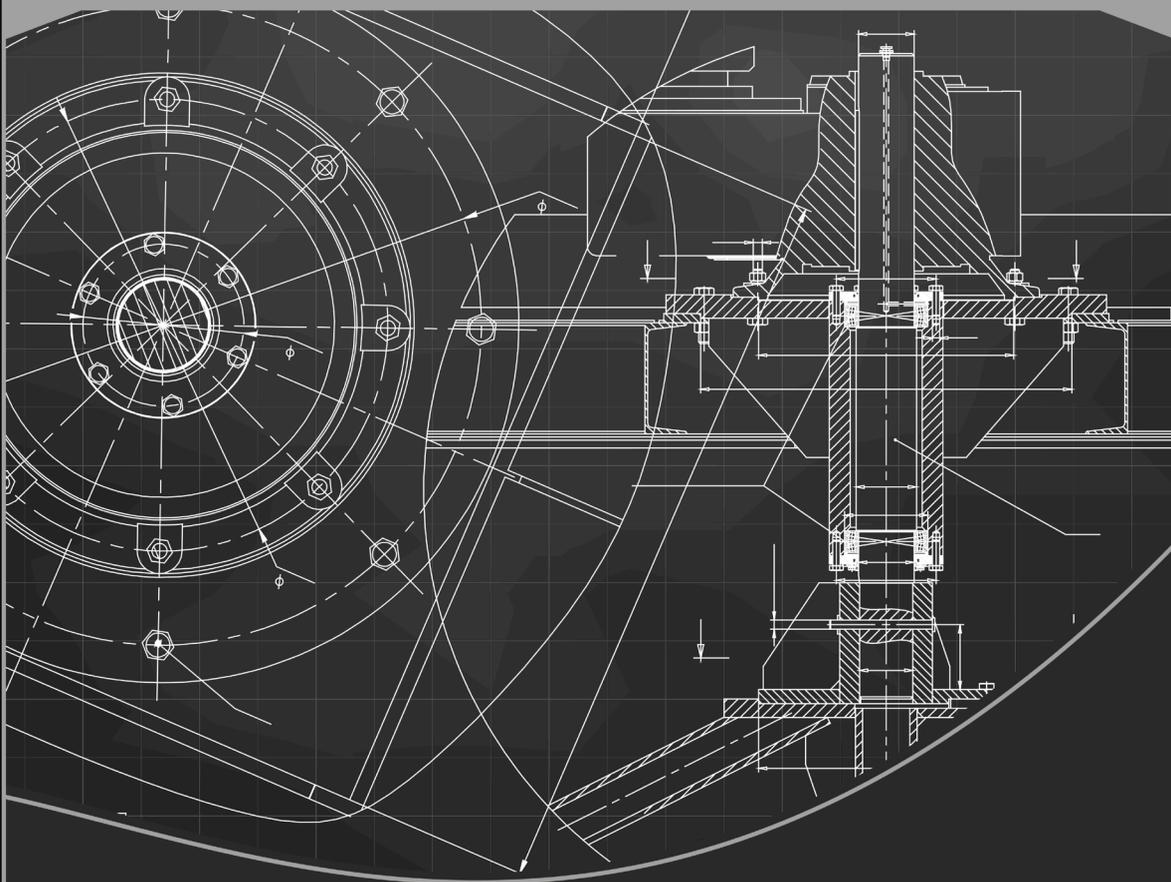


Engenharia mecânica:

A influência de máquinas, ferramentas
e motores no cotidiano do homem

2

Henrique Ajuz Holzmann
João Dallamuta
(Organizadores)



