me. Eduardo Henrique Ferreira – Faculdade Pitágoras de Londrina
Prof. Dr. Edwaldo Costa – Marinha do Brasil
Prof. Me. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita
Prof. Me. Ernane Rosa Martins – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Prof. Me. Euvaldo de Sousa Costa Junior – Prefeitura Municipal de São João do Piauí
Prof. Dr. Everaldo dos Santos Mendes – Instituto Edith Theresa Hedwing Stein
Prof. Me. Ezequiel Martins Ferreira – Universidade Federal de Goiás
Profª Ma. Fabiana Coelho Couto Rocha Corrêa – Centro Universitário Estácio Juiz de Fora
Prof. Me. Fabiano Eloy Atilio Batista – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Me. Felipe da Costa Negrão – Universidade Federal do Amazonas
Prof. Me. Francisco Odécio Sales – Instituto Federal do Ceará
Profª Drª Germana Ponce de Leon Ramírez – Centro Universitário Adventista de São Paulo
Prof. Me. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária
Prof. Me. Givanildo de Oliveira Santos – Secretaria da Educação de Goiás
Prof. Dr. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná
Prof. Me. Gustavo Krahl – Universidade do Oeste de Santa Catarina
Prof. Me. Helton Rangel Coutinho Junior – Tribunal de Justiça do Estado do Rio de Janeiro
Profª Ma. Isabelle Cerqueira Sousa – Universidade de Fortaleza
Profª Ma. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia
Prof. Me. Javier Antonio Albornoz – University of Miami and Miami Dade College
Prof. Me. Jhonatan da Silva Lima – Universidade Federal do Pará
Prof. Dr. José Carlos da Silva Mendes – Instituto de Psicologia Cognitiva, Desenvolvimento Humano e Social
Prof. Me. Jose Elyton Batista dos Santos – Universidade Federal de Sergipe
Prof. Me. José Luiz Leonardo de Araujo Pimenta – Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria Uruguay
Prof. Me. José Messias Ribeiro Júnior – Instituto Federal de Educação Tecnológica de Pernambuco
Profª Drª Juliana Santana de Curcio – Universidade Federal de Goiás
Profª Ma. Juliana Thaisa Rodrigues Pacheco – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Kamilly Souza do Vale – Núcleo de Pesquisas Fenomenológicas/UFPA
Prof. Dr. Kárpio Márcio de Siqueira – Universidade do Estado da Bahia
Profª Drª Karina de Araújo Dias – Prefeitura Municipal de Florianópolis
Prof. Dr. Lázaro Castro Silva Nascimento – Laboratório de Fenomenologia & Subjetividade/UFPR

Prof. Me. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof^ª Ma. Lillian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará
Prof^ª Ma. Lilians Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ
Prof^ª Dr^ª Lívia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás
Prof. Dr. Lucio Marques Vieira Souza – Secretaria de Estado da Educação, do Esporte e da Cultura de Sergipe
Prof. Dr. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual do Paraná
Prof^ª Ma. Luana Ferreira dos Santos – Universidade Estadual de Santa Cruz
Prof^ª Ma. Luana Vieira Toledo – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados
Prof^ª Ma. Luma Sarai de Oliveira – Universidade Estadual de Campinas
Prof. Dr. Michel da Costa – Universidade Metropolitana de Santos
Prof. Me. Marcelo da Fonseca Ferreira da Silva – Governo do Estado do Espírito Santo
Prof. Dr. Marcelo Máximo Purificação – Fundação Integrada Municipal de Ensino Superior
Prof. Me. Marcos Aurelio Alves e Silva – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo
Prof^ª Ma. Maria Elanny Damasceno Silva – Universidade Federal do Ceará
Prof^ª Ma. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Prof. Me. Pedro Panhoca da Silva – Universidade Presbiteriana Mackenzie
Prof^ª Dr^ª Poliana Arruda Fajardo – Universidade Federal de São Carlos
Prof. Me. Ricardo Sérgio da Silva – Universidade Federal de Pernambuco
Prof. Me. Renato Faria da Gama – Instituto Gama – Medicina Personalizada e Integrativa
Prof^ª Ma. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal
Prof. Me. Robson Lucas Soares da Silva – Universidade Federal da Paraíba
Prof. Me. Sebastião André Barbosa Junior – Universidade Federal Rural de Pernambuco
Prof^ª Ma. Silene Ribeiro Miranda Barbosa – Consultoria Brasileira de Ensino, Pesquisa e Extensão
Prof^ª Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo
Prof^ª Ma. Taiane Aparecida Ribeiro Nepomoceno – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Faculdade Regional Jaguaribana
Prof^ª Ma. Thatianny Jasmine Castro Martins de Carvalho – Universidade Federal do Piauí
Prof. Me. Tiago Silvio Dedoné – Colégio ECEL Positivo
Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

Engenharia de materiais e metalúrgica: tudo à sua volta 2

Editora Chefe: Prof^ª Dr^ª Antonella Carvalho de Oliveira
Bibliotecária: Janaina Ramos
Diagramação: Camila Alves de Cremona
Correção: Giovanna Sandrini de Azevedo
Edição de Arte: Luiza Alves Batista
Revisão: Os Autores
Organizadores: Henrique Ajuz Holzmann
João Dallamuta

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

E57 Engenharia de materiais e metalúrgica: tudo à sua volta 2 / Organizadores Henrique Ajuz Holzmann, João Dallamuta. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2021.

Formato: PDF
Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader
Modo de acesso: World Wide Web
Inclui bibliografia
ISBN 978-65-5706-962-2
DOI 10.22533/at.ed.622210504

1. Engenharia. I. Holzmann, Henrique Ajuz (Organizador). II. Dallamuta, João (Organizador). III. Título.
CDD 620

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

Atena Editora
Ponta Grossa – Paraná – Brasil
Telefone: +55 (42) 3323-5493
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br

DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa.

APRESENTAÇÃO

A engenharia de materiais, se tornou um dos grandes pilares da revolução técnica industrial, devido a necessidade de desenvolvimento de novos materiais, que apresentem melhores características e propriedades físico-químicas. Grandes empresas e centros de pesquisa investem maciçamente em setores de P&D a fim de tornarem seus produtos e suas tecnologias mais competitivas.

Destaca-se que a área de material compreende três grandes grupos, a dos metais, das cerâmicas e dos polímeros, sendo que cada um deles tem sua importância na geração de tecnologia e no desenvolvimento dos produtos. Aliar os conhecimentos pré-existentes com novas tecnologias é um dos grandes desafios da nova engenharia.

Neste livro são explorados trabalhos teóricos e práticos, relacionados as áreas de materiais, dando um panorama dos assuntos em pesquisa atualmente. Apresenta capítulos relacionados ao desenvolvimento de novos materiais, com aplicações nos mais diversos ramos da ciência, bem como assuntos relacionados a melhoria em processos e produtos já existentes, buscando uma melhoria e a redução dos custos.