Atena
Editora

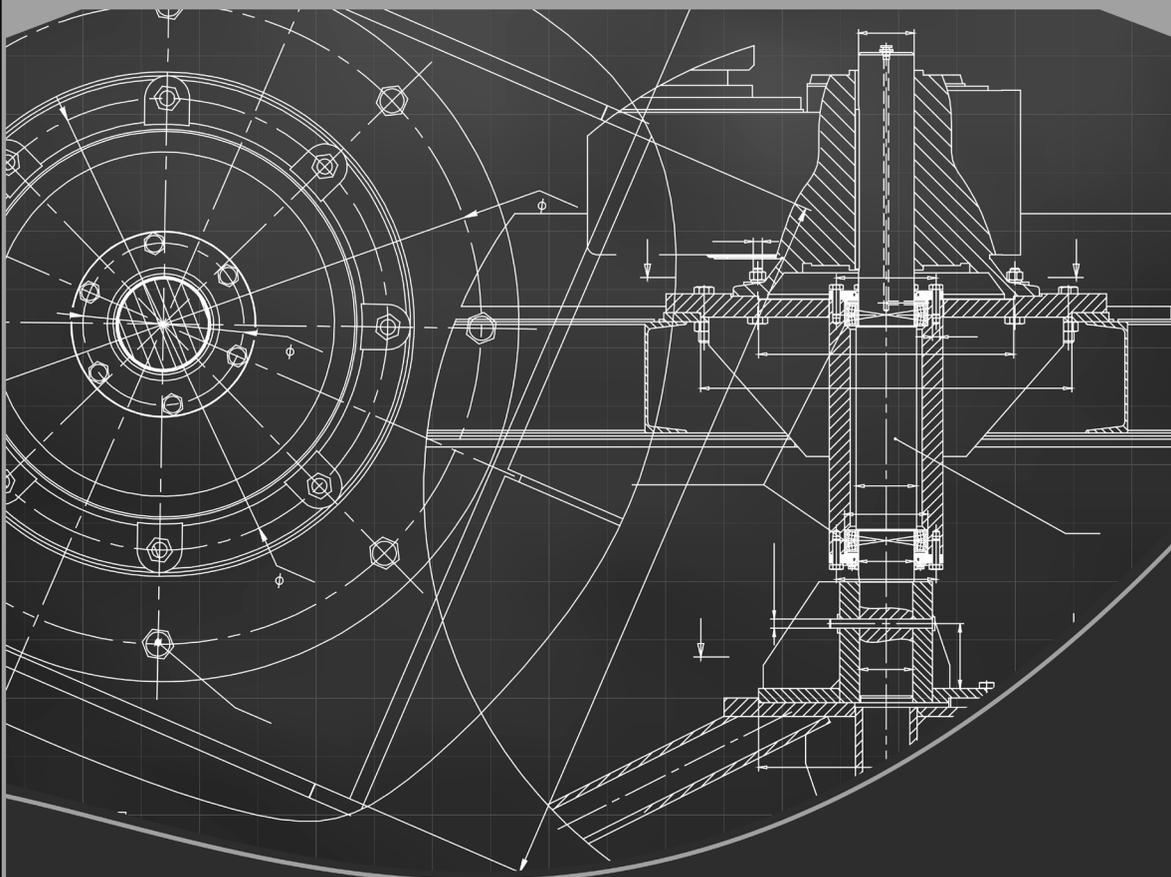
Ano 2021

Engenharia mecânica:

A influência de máquinas, ferramentas
e motores no cotidiano do homem

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 Cremona

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
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Daniel Richard Sant’Ana – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia
Profª Drª 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
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionale 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
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Prof. Dr. Luis Ricardo Fernandes da Costa – Universidade Estadual de Montes Claros
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Pontifícia Universidade Católica de Campinas
Profª Drª Maria Luzia da Silva Santana – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Pablo Ricardo de Lima Falcão – Universidade de Pernambuco
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador
Prof. Dr. Saulo Cerqueira de Aguiar Soares – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Vanessa Ribeiro Simon Cavalcanti – Universidade Católica do Salvador
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. Dr. Arinaldo Pereira da Silva – Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás
Profª Drª Carla Cristina Bauermann Brasil – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados
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
Prof. Dr. Fágner Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Jael Soares Batista – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Prof. Dr. Jayme Augusto Peres – Universidade Estadual do Centro-Oeste
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Profª Drª Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Profª Drª 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
Profª Drª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás
Profª Drª Daniela Reis Joaquim de Freitas – Universidade Federal do Piauí
Profª Drª 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
Profª Drª Elizabeth Cordeiro Fernandes – Faculdade Integrada Medicina
Profª Drª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília
Profª Drª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina
Profª Drª Eysler Gonçalves Maia Brasil – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira
Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Profª Drª Fernanda Miguel de Andrade – Universidade Federal de Pernambuco
Prof. Dr. Fernando Mendes – Instituto Politécnico de Coimbra – Escola Superior de Saúde de Coimbra
Profª Drª 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
Profª Drª 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
Profª Drª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Marcus Fernando da Silva Praxedes – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Profª Drª Maria Tatiane Gonçalves Sá – Universidade do Estado do Pará
Profª Drª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federacl 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
Profª Drª Regiane Luz Carvalho – Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino
Profª Drª Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Welma Emidio da Silva – Universidade Federal Rural de Pernambuco