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. Sendo hoje que utilizar dos conhecimentos científicos de uma maneira eficaz e eficiente é um dos desafios dos novos engenheiros.

Boa leitura.

Henrique Ajuz Holzmann

João Dallamuta

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

CARACTERIZAÇÃO MICROESTRUTURAL E PERFIL DE MICRODUREZA DE AÇO API 5L X80 OBTIDO POR PROCESSO TMCR

Cláudio Beserra Martins Júnior
Ana Larissa Soares Cruz
Ermeson David dos Santos Silva
Nicolas Moreira de Carvalho Gomes
Vinícius Pereira Bacurau
Maria das Dores Bandeira Barroso
Rosilda Benício de Souza
Edvânia Trajano Teó ilo

DOI 10.22533/at.ed.6222105041

CAPÍTULO 2..... 14

INFLUÊNCIA DA VARIAÇÃO DOS PARÂMETROS DE SOLDAGEM NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS E MICROESTRUTURA DO AÇO SAE 1035 PELO PROCESSO GMAW

Charlon Widson Leite Costa
José Costa de Macêdo Neto
Adalberto Gomes de Miranda
Luiz Antônio de Verçosa

DOI 10.22533/at.ed.6222105042

CAPÍTULO 3..... 29

INFLUÊNCIA DO TRATAMENTO TÉRMICO DE NORMALIZAÇÃO NA MICROESTRUTURA E PROPRIEDADES MECÂNICAS DO AÇO SAE 1035 UTILIZADO EM MOTOCICLETAS

Andrews Raphael da Silva Vieira
José Costa de Macêdo Neto
Adalberto Gomes de Miranda
Luiz Antônio de Verçosa
Gilberto García Del Pino
Reinaldo de Almeida Rodrigues
Denise Andrade do Nascimento

DOI 10.22533/at.ed.6222105043

CAPÍTULO 4..... 40

INFLUÊNCIA DO TRATAMENTO CRIOGÊNICO PROFUNDO NAS TEMPERATURAS DE TRANSFORMAÇÃO DE FASE E NA ESTABILIZAÇÃO DA CAPACIDADE DE RECUPERAÇÃO DE FORMA DA LIGA Cu-14Al-4Ni COM EFEITO MEMÓRIA DE FORMA

Marcelo Nava
Emmanuel Pacheco Rocha Lima

DOI 10.22533/at.ed.6222105044

CAPÍTULO 5..... 63

ANÁLISE DE FALHA POR FRATURA EM PLACA NÃO ABSORVÍVEL PARA OSTEOSSÍNTESE

Luís Eduardo da Cunha Ferro

Jorge de Souza e Silva Neto
Daniel Kioshi Kawasaki Cavalcanti
Rosemere de Araújo Alves Lima
Marília Garcia Diniz

DOI 10.22533/at.ed.6222105045

CAPÍTULO 6..... 76

PROTEÇÃO ANTICORROSIVA PARA ESTRUTURAS DE AÇO EM ATMOSFERAS INDUSTRIAIS E MARINHAS COM SISTEMA DE TINTA BASE AQUOSA ACRÍLICA

Idalina Vieira Aoki
Fernando Cotting
Paulo Cezar Maziero Tiano

DOI 10.22533/at.ed.6222105046

CAPÍTULO 7..... 92

COLORAÇÃO DO TITÂNIO COM LASER E RUGOSIDADE

Luis Miguel Moncayo Morales
Carlos Nelson Elias
Francielly Moura de Souza Soares
Dyanni Manhães Barbosa

DOI 10.22533/at.ed.6222105047

CAPÍTULO 8..... 100

AVALIAÇÃO DE PROCESSOS DE CORROSÃO INFLUENCIADA MICROBIOLOGICAMENTE EM ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO

Mariana Isabeli Valentim
José Carlos Alves Galvão
Karoline Caetano da Silva
Rozane de Fatima Turchiello Gomez

DOI 10.22533/at.ed.6222105048

CAPÍTULO 9..... 111

ANÁLISE DA RECUPERAÇÃO DE CROMO NA LAMA DE ACIARIA POR MEIO DE BRIQUETES AUTORREDUTORES À BASE DE CARBONO

Raphael Mariano de Souza
Diego Santa Rosa Coradini
José Roberto de Oliveira

DOI 10.22533/at.ed.6222105049

CAPÍTULO 10..... 120

RESPOSTA AO IMPACTO BALÍSTICO DE COMPÓSITOS DE ALUMINA-UHMWPE IRRADIADOS COM RAIOS GAMA

André Ben-Hur da Silva Figueiredo
Hélio de Carvalho Vital
Ricardo Pondé Weber
Édio Pereira Lima Júnior
João Gabriel Passos Rodrigues
Letícia dos Santos Aguilera

Ronaldo Sergio de Biasi

DOI 10.22533/at.ed.62221050410

CAPÍTULO 11..... 133

INFLUÊNCIA DA TÉCNICA “TWO STEPS SINTERING” NA REDUÇÃO DA POROSIDADE DAS CERÂMICAS VERMELHAS

André Lucas Reboli Pagoto

Valdi Antonio Rodrigues Junior

DOI 10.22533/at.ed.62221050411

CAPÍTULO 12..... 138

COMPARAÇÃO ENTRE POLI (acrilonitrila-co-butadieno-co-estireno) (ABS) E POLIPROPILENO (PP). POR QUE POLÍMEROS COM ÍNDICE DE FLUIDEZ SIMILARES NÃO APRESENTAM O MESMO DESEMPENHO TÉRMICO E MECÂNICO?

Rogério Massanori Sakahara

Wang Shu Hui

Daniel José da Silva

Luiz Henriques

DOI 10.22533/at.ed.62221050412

CAPÍTULO 13..... 151

UMA SÍNTESE DOS AVANÇOS EM MATERIAIS COMPÓSITOS DE POLIURETANO NA REMOÇÃO DE ÓLEO DA ÁGUA

Karen de França Gonçalves

Luiz Fernando do Nascimento Vieira

Ricardo Pondé Weber

Sergio Neves Monteiro

DOI 10.22533/at.ed.62221050413

CAPÍTULO 14..... 164

FIBRA DE BAMBU: UMA NOVA ALTERNATIVA PARA COMPÓSITOS POLIMÉRICOS

Bárbara Maria Ribeiro Guimarães

Marcelo Barbosa Furtini

Josy Antevêli Osajima

José Benedito Guimarães Junior

DOI 10.22533/at.ed.62221050414

CAPÍTULO 15..... 174

MEMBRANAS DE QUITOSANA-BIOATIVO NATURAL PARA USO POTENCIAL COMO CURATIVOS

Itamara Farias Leite

Wwandson Felipe Wanderley

Alanne Tamize de Medeiros Salviano

DOI 10.22533/at.ed.62221050415

CAPÍTULO 16..... 187

SÍNTESE DE CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DE UMA MEMBRANA BIOLÓGICA