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto
Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie
Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás
Profª Drª 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
Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande

Profª Drª 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
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Sidney Gonçalves de Lima – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Linguística, Letras e Artes

Profª Drª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Angeli Rose do Nascimento – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro
Profª Drª Carolina Fernandes da Silva Mandaji – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Profª Drª Denise Rocha – Universidade Federal do Ceará
Profª Drª Edna Alencar da Silva Rivera – Instituto Federal de São Paulo
Profª Drª Fernanda Tonelli – Instituto Federal de São Paulo,
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 Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná
Profª Drª Miraniide Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará
Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste
Profª Drª 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
Profª Ma. Adriana Regina Vettorazzi Schmitt – Instituto Federal de Santa Catarina
Prof. Dr. Alex Luis dos Santos – Universidade Federal de Minas Gerais
Prof. Me. Alexsandro Teixeira Ribeiro – Centro Universitário Internacional
Profª Ma. Aline Ferreira Antunes – Universidade Federal de Goiás
Profª Drª Amanda Vasconcelos Guimarães – Universidade Federal de Lavras
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Profª Ma. Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa
Profª Drª Andrezza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Profª Drª Andrezza Miguel da Silva – Faculdade da Amazônia
Profª Ma. Anelisa Mota Gregoleti – Universidade Estadual de Maringá
Profª 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
Profª 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. Carlos Augusto Zilli – Instituto Federal de Santa Catarina
Prof. Me. Christopher Smith Bignardi Neves – Universidade Federal do Paraná
Profª Drª 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. Edson Ribeiro de Britto de Almeida Junior – Universidade Estadual de Maringá
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
Prof. Me. Francisco Sérgio Lopes Vasconcelos Filho – Universidade Federal do Cariri
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/UFGA
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 Fenomenología & Subjetividade/UFPR
Prof. Me. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Ma. Lilian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará
Profª Ma. Lilian de Souza – Faculdade de Tecnologia de Itu
Profª Ma. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ
Profª Drª Lúvia 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
Profª Ma. Luana Ferreira dos Santos – Universidade Estadual de Santa Cruz
Profª Ma. Luana Vieira Toledo – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados
Prof. Me. Luiz Renato da Silva Rocha – Faculdade de Música do Espírito Santo
Profª 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
Profª Ma. Maria Elanny Damasceno Silva – Universidade Federal do Ceará
Profª Ma. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Prof. Dr. Pedro Henrique Abreu Moura – Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais
Prof. Me. Pedro Panhoca da Silva – Universidade Presbiteriana Mackenzie
Profª Drª Poliana Arruda Fajardo – Universidade Federal de São Carlos
Prof. Me. Rafael Cunha Ferro – Universidade Anhembi Morumbi
Prof. Me. Ricardo Sérgio da Silva – Universidade Federal de Pernambuco
Prof. Me. Renan Monteiro do Nascimento – Universidade de Brasília
Prof. Me. Renato Faria da Gama – Instituto Gama – Medicina Personalizada e Integrativa
Profª 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
Profª Ma. Silene Ribeiro Miranda Barbosa – Consultoria Brasileira de Ensino, Pesquisa e Extensão
Profª Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo
Profª Ma. Taiane Aparecida Ribeiro Nepomoceno – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Faculdade Regional Jaguaribana
Profª 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 mecânica: a influência de máquinas, ferramentas e motores no cotidiano do homem 2

Bibliotecária: Janaina Ramos
Diagramação: Luiza Alves Batista
Correção: Mariane Aparecida Freitas
Edição de Arte: Luiza Alves Batista
Revisão: Os Autores
Organizadores: Henrique Ajuz Holzmann
João Dallamuta

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

E57 Engenharia mecânica: a influência de máquinas, ferramentas e motores no cotidiano do homem 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 978-65-5983-117-3

DOI 10.22533/at.ed.173211806

1. Engenharia mecânica. I. Holzmann, Henrique Ajuz (Organizador). II. Dallamuta, João (Organizador). III. Título.
CDD 621

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 Mecânica pode ser definida como o ramo da engenharia que aplica os princípios de física e ciência dos materiais para a concepção, análise, fabricação e manutenção de sistemas mecânicos. O aumento no interesse por essa área 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.