OBTIDA A PARTIR DA FIBROÍNA PRESENTE NO CASULO DO BICHO DA SEDA

Ingrid Russoni de Lima

Mara Carolina do Carmo Paresque

Lucas Furtado Loesh Pereira

Bonifácio de Oliveira Fialho

Heleno Souza da Silva

Renata Antoum Simão

José Adilson de Castro

Gláucio Soares Fonseca

DOI 10.22533/at.ed.62221050416

SOBRE OS ORGANIZADORES200

ÍNDICE REMISSIVO.....201

INFLUÊNCIA DA VARIAÇÃO DOS PARÂMETROS DE SOLDAGEM NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS E MICROESTRUTURA DO AÇO SAE 1035 PELO PROCESSO GMAW

Data de aceite: 01/04/2021

Charlon Widson Leite Costa

Universidade do Estado do Amazonas – UEA
Manaus – Amazonas
<http://lattes.cnpq.br/7847124193712877>

José Costa de Macêdo Neto

Universidade do Estado do Amazonas – UEA
Manaus – Amazonas
<http://lattes.cnpq.br/7868540287547126>

Adalberto Gomes de Miranda

Universidade do Estado do Amazonas – UEA
Manaus – Amazonas
<http://lattes.cnpq.br/0031798088948641>

Luiz Antônio de Verçosa

Universidade do Estado do Amazonas – UEA
Manaus – Amazonas
<http://lattes.cnpq.br/201311730320791>

RESUMO: O presente trabalho objetiva-se em realizar uma avaliação das propriedades mecânicas e microestrutural no cordão de solda do conjunto de suspensão para motocicletas de baixa cilindrada, estudando a influência na alteração dos parâmetros de corrente no processo de soldagem *Gas Metal Arc Welding* (GMAW). O processo MAG é um dos processos de soldagem mais utilizados na indústria atualmente, devido a sua importância na fabricação, caracterizando-se a necessidade de garantir boa qualidade dos cordões de solda, como em navios, pontes, máquinas de construção e componentes para motocicletas. O processo de soldagem GMAW

é caracterizado por uma forte interdependência dos parâmetros operacionais e uma grande sensibilidade a variações destes, podendo causar variações nas propriedades mecânicas e microestruturais do referido cordão. Foram estudados os seguintes parâmetros no processo de soldagem, em um local de alta sollicitação mecânica, variando os valores de corrente: 210A; 220A e 230A, com gás de proteção 100% CO₂. Para a avaliação dos diferentes parâmetros de corrente utilizados no componente da suspensão, foram realizados ensaios mecânicos de tração e compressão; análise dimensional no cordão de solda para verificação da penetração da solda e mapeamento de microdureza na área termicamente afetada ZAC, com intuito de monitorar a modificação microestrutural da solda. **PALAVRAS-CHAVE:** Soldagem MIG. Penetração de solda. Microestrutural.

INFLUENCE OF VARIATION OF WELDING PARAMETERS ON MECHANICAL PROPERTIES AND MICRO-STRUCTURE OF SAE 1035 STEEL BY THE GMAW PROCESS

ABSTRACT: The present work aims to carry out an evaluation of the mechanical and microstructural properties in the weld cord of the suspension assembly for low displacement motorcycles, studying the change of the current parameters in the welding process Welding with metallic gas arc (GMAW). The MAG process is one of the most widely used welding processes in the industry today, due to its importance in manufacturing, characterized by the need to ensure the good quality of the weld beads, as in ships, bridges,

construction machines and motorcycle components. The GMAW welding process is adapted by a strong interdependence of the operational parameters and a great sensitivity to variations in them, which can cause changes in the mechanical and microstructural properties of the aforementioned bead. The following parameters were studied in the welding process, in a place of high mechanical stress, varying the current values: 210A; 220A and 230A, with 100% CO₂ shielding gas. For the evaluation of the different current parameters used, no suspension components, mechanical tests of traction and compression were performed; dimensional analysis in the weld bead to verify the penetration of the weld and mapping of microhardness in the thermally affected area ZAC, in order to monitor the microstructural modification of the weld.

KEYWORDS: MIG welding. Weld penetration. Microstructural.

1 | INTRODUÇÃO

Ao longo dos anos, a soldagem provou ser um método eficaz de união de metais. A sua viabilidade financeira se torna ideal para instalações de dutos e tubulações soldadas em campo para o transporte de óleo, gás, derivados de petróleo e indústrias automobilísticas em geral [1]. No setor automotivo marcas como *Lamborghini*, *Bac Mono* e *Ariel* fabricam partes das estruturas de seus automóveis com tubos metálicos. Em todas as marcas existem conjuntos de tubos em formato de treliças, sendo necessário soldá-los para obtenção de seu formato final. As motocicletas possuem componentes que utilizam tubos metálicos como parte de sua estrutura base. No Brasil, somente no ano de 2017, foram vendidas 814.573 motocicletas, com uma frota atual de 26.159.702, representando grande fatia do mercado e indicando sua importância no desenvolvimento da indústria nacional [2].

Devido à grande aplicação do processo de soldagem, especificamente o aço SAE 1035, há a necessidade de conhecer melhor o comportamento mecânico da junta soldada nesse material. Os tipos e parâmetros de processos de soldagem tem efeito significativo na microestrutura e comportamento mecânico do material. Portanto, deve ser dada maior atenção para estas regiões, uma vez que influenciam o pleno funcionamento mecânico para o produto final, dentro de um determinado período de tempo estipulado pelo fabricante sem que ocasione algum tipo de ruptura ou deformação [3]. Durante a soldagem com elevado aporte térmico, regiões do metal de base próximas ao cordão de solda são expostas a elevadas temperaturas (~1350 °C) e seguidas por uma relativa baixa velocidade de resfriamento [4,5,6]. Como consequência, a Zona Afetada pelo Calor (ZAC), próxima à linha de fusão, é sujeita a um elevado crescimento do grão da austenita e durante o resfriamento, ocorrem transformações que resultam na formação de constituintes frágeis e de alta temperatura de transformação. Nessa região da ZAC, denominada de Grãos Grosseiros (GGZAC), em um aço estrutural convencional submetido a elevado aporte de calor, geralmente são observados constituintes como a ferrita de contorno de grão (FC) e a de segunda fase alinhada (FS), com uma quantidade considerável do constituinte MA (Martensita/Austenita) [7-10].