Nos dias atuais a busca pela redução de custos, aliado a qualidade final dos produtos é um marco na sobrevivência das empresas, reduzindo o tempo de execução e a utilização de materiais.

Neste livro são apresentados trabalho teóricos e práticos, relacionados a área de mecânica e materiais, 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.

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

ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICA DE UTILIZAÇÃO DA FIBRA DE BANANEIRA COM RESINA SINTÉTICA EM COMPÓSITOS

Rúi Carlos de Sousa Mota

José Ubiragi de Lima Mendes

DOI 10.22533/at.ed.1732118061

CAPÍTULO 2..... 18

CARACTERIZAÇÃO DA BORRA DE PIAÇAVA (*ATTALEA FUNIFERA*) PARA PRODUÇÃO DE BRIQUETES

Alexandre Silva de Moraes

Vitor da Silva Lacerda

Alberto Matheus Freitas Oliveira

Ana Claudia Rangel da Conceição

Carlos Alberto França Junior

Victor Antunes Silva Barbosa

Mirtânia Antunes Leão

DOI 10.22533/at.ed.1732118062

CAPÍTULO 3..... 34

STRUCTURAL OPTIMIZATION OF A NOSE LANDING GEAR FOR CESSNA 172 AIRPLANE

Raphael Basilio Pires Nonato

Alexander Dias Lopes

DOI 10.22533/at.ed.1732118063

CAPÍTULO 4..... 49

AVALIAÇÃO DO GRAU DE SENSITIZAÇÃO E O APARECIMENTO DE FASES INTERMETÁLICAS EM TRECHO DE TUBULAÇÃO DE FORNO DE COQUEAMENTO RETARDADO

Thiago Batista David

Erike Wilker Arruda Figueredo

Fillipe Stephany de Souza Virgolino

Luiz Adeildo da Silva Junior

Moisés Euclides da Silva Junior

DOI 10.22533/at.ed.1732118064

CAPÍTULO 5..... 60

FABRICAÇÃO DA LIGA DE ALUMÍNIO AA7013 ATRAVÉS DE TÉCNICAS DE METALURGIA DO PÓ

Enéas Carlos de Oliveira Silva

Eduardo José Silva

Thiago Batista David

Moisés Euclides da Silva Junior

Oscar Olimpio de Araujo Filho

DOI 10.22533/at.ed.1732118065

CAPÍTULO 6..... 78

FABRICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA LIGA DE ALUMÍNIO AA7009 ATRAVÉS DE TÉCNICAS DE METALURGIA DO PÓ

Enéas Carlos de Oliveira Silva
Eduardo José Silva
Thiago Batista David
Moisés Euclides da Silva Junior
Oscar Olimpio de Araujo Filho

DOI 10.22533/at.ed.1732118066

CAPÍTULO 7..... 96

FABRICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA LIGA DE ALUMÍNIO AA8011 ATRAVÉS DAS TÉCNICAS DE METALURGIA DO PÓ

Sandra Torres Zarzar
Diogo Monteiro do Nascimento
José Endreo Baracho da Costa
Moisés Euclides da Silva Junior
Oscar Olimpio de Araujo Filho

DOI 10.22533/at.ed.1732118067

CAPÍTULO 8..... 111

METODOLOGIA PARA ESTIMATIVA DE CUSTOS ASSOCIADOS À APLICAÇÃO DE SOLDAGEM EM TUBULAÇÕES INDUSTRIAIS

Wagner Gutemberg Cavalcanti da Silva
Felipe Leandro dos Santos
Helen Rodrigues Araújo
Marcio Rolemberg Freire
Moisés Euclides da Silva Junior

DOI 10.22533/at.ed.1732118068

CAPÍTULO 9..... 126

APLICAÇÃO DE MQL NO TORNEAMENTO DO AÇO SAE 4340 COM INSERTO DE METAL DURO TEXTURIZADO A LASER E REVESTIDO DE TiAIN

Rhander Viana
Milton Sérgio Fernandes de Lima
Paulo Vinícius da Silva Resende

DOI 10.22533/at.ed.1732118069

CAPÍTULO 10..... 142

ESTUDO DO GRADIENTE DE TEMPERATURA DURANTE O FRESAMENTO DO AÇO AISI 4340 UTILIZANDO O MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS

Nicollas Vivaldini
Rodrigo Henriques Lopes da Silva

DOI 10.22533/at.ed.17321180610

CAPÍTULO 11 150

IDENTIFICAÇÃO DO MOMENTO IDEAL DE TROCA DE FERRAMENTAS DE CORTE ATRAVÉS DO MONITORAMENTO DO DESGASTE POR SINAL DE VIBRAÇÃO E

INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

Lucas Costa Brito

Márcio Bacci da Silva

Marcus Antonio Viana Duarte

DOI 10.22533/at.ed.17321180611

CAPÍTULO 12..... 165

METROLOGIA PARA ENGENHARIAS: CONSTRUÇÃO DE UM PROJETO METROLÓGICO PARA APLICAÇÃO DE CONCEITOS

Lisiane Trevisan

Daniel Antonio Kapper Fabricio

DOI 10.22533/at.ed.17321180612

CAPÍTULO 13..... 175

POTENCIAL ECONÔMICO E ENERGÉTICO DO APROVEITAMENTO DO CALOR REJEITADO POR CONDICIONADORES DE AR

David Coverdale Rangel Velasco

José Alexandre Tostes Linhares Júnior

Felipe Perissé Duarte Lopes

Carlos Maurício Fontes Vieira

Afonso Rangel Garcez de Azevedo

DOI 10.22533/at.ed.17321180613

CAPÍTULO 14..... 184

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO REGIME DE TRABALHO DE REFRIGERADOR DE GRÃOS INTEGRADO A TUBOS CANADIANOS

Eduarda Silva Costa

Matheus Júnio Souza da Silva

Ramiro de Matos Bertolina

Thiago Ferreira Gomes

DOI 10.22533/at.ed.17321180614

CAPÍTULO 15..... 193

DIMENSIONAMENTO DE CARGA TÉRMICA DE CONDICIONARES DE AR NO BRASIL: UM ESTUDO DE CASO COMPARATIVO ENTRE A NR 17 E NBR 16401

David Coverdale Rangel Velasco

José Alexandre Tostes Linhares Júnior

Márcio Paulo Bonifácio das Neves

André Luiz Vicente de Carvalho

Afonso Rangel Garcez de Azevedo

DOI 10.22533/at.ed.17321180615

CAPÍTULO 16..... 205

AVALIAÇÃO DO CONFORTO TÉRMICO NO INTERIOR DE UM VEÍCULO AUTOMOTOR PERTENCENTE À FROTA DE TRANSPORTE PÚBLICO COLETIVO NO MUNICÍPIO DE CUIABÁ-MT

Roberta Daniela de Souza

Marcelo Dias de Souza

Jonathan Willian Zangeski Novais

DOI 10.22533/at.ed.17321180616

CAPÍTULO 17..... 211

AVALIAÇÃO ERGONÔMICA DE UM VEÍCULO BAJA

Arthur Barroso Costa

João Lucas Moura Ferreira

Igor Antunes Ferreira

Luiz Gustavo Monteiro Guimarães

DOI 10.22533/at.ed.17321180617

CAPÍTULO 18..... 234

UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DO USO DA AUTOMAÇÃO NA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO BRASIL

Igor Moreno Mamedes

Andrea Teresa Riccio Barbosa

DOI 10.22533/at.ed.17321180618

CAPÍTULO 19..... 245

PRINCIPAIS PARÂMETROS DE DESEMPENHO EMPREGADOS PELAS EMBARCAÇÕES DE PEQUENO PORTE MOVIDAS A ENERGIA FOTOVOLTAICA NO DESAFIO SOLAR BRASIL

David Coverdale Rangel Velasco

Valter Luís Fernandes de Sales

DOI 10.22533/at.ed.17321180619

CAPÍTULO 20..... 255

VIABILIDADE ECONÔMICA DA ENERGIA FOTOVOLTAICA RESIDENCIAL

David Coverdale Rangel Velasco

Elivandro Tavares Lôbo

Welder Azevedo Santos

Wagner Vianna Bretas

Rodrigo Martins Fernandes

DOI 10.22533/at.ed.17321180620

CAPÍTULO 21..... 268

SINTONIA DE CONTROLADORES DE TEMPERATURA COM REDES NEURAIS

Tiago Luís Andrade Pereira

Anderson Daleffe

DOI 10.22533/at.ed.17321180621

CAPÍTULO 22..... 284

COMPARISON OF STRAIN AND LOAD OBTAINED VIA STRAIN GAGE BY WIRE AND WIRELESS TRANSMISSIONS

Raphael Basilio Pires Nonato

Luiz Carlos Gomes Sacramento Júnior

Leonardo Ferreira Ribeiro

DOI 10.22533/at.ed.17321180622

CAPÍTULO 23.....	300
SISTEMA AUTOMATIZADO DESTINADO À ALIMENTAÇÃO DE ANIMAIS DE PEQUENO PORTE	
Eliezer Silva Bonfim de Jesus	
Guilherme de Souza Carneiro Meireles	
Josedacson Barbosa de Lacerda	
Kevin Ruan dos Reis Oliveira	
Rúi Carlos de Sousa Mota	
DOI 10.22533/at.ed.17321180623	
SOBRE OS ORGANIZADORES	307
ÍNDICE REMISSIVO.....	308

AValiação DO GRAU DE SENSITIZAÇÃO E O APARECIMENTO DE FASES INTERMETÁLICAS EM TRECHO DE TUBULAÇÃO DE FORNO DE COQUEAMENTO RETARDADO

Data de aceite: 01/06/2021

Thiago Batista David

Centro Universitário Estácio do Recife
(ESTÁCIO-PE); Departamento Engenharia
Mecânica
Carpina-PE
<http://lattes.cnpq.br/2742652536623661>

Erike Wilker Arruda Figueredo

Universidade Federal de Pernambuco (UFPE);
Departamento de Engenharia Mecânica
Recife-PE
<http://lattes.cnpq.br/9737388520834184>

Fillipe Stephany de Souza Virgolino

Universidade Federal de Pernambuco (UFPE);
Departamento de Engenharia Mecânica
Recife-PE
<http://lattes.cnpq.br/6622866489872495>

Luiz Adeildo da Silva Junior

Universidade Federal de Pernambuco (UFPE);
Departamento de Engenharia Mecânica
Vitória de Santo Antão – PE
<http://lattes.cnpq.br/6842148949752939>

Moisés Euclides da Silva Junior

Centro Universitário Estácio do Recife
(ESTÁCIO-PE); Departamento Engenharia
Mecânica
Recife-PE
<http://lattes.cnpq.br/9524894169629954>

RESUMO: Tubulações internas de fornos em operação são expostas a altas temperaturas e à presença de gases de combustão podem causar diversos mecanismos de danos, conforme o tipo de material que esteja instalado no projeto. Tais condições de operação precisam ser acompanhadas de inspeções periódicas por meio de técnicas de inspeção e de monitoramento. Diante disso, este trabalho tem o objetivo avaliar o comportamento microestrutural e mecânico de um trecho de tubo da câmara de combustão de um forno produzido do aço inoxidável 321L estabilizado. Nesta linha, foi realizada análise metalográfica para observar se existe algum mecanismo de dano ativo após 3,5 anos de operação do equipamento, sendo avaliado o lado interno, externo e o centro do tubo. Pelo lado interno foi observado pontos de corrosão concentrados ao longo dos contornos de grão, característico da corrosão intergranular. Na face externa foi encontrado pontos de corrosão relacionados com a presença de óxido de enxofre encontrados nos gases de combustão do forno. Na seção transversal foi identificado a formação da fase sigma. A análise de dureza do material nas regiões central, interna e externa foi verificada e os valores apresentados não revelaram uma redução significativa. Conclui-se que o tubo do aço 321L apresenta sensitização, já apresentando corrosão intergranular em aproximadamente 250 microns de profundidade devido difusão grande quantidade de carbono presente no fluido de operação, ocorrência de fase sigma ocasionada devido ao longo tempo de exposição a altas temperaturas de operação e em parte pelo próprio processo de fabricação

do tubo em questão, além do contato direto com os compostos de enxofre que levaram a oxidação.

PALAVRAS-CHAVE: Aço inoxidável 321L, corrosão intergranular, fase sigma.