O gás de proteção utilizado no processo GMAW, afeta as propriedades da solda e determina o formato do cordão de solda [33]. Dependendo do tipo de transferência metálica, o gás de proteção interage com maior ou menor intensidade com o arame eletrodo, podendo alterar as propriedades mecânicas e principalmente a qualidade do cordão solda. O dióxido de carbono (CO_2) é o que apresenta menor custo entre os tipos de gases de proteção de solda e é o mais utilizado na soldagem MIG/MAG em aço com transferência por curto-circuito [34]. O CO_2 se dissocia no arco para formar CO e O, sendo o efeito global o de gerar uma proteção oxidante [11]. Já o argônio (Ar) é um gás inerte que apresenta baixo potencial de ionização, baixo potencial de oxidação e baixa condutividade térmica.

A alta densidade do argônio, em comparação com os outros gases (1,38 em relação ao ar), promove uma maior eficiência de proteção, porque o Ar, facilmente substitui o ar em torno da solda. Por ser um gás inerte a proteção à base de argônio promove retenção de elementos de liga no cordão de solda, deixando o cordão de solda livre de inclusões, melhorando as propriedades mecânicas [12]. Além disso, facilita a abertura do arco, melhora a estabilidade em baixas correntes, além de permitir transferência “*spray*”. A qualidade do cordão de solda conseguido pelos processos MIG/MAG é influenciada por alguns parâmetros, tais como intensidade de corrente, tensão e comprimento do arco, velocidade de soldagem, “*stick-out*”, gases de proteção, diâmetro do eletrodo e posição da tocha, seus tipos e vazão [13].

Através da grande aplicação do processo de soldagem GMAW nas indústrias automotivas, faz-se necessário o conhecimento profundo das propriedades mecânicas e metalúrgicas de juntas soldadas, além da necessidade de apresentar um controle dos parâmetros de soldagem para garantir aportes térmicos controlados, a fim de que as propriedades mecânicas não sejam comprometidas [14].

Este trabalho objetiva-se em realizar uma análise comparativa dos resultados encontrados nos ensaios de tração, compressão, líquido penetrante, microdureza e penetração de juntas soldadas pelo processo GMAW do componente de suspensão de motocicletas de 150cc utilizando diferentes correntes elétricas.

2 | MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Materiais

As juntas soldadas analisadas foram da coluna de direção, componente da suspensão dianteira da motocicleta 150cc, Figura 1 (a, b). A mesa inferior é composta no aço SAE 1035 e o tubo da coluna do material STAM390G, similar ao SAE 1020, Tabela 1. O arame ou metal de adição (MA) utilizado foi o Belgo Bekaert [36], sendo na classificação comercial o BME-C4 (Norma AWS A5.18 - ER70S-6) de 1,2 mm de diâmetro cuja composição química nominal é dada pelo fabricante na Tabela 2.



Figura 1. a) Coluna de direção – Componente do sistema de suspensão dianteira, b) Mesa inferior.

Fonte: Autor (2019)

A Tabela 1 mostra a composição química da junta soldada, de aço SAE 1035 da mesa inferior e tubo da coluna do material STAM390G, de aços carbono em geral, do fabricante [36].

SAE 1035	
Carbono (C)	0.31 - 0.38
Manganês (Mn)	0.60 - 0.90
Silício (Si)	0.50 máx.
Fósforo (P)	0.04 máx.
Enxofre (S)	0.05 máx.
STAM 390G	
Carbono (C)	0.25 máx.
Manganês (Mn)	0.30 - 0.90
Silício (Si)	0.35 máx.
Fósforo (P)	0.035 máx.
Enxofre (S)	0.035 máx.

Tabela 1. Composição química da junta soldada.

Fonte: Belgo Bekaert (2018)

Conforme o fabricante [36], os arames BME-C4 são os mais versáteis para utilização em processos de soldagem de MIG/MAG para os aços ao carbono, apresentando sua composição química percentual (Tabela 2), seguindo a Norma AWS A5.

Composição Química (%)	
Carbono (C)	0.06 - 0.15.
Manganês (Mn)	1.40 - 1.85
Silício (Si)	0.80 - 1.15
Fósforo (P)	0.025 máx.
Enxofre (S)	0.0035 máx.
Cobre (Cu)	0.5 máx

Tabela 2. Arame BME-C4 (Norma AWS A5 - ER70S-6).

Fonte: Belgo Bekaert (2018)

2.2 Procedimentos de Soldagem

As juntas foram preparadas, conforme parâmetros já estabelecidos no processo de produção dos componentes, Tabela 3. Com objetivo verificar o efeito da variação dos parâmetros nas juntas, foram empregadas três variações na corrente (A), utilizando para soldagem um inversor de frequência, modelo DM-350, fabricante DAIHEN Corporation.

Amostras	Gás	Tensão (V)	Corrente (A)	Stick-out (mm)	Vazão (L/min.)
1	100% CO ₂	23±3	190	13±3	17±3
2			205		
3			211		

Tabela 3. - Parâmetros de Soldagem e Gases de Proteção

Fonte: Autor (2019)

2.3 Ensaios Mecânicos e Metalográficos

Os ensaios destrutivos são realizados sobre as peças produzidos em conformidade com a norma associada ao procedimento interno (20209-AAY-00-00 SPEC WELDING). Estes testes foram conduzidos com o objetivo de qualificar o procedimento de soldagem e o soldador e, eventualmente, realizar o controle de qualidade dos materiais, recorrendo a

ensaios mecânicos e metalográficos [15]. Idealmente, realizar estes testes na peça seria a melhor forma de garantir a qualidade da junta soldada; porém, uma vez que a capacidade de uma peça realizar a sua função é destruída com a realização destes ensaios, o custo e a dificuldade de realizar uma cópia da peça, torna esta situação impraticável e, por isso, é desejável que os componentes sejam produzidos com o maior rigor possível de modo a estabelecer uma relação com a peça. Os ensaios de tração e compressão foram realizados utilizando a próprias peças, com intuito de analisar resistência do cordão de solda, seguindo como referente a especificação técnica 20209-AAY-00-00 SPEC WELDING. Como não ocorreu a fratura do cordão de solda nas peças analisadas, devido a limitação na capacidade da máquina universal de ensaio, eletromecânica, fabricante Instron, modelo 5582, capacidade de 100kN, realizou-se após ensaios mecânicos o teste não destrutivo de líquido penetrante, modelo SKL-WP, fabricante Magnaflux, visando detecção de possíveis descontinuidades superficiais no cordão de solda.

As observações nas microestruturas presentes na região do cordão de solda, análise de penetração da solda e mapeamento de microdureza de cada região da junta soldada, foram realizadas em um microscópio metalográfico digital Keyence, modelo: VHX-700, Figura 2, com utilização do software VHX-H3M3 – Keyence.



Figura 2. Microscópio digital metalográfico.

Fonte: Autor (2019)

Foi utilizado a máquina de medir microdureza Mitutoyo, modelo: HM-100, com software de medição AVPAK V.3.0, com lente objetiva de 500X, foi utilizada a escala microdureza HV0.3, Figura 3. Para análise da penetração mínima de solda, utilizou-se a especificação técnica 20209-AAY-00-00 SPEC WELDING (Figura 4).



Figura 3. Máquina de medir dureza.

Fonte: Autor (2019)

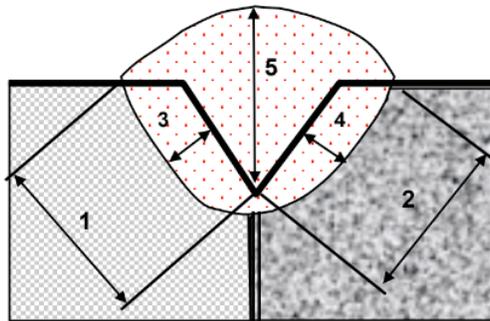


Figura 4. Análise de penetração da solda.

Fonte: Autor (2019)

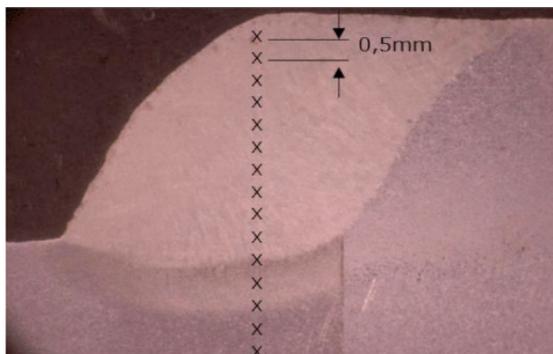


Figura 5. Mapeamento de microdureza da solda.

Fonte: Autor (2019)

O mapeamento de dureza na zona afetada pelo calor (ZAC), utilizou-se a Norma JIS Z 3101:1990- Testing method of maximum hardness in weld heat-affected zone (Figura 5).

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Ensaios Mecânicos

A Figura 6 mostra os resultados dos ensaios de tração e de compressão da junta soldada da coluna de direção, da suspensão dianteira da motocicleta 150cc.

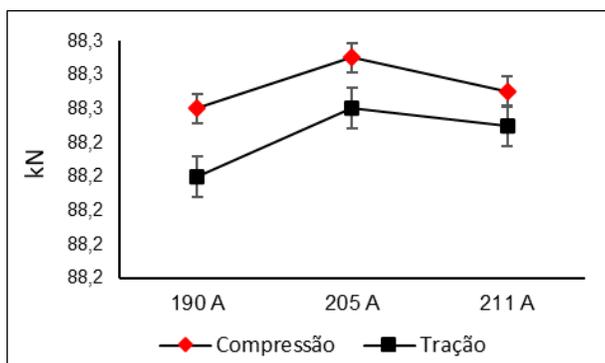


Figura 6. Ensaio de tração e compressão com a variação da corrente.

Fonte: Autor (2019)

Na comparação dos resultados da Figura 6, observa-se que as amostras de junta soldada passaram pelos ensaios de tração e compressão, seguindo os aumentos de intensidades de correntes, 190 A, 205 A e 211 A, em que a tração, para cada intensidade de corrente aplicada, a tensão variou entre 88,2 a 88,3 kN de seu limite de escoamento até 88,25 kN, sem haver ruptura. Na compressão, a tensão se manteve 88,3 kN de seu limite de escoamento, sem haver ruptura. Isto ocorreu devido a vários procedimentos de soldagem, mantendo os materiais da junta de soldagem e alterando apenas o valor da corrente com objetivo de verificar o comportamento da ZAC. No ensaio realizado, não teve o objetivo de comprovar a integridade do cordão de solda, pois a máquina de ensaio utilizada tem uma capacidade de 100 kN. Nenhuma das amostras analisadas sofreram fratura, porém, observou-se que todas atingiram a especificação mínima de 34 kN, conforme 20209-AY-00-00 SPEC WELDING.

Foi utilizado a inspeção por Líquidos Penetrantes com intuito de analisar descontinuidades no cordão de solda após realização de esforços estáticos de tração e compressão [27]. Através da inspeção visual da junta soldada Figura 7, é possível perceber que nenhuma descontinuidade no cordão de solda foi encontrada após a realização dos

ensaios. É importante destacar uma maior qualidade desta solda, mesmo sem a ocorrência de fratura nos ensaios [28].

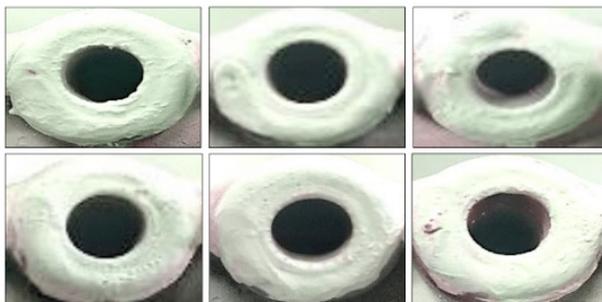


Figura 7. Ensaio de líquido penetrante nos cordões de solda.

Fonte: Autor (2019)

Pelo perfil da microdureza mostrado na Figura 8, pode-se observar duas regiões com diferentes valores de microdureza. O MA obteve uma média de 24 HRC. Na ZAC com microdureza máxima de 41,2 HRC e o (MB), não afetado termicamente pelo calor com dureza média similar ao (MA) 24 HRC, com indentações distanciadas a 0,5mm conforme demonstrado na Tabela 4.

LOCALIZAÇÃO	VARIÇÃO DA CORRENTE			DESLOCAMENTO (mm)
	211	205	190	
METAL DEPOSITADO	24,7	23,7	23,9	0,1
	24,1	23,2	23,5	0,5
	23,0	23,8	24,6	1,0
	24,7	23,7	25,6	1,5
	24,9	24,2	24,1	2,0
	24,6	24,1	24,5	2,5
	23,4	26,1	23,5	3,0
	24,3	24,8	23,3	3,5
	24,1	24,4	23,2	4,0
	25,0	23,3	24,5	4,5
Média	24,3	24,1	24,1	-
Desv. Pad.	0,64	0,83	0,75	-
ZTA	41,2	34,7	35,4	5,0
	26,8	26,6	25,2	5,5
Média	34,0	30,7	30,3	-
Desv. Pad.	10,18	5,77	7,21	-
METAL BASE	24,2	24,8	24,6	6,0
	24,1	24,4	23,8	6,5
	22,7	23,7	23,4	7,0
Média	23,7	24,3	23,9	-
Desv. Pad.	0,80	0,57	0,63	-

Tabela 4- Mapeamento de dureza.