EVALUATION OF THE DEGREE OF SENSITIZATION AND THE APPEARANCE OF INTERMETALLIC PHASES IN SECTION OF RETARDED COKING OVEN PIPE ABSTRACT

ABSTRACT: Internal furnace pipes in operation are exposed to high temperatures and the presence of combustion gases can cause several damage mechanisms, depending on the type of material that is installed in the project. Such operating conditions need to be accompanied by periodic inspections using inspection and monitoring techniques. Therefore, this work aims to evaluate the microstructural and mechanical behavior of a section of the combustion chamber tube of an oven produced from stabilized 321L stainless steel. In this line, metallographic analysis was carried out to see if there is any mechanism of active damage after 3.5 years of operation of the equipment, being evaluated the internal, external side and the center of the tube. From the inside, corrosion spots were observed along the grain contours, characteristic of intergranular corrosion. On the external face, corrosion points were found related to the presence of sulfur oxide found in the combustion gases of the furnace. In the cross section, the formation of the sigma phase was identified. The analysis of material hardness in the central, internal and external regions was verified and the values presented did not reveal a significant reduction. It is concluded that the 321L steel tube presents sensitization, already presenting intergranular corrosion in approximately 250 microns of depth due to the diffusion of a large amount of carbon present in the operating fluid, occurrence of sigma phase caused due to the long time of exposure to high operating temperatures. and partly due to the manufacturing process of the tube in question, in addition to the direct contact with the sulfur compounds that led to oxidation.

KEYWORDS: Stainless steel 321L, intergranular corrosion, sigma phase.

1 | INTRODUÇÃO

A área de refino de petróleo contém diversos estudos sobre os danos causados por contaminantes presentes na carga que normalmente não são encontradas nos demais setores (GUIMARÃES, 2006; GONÇALVES, 2007; LUCCHESI, 2010). Como exemplo de contaminantes, podemos destacar os que são trazidos com a matéria prima petróleo tais como, o H_2S (Sulfeto de Hidrogênio), os ácidos naftênicos, HCl (ácido clorídrico) dentre outros, que levam as refinarias a adotarem materiais adequados para as respectivas temperaturas e pressões envolvidas. Estes contaminantes presentes na carga podem atuar como agravadores dos mecanismos de danos já conhecidos e mapeados na norma API 571 (American Petroleum Institute). Diante de diversos mecanismos que podem ocorrer em cada meio, a escolha de material adequado para cada caso se torna cada vez mais importante para aumentar a confiabilidade e segurança de operação.

No caso de avaliação de uma serpentina (tubulação interna) de um forno de coque, onde existe contaminantes e temperaturas elevadas, onde podem ocorrer danos como carbonetação, fluência, sulfetação entre outros, a técnica de metalografia se torna uma opção para detectar qual mecanismo está ativo no material, por ser uma técnica que tem a missão de revelar características da microestrutura do material (COLPAERT, 2008; API 571, 2003).

Os aços inoxidáveis também podem apresentar o fenômeno de sensitização, quando trabalhando em elevada temperatura, isto é, favorecendo a ocorrência de precipitação de carbeto de cromo nos contornos de grãos do material, deixando o material susceptível a corrosão intergranular nessas regiões (TELLES, 2003).

Alguns aços podem passar pelo processo de estabilização para melhorar resistência ao fenômeno de sensitização. Esse processo consiste em adicionar Nb (Nióbio) ou Ti (Titânio) aos aços inoxidáveis 347 e 321, respectivamente, no sentido de se combinarem com o carbono livre, reduzindo a combinação do Cr (Cromo) com o C (Carbono) (FARIA *et al.*, 2016).

Por outro lado, o processo de estabilização ocorre na faixa de temperatura entre 817°C a 870°C por um certo tempo. Essa temperatura está incluída no range de ocorrência de uma outra fase indesejável, denomina fase sigma, que costuma ocorrer entre 580°C a 900°C com materiais que contenham mais de 17% de cromo e que também permaneçam por um certo tempo (VIOTO, 2016; e TELLES, 2003). Este fato leva a crer que os aços inoxidáveis estabilizados podem apresentar alguma fase sigma de forma inevitável.

A parte externa do tubo do forno pode estar sujeita ao fenômeno de sulfetação e/ou oxidação por estar exposto a chama de um gás que pode conter compostos de enxofre e temperaturas acima de 260°C (PELLICCIONE *et al.*, 2012).

A fluência também é um dano que pode ocorrer neste caso devido a temperatura, tempo e tensão elevadas, causando nucleação e propagação de vazios no material, e, posteriormente, rompimento do material (ASKELAND e WRIGHT, 2014).