Fonte: Welding (2010)

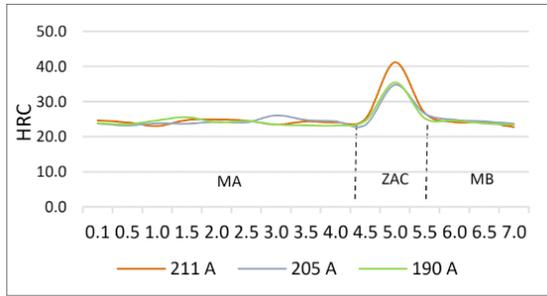


Figura 8. Mapeamento de microdureza do cordão de solda.

Fonte: JIS Z 3101

No aço, a formação de uma zona termicamente afetada (ZAC) com alta dureza se deve à formação de bainita. Esta região do aço teria sido austenitizada com baixa temperatura de austenitização durante a deposição da solda e, durante o resfriamento, teria dado origem a uma estrutura bainítica muito refinada ou martensítica, de elevada dureza. A Figura 10 apresenta a microestrutura martensítica formada na ZAC do substrato. [29-31]. Faz-se necessário analisar uma aplicação, como o tratamento térmico para alívio de tensões na ZAC, visando uma melhor resposta aos esforços cíclicos que o componente de motocicleta pode sofrer durante o uso [32].

3.2 Caracterização Microestrutural

Nesta seção são apresentadas as imagens feitas por microscópio metalográfico digital das regiões do metal de base, da ZAC e do Metal de solda. Para a classificação das microestruturas foi utilizado o sistema do Instituto Internacional de soldagem (IWE). As Figuras 9, 10 e 11 mostram as microestruturas das três regiões de interesse da junta soldada: metal base (MB), zona termicamente afetada (ZAC) e metal de adição (MA) para mesa inferior (SAE 1035).

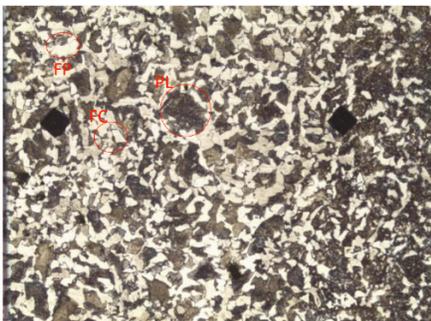


Figura 9. Metal Base: Mesa inferior (SAE 1035), Ataque Nital 2%. Aumento 500X.

Fonte: Autor (2019)



Figura 10. ZAC: Mesa inferior (SAE 1035), Ataque Nital 2%. Aumento 500X.

Fonte: Autor (2019)



Figura 11. Metal de adição: ER70S-6, Ataque Nital 2%. Aumento 500X.

Fonte: Autor (2019)

A microestrutura encontrada no MB consiste primordialmente em ferrita primária intragranular “FP”, ferrita primária de contorno de grão “FC” e perlita “PL”. Ao mesmo tempo a microestrutura predominante nessa área é martensita “MT”. No aço, a formação de uma zona termicamente afetada (ZAC) com alta dureza se deve à formação de bainita ou martensita. Esta região do aço teria sido austenitizada com baixa temperatura de austenitização durante a o processo e soldagem e, durante o resfriamento, teria dado origem a uma estrutura martensítica de elevada dureza. A Figura 10 apresenta a microestrutura martensítica formada na ZAC [26].

No MA apresenta o constituinte ferrita acicular “FA” r é favorecida pela presença de precipitados e, particularmente, de numerosas inclusões resultantes da presença de oxigênio, em geral, em teores superiores aos do metal base [35]. Isso caracterizaria uma reconhecida capacidade desse constituinte em contribuir para a melhoria da tenacidade ao impacto do metal de solda [21-24]. Notadamente, devido ao seu pequeno tamanho de grão e aos contornos de alto ângulo que consomem mais energia na propagação de trinca antes da fratura [24]. O desempenho do metal de solda depende de sua microestrutura, à qual é influenciada pela composição química e parâmetros de soldagem [25].

3.3 Análise de Penetração da Solda

A Tabela 4 apresenta os resultados das dimensões encontradas na junta após o processo de soldagem. A Figura 3 mostra as dimensões realizadas com utilização do microscópio digital. A análise dimensional foi realizada visando atendimento da especificação técnica 20209-AAY-00-00 SPEC WELDING, conforme mostrado na Figura 12 (a, b, c).

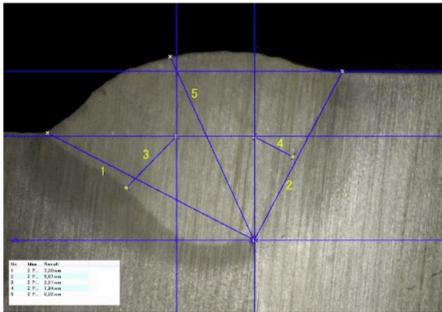


Figura 12. (a)- Dimensionamento da penetração de solda com 190A.

Fonte: Autor (2019)

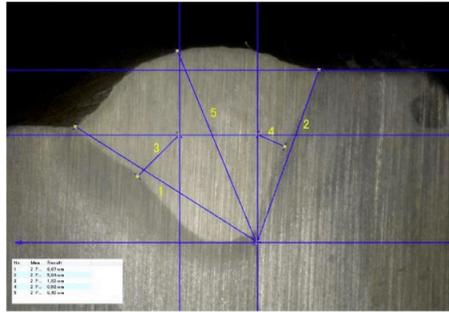


Figura 12. (b)- Dimensionamento da penetração de solda com 205A.

Fonte: Autor (2019)

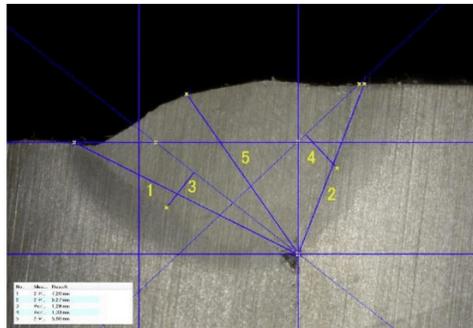


Figura 12. (c)- Dimensionamento da penetração de solda com 211A.

Fonte: Autor (2019)

Conforme mostrado na Figura 12 (a, b, c). tem-se que todas as cotas dimensionadas atenderam as especificações mínimas quando comparadas com as medidas padrão da Tabela 5.

PADRÃO *	Tabela 5 - Dimensões da penetração da solda.					
	Pos.	Resultado 190 A	Resultado 205 A	Resultado 211 A		
1	5,09	min	1	5,21	5,62	6,21
2	5,09	min	2	5,34	5,69	6,18
3	0,45	min	3	0,95	1,05	1,23
4	0,45	min	4	0,88	1,02	1,32
5	5,4	min	5	5,51	5,62	5,88

Tabela 5- Dimensões da penetração da solda.

Fonte: Welding (2010).

4 | CONCLUSÃO

Baseado nos resultados obtidos a partir da análise dos ensaios de tração, compressão, líquido penetrante, microdureza e penetração de solda, pode-se concluir que:

- A variação dos valores de corrente com o intuito de controlar o aporte térmico na soldagem GMAW com gás de proteção ativo, atendeu o limite de resistência mínimo (34 kN) estabelecido na especificação técnica;
- Mesmo sem a possibilidade de analisar a fratura da solda, verificou-se presença de descontinuidades através no ensaio de líquido penetrante, observando-se que não houve anomalia no cordão de solda;
- Verificou-se na região da solda a presença de martensita nas regiões da ZAC, caracterizando que região do aço teria sido austenitizada com baixa temperatura de austenitização durante a o processo e soldagem. Um tratamento térmico para alívio de tensões na ZAC seria uma das opções para adotar;
- As dimensões das penetrações variaram um pouco, porém, dentro do especificado.

REFERÊNCIAS

[1] SGOBBI, A. A., NEVES M. D. M. **Uma Comparação Entre Os Processos De Soldagem Smaw E FCAW-S Em Tubulações API 5L Grau B Soldadas Em Campo**. Revista Sobrebas, v10, n110, 2015.

[2] ABRACICLO. **Associação Brasileira de Fabricantes de Motocicletas, ciclomotores, Motonetas, Bicicletas e Similares**. Disponível em <https://www.abraciclo.com.br/site/>. São Paulo: 2017. Acesso em 08/11/2019.

[3] MODENESI, P. J. **Soldabilidade de algumas ligas metálicas**. Minas Gerais: UFMG, 2011. 26p. Disponível em: <<http://demet.eng.ufmg.br/wp-content/uploads/2012/10/soldabilidade.pdf>> Acesso em: 08/11/2020.

[4] KOJIMA A, YOSHII KI, HADA T, SAEKI O, ICHIKAWA K, YOSHIDA Y, SHIMURA Y, AZUMA K. **Development of high HAZ toughness steel plates for box columns with high heat input welding**. In: Nippon Steel & Sumitomo Metal Technical Report, 2004.

[5] BMM. **Easterling K. Introduction to the Physical metallurgy of Welding**. Londres: BMM; 1983. 231p.

[6] LAN L, QIU C, ZHAO D, GAO X, DU L. **Analysis of martensite-austenite constituent and its effect on toughness in submerged arc welded joint of low carbon bainitic steel**. Journal of Materials Science. 47(11), 2012. 4732-4742p. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s10853-012-6346-x>> Acesso em 08/11/2020.

[7] BORBA TMD, MODENESI PJ. **Influência do ciclo térmico de soldagem no crescimento de grão, nas transformações microestruturais e na formação de MA na GGZAC de aço TMCP**. In: Soldagem e Inspeção. 24, 2019. 2406p. Disponível em <<http://dx.doi.org/10.1590/0104-9224/si24.06>>. Acesso em 08/11/2020

- [8] ALÉ R.M. **Efeito da Adição de Elementos de Liga (Cu e Ni) nas Propriedades Mecânicas e Microestrutura da ZAC de Aços C-Mn Microligados ao Nb [tese de doutorado]**. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ; 1994.
- [9] IKAWA H, OSHIGE H, TANOUE T. **Effect of MA Constituent on HAZ Toughness of a High Strength Steel**. In: Journal of the Japan Welding Society.49(8), 1980. 532-537p. Disponível em <<http://dx.doi.org/10.2207/qjwjs1943.49.532>> Acesso em 08/11/2020.
- [10] KOMIZO YI, FUKADO Y. C.T.O.D. **Properties and MA Constituent in HAZ of C-Mn Microalloyed Steel**. Quarterly Journal of the Japan Welding Society. 4(2), 1986. 447-452p.
- [11] TABAJIBA, L. C. S; GONÇAVES, R. B; PARANHOS, R. **Tendências no Desenvolvimento de Gases de Proteção Utilizados na Soldagem MIG/MAG**. In: Soldagem e Inspeção. 2012. Disponível em: <[http:// https://www.scielo.br/pdf/si/v17n3/v17n3a06.pdf](http://https://www.scielo.br/pdf/si/v17n3/v17n3a06.pdf)>. Acesso em 08/11/2020.
- [12] SCHWEDERSKY, M. B. **Um Estudo da Eficiência e Produtividade dos Principais Processos de Soldagem a Arco**. Santa Catarina: UFSC, 2011.
- [13] XIANG T, LI H, WEI HL, GAO Y. **Effects of filling status of cold wire on the welding process stability in twin-arc integrated cold wire hybrid welding**. In: International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2016;83(9-12):1583-1593. Disponível em: <[http:// dx.doi.org/10.1007/s00170-015-7686-x](http://dx.doi.org/10.1007/s00170-015-7686-x)> Acesso em 08/11/2020.
- [14] CARLESSO, R. **Estudo do Comportamento Mecânico de Juntas Soldadas de um Aço de Alta Resistência Mecânica**. Rio Grande do Sul: UFRS, 2017.
- [15] JENNEY, C. L., O'BRIEN, A. **Welding Science and Technology (Welding Handbook)**. In: 9th ed. Miami, FL: American Welding Society, 2001.
- [15] ASM Handbook, Volume 9, **Metallography and Microstructures**. In: ASM International (American Society for Metals). Materials Park, Ohio, USA, 2004.
- [16] JIS. **Electric resistance welded carbon steel tubes for automobile (Foreign Standard)**. In: JIS G 3472:2018 (Japanese Standards Association). Tokyo, Japan: 2018
- [17] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. In: ABNT-NBR NM ISO 6507-1:2019. **Vickers Hardness Test Part 1: Test Method**. 2019.
- [18] VOORT, G. F. V. **Metallography and Microstructures** (ASM Handbook). Voort, 2004.
- [19] WELDING, consumables. **Gases and gas mixtures for fusion welding and allied processes**. In: ISO 14175:2008 (International Organization for Standardization). 2008.
- [20] WELDING. **Guidelines for a metallic materials grouping system**. In: ISO/TR 15608:2017 (International Organization for Standardization). 2017.
- [21] HOEKSTRA S, BURG MAMS, Ouden G. **Microstructure and notch toughness of ferritic weld metal**. In: Met Constr. 18, 1986 772-775p.