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho tem como objetivo principal a análise da existência de sensitização/carbonetação e/ou surgimento da fase sigma e outros possíveis danos decorrentes da carga de processo de tubulações de forno de coqueamento retardado. O forno em questão é do tipo double fired, com serpentina passando pela região central do tubo sendo aquecida por fileiras de igual número de queimadores, localizados a esquerda e a direita dos tubos, com a intenção de uniformizar a temperatura. A Tabela 1 consta as principais informações do forno e as condições de operação.

Material	Espessura Nominal (mm)	Pressão (kgf/cm ²)	Temperatura de Operação (°C)	Temperatura Máxima (°C)
AISI 321L 'estabilizado'	11	103,50	420 - 670	695

Tabela 1. Características do forno e condições de operação.

Fonte: Autoria Própria (2020).

Antes da retirada do tubo para ensaio, foi realizada medição de espessura por ultrassom com aparelho DM5E para conferir a espessura de projeto. Também foi realizada análise de liga instantânea por meio Espectrometria de raio X, com equipamento Niton x13t para confirmar a composição química do material.

Para retirado das amostras foi retirado um trecho próximo aos queimadores e que, portanto, está sujeito a temperaturas mais elevadas. Foi realizado corte com oxicorte um trecho de 250 mm de comprimento de tubo de 4" de diâmetro da serpentina do forno tipo cabine para posterior remoção de amostras. O trecho removido, conforme visualizado na Figura 1, foi seccionado em 4 seções equidistantes a 90° uma da outra a fim de se obter maior representatividade espacial do tubo dentro do forno, através de uma máquina de corte do tipo "Cut-Off". Ou seja, ao total foram retiradas 4 amostras para análise.



Figura 1. Trecho do tubo onde foram retiradas as amostras.

Fonte: Autoria Própria (2020).

Posterior a retirada das amostras foi iniciado o processo de preparação metalográfica. As 4 amostras foram embutidas em resina baquelítica e, sendo, logo em seguida, preparadas na lixadeira automatizada pelos sistemas abrasivos do tipo MD – Plano 220 com refrigeração em água. Para finalizar a preparação metalográfica foi realizado o processo de polimento das amostras utilizando pasta de diamante 3 μm .

Finalizado o processo de preparação metalográfico foi iniciado o processo de ataque químico das amostras. Para o estudo em questão foi realizado um ataque químico e outro ataque eletroquímico a fim de obter os resultados esperados, sendo o ataque químico realizado com o Reagente de Murakami e o ataque eletroquímico utilizando o ácido oxálico. O ataque com reagente de Murakami foi realizado numa temperatura de 86 °C por 180 s, conforme proposto pela norma ASTM (American Society for Testing and Materials), norma E-407-70. Esta solução permite fazer a distinção entre ferrita delta, carbonetos e fase sigma. Já no ataque eletroquímico foi utilizado o reagente ácido oxálico com 10% de concentração e empregando uma tensão de 6eV por 60s, conforme a ASTM, norma A 262. Este ataque permite identificar o grau de precipitação de carbonetos de cromo nos contornos de grãos, mecanismo que fragiliza a resistência a corrosão dos aços inoxidável e possibilita, dessa forma, a sensitização dos aços inoxidável, principalmente, da série 300.

Com as amostras atacadas foi dado início ao processo de microscopia ótica onde foi utilizado o microscópio ótico da marca Olympus GX51 para visualização das microestruturas, com e sem ataque químico. Na última etapa foi realizado o ensaio de dureza abrangendo centro e a superfície, conforme a norma de referência ABNT NBR ISO 6506-1. Para o ensaio foi utilizado o equipamento durômetro de bancada Wolpert na escala BRINNEL Hardness HB Ø 2,5 / 187,5 kgf/cm².

3 I RESULTADOS

Serão apresentados e discutidos nesta seção os resultados obtidos ao longo do estudo sobre os processos de degradação de tubulação de aço inoxidáveis AISI 321 L exposta a condições de alta temperatura e ambiente altamente corrosivo de forno de caldeiras.

3.1 Quantificação da composição química e espessura do tubo

Para espessura foi encontrado um valor de 11,11 mm e, para este trecho está dentro do limite permitido. A composição química do material, conforme Tabela 2, está de acordo com a composição química do material comparado ao