- [22] HARRISON PL, FRA. **Microstructural development and toughness of C-Mn and C-Mn-Ni weld metals**. In: Part 1: Met Constr. 1987; 19:392R-399R.
- [23] ZHANG Z, FRA. **Influence of Mn and Ni on the microstructure and toughness of C-Mn-Ni weld metals**. Weld J. 76, 1997. 183-196p.
- [24] ZHANG L, LI Y, WANG J, JIANG Q. **Effect of acicular ferrite on cracking sensibility in the weld metal of Q690+Q550 high strength steels**. ISIJ Int. 51, 2011. 1132-1136p. <http://dx.doi.org/10.2355/isijinternational.51.1132>
- [25] JIANG Q, LI Y, WANG J, ZHANG L. **Characterization on strength and toughness of welded joint for Q550 steel**. Bull Mater Sci. 2011;34:161-167. <http://dx.doi.org/10.1007/s12034-011-0039-y>.
- [26] TRINDADE, V.B., FARIA, G.L., SOUZA, F.S., PAULA, J.M.A., COSTA, M.C.M.S. **Efeito de diferentes tratamentos térmicos sobre microestrutura e microdureza de um sistema aço C-Mn/ revestimento de Inconel 625**. v14, 2017. 1-8p. Disponível em <https://www.tecnologiammm.com.br/article/doi/10.4322/2176-1523.1182> Acesso em: 29/10/2019.
- [27] LESSA, R.M.A. **Efeito dos ventos sobre as propriedades mecânicas do Aço A-36**: Recife: UFPE, 2010. 98p.
- [28] MODENESI, P. J. **Introdução à metalurgia da soldagem**. Belo Horizonte: UFMG, 2006.
- [29] SHUAI L, QUINGSONG W, ZICHENG Z. **Microstructure characteristics of Inconel 625 superally manufactured by selective laser melting**. In: Journal of Materials Science and Technology. 31(9), 2015. 1-7p.
- [30] FUJIA X, YAOHUI L, YUXIN L, BINSHI X, PENG H. **Effect of heat treatment on microstructure and mechanical properties of Inconel 625 alloy fabricated by pulsed plasma arc deposition**. In: Physics Procedia. 50, 2013. 48-54p. Disponível em <<http://dx.doi.org/10.1016/j.phpro.2013.11.010>>. Acesso em: 29/10/2019.
- [31] XING X, Di X, Wang B. **The effect of post-weld heat treatment temperature on the microstructure of Inconel 625 deposited metal**. Journal of Alloys and Compounds. 593, 2014. 110-116p. Disponível em <http://dx.doi.org/10.1016/j.jallcom.2013.12.224>. Acesso em: 29/10/2019.
- [32] CUNHA, J.N. **Efeito dos ciclos de tratamentos térmicos de alívio de tensão na microestrutura e nas propriedades mecânicas da ZAC do aço API 5L X80 após soldagem dissimilar com o aço AISI-4130**. Rio Grande do Norte: UFRGN, 2019.
- [33] CASARINI, A. **Estudo dos Parâmetros de Soldadura MIG/MAG para otimização das Propriedades Mecânicas e Geométricas do Cordão de Solda**. Paraná: UTPR, 2020.
- [34] DE PARIS, A.A.F.; AMARAL, L.G.H. **A influência da adição de oxigênio no argônio como gás de proteção na soldagem MIG de aço inoxidável**. In: XII CONSOLDA, 2001, Campinas, Anais, CD-ROM.
- [35] MODENESI, P.J. **Soldagem dos Aços Transformáveis**. Belo Horizonte: UFMG, 2004.
- [36] BELGO, B. **Belgo Bekaert Arames: Catálogo da Linha Belgo: Belgo Soldas**. 2018. Disponível em <https://www.belgobekaert.com.br/>. Acesso em: 29/10/2019.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Aciação elétrica 111, 119
Aço inoxidável 28, 63, 64, 68, 74, 111, 112, 113
Aços ARBL 1, 2
Ambientes agressivos 76, 89

B

Bambu 164, 166, 167, 168, 169, 170, 171, 172
Blindagem balística 120

C

Cicatrização 67, 174, 175, 181, 182
Coloração 92, 93, 94, 95, 96, 176, 179, 193
Compactação 133
Compósito 120, 122, 123, 124, 125, 130, 165, 166, 167, 168, 169, 170, 172
Corrosão 64, 69, 70, 71, 73, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 92, 93, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 109, 110, 200

E

Efeito memória 40, 41, 47, 51, 58, 59, 60, 61
Esponjas de poliuretano 151

F

Fadiga 63, 64, 69, 70, 71, 72, 73, 74
Fibras 153, 164, 165, 166, 167, 168, 169, 170, 172, 173, 189
Fibroína 187, 188, 189, 190, 191, 192, 193, 194, 195, 196, 197, 198, 199

I

Impacto 24, 120, 121, 122, 124, 129, 130, 134, 138, 139, 141, 144, 145, 146, 149, 156, 164

L

Liofilização 187, 188, 190, 191, 193, 198, 199

M

Membranas 174, 176, 177, 178, 179, 180, 181, 182, 184, 185, 186, 190, 191, 192, 193, 194, 195, 198, 199
Metálica 16, 79, 100, 102, 118, 165

Microdureza 1, 2, 4, 5, 7, 8, 14, 16, 19, 20, 22, 23, 26, 28, 29, 31, 34, 40, 42, 47, 56, 57, 58, 59, 63

Microestrutura 2, 3, 4, 6, 7, 8, 10, 12, 13, 14, 15, 23, 24, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 39, 42, 46, 50, 59, 65, 149

MIG 14, 15, 16, 17, 27, 28

O

Óleo de rã 174, 176, 177, 178, 179, 180, 181, 184

Óxido de Ti 92

P

Penetração de solda 14, 25, 26

Prótese femoral 63

Q

Quitosana 174, 175, 176, 177, 178, 179, 180, 181, 183, 184, 185, 186, 199

R

Recuperação 40, 41, 47, 48, 58, 59, 60, 111, 113, 116, 117, 118, 119

Redução 9, 3, 6, 7, 40, 48, 51, 58, 59, 60, 67, 100, 111, 112, 113, 117, 118, 133, 139, 141, 149

Remoção de óleo 151

Resíduos 107, 111, 112, 119, 151, 160, 166, 175

Resíduos siderúrgicos 111

Resina 164, 167, 169, 170, 172

Revestimento acrílico 76

Rota térmica 133

Rugosidade 79, 92, 94, 95, 96, 97, 98, 154, 155, 192

T

Temperatura 3, 15, 23, 24, 26, 30, 32, 35, 41, 46, 47, 48, 49, 51, 54, 76, 85, 97, 102, 103, 114, 116, 122, 123, 133, 135, 136, 137, 138, 139, 156, 166, 167, 169, 176, 177, 178, 185, 191

Tintas 76, 77, 78, 79, 85

Tratamento criogênico 40, 41, 48, 59, 60

Tratamento de esgoto 100, 102, 106, 109, 110

Engenharia de Materiais e Metalúrgica: Tudo à sua Volta

2

-  www.atenaeditora.com.br
-  contato@atenaeditora.com.br
-  [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
-  www.facebook.com/atenaeditora.com.br

Engenharia de Materiais e Metalúrgica: Tudo à sua Volta

2

-  www.atenaeditora.com.br
-  contato@atenaeditora.com.br
-  [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
-  www.facebook.com/atenaeditora.com.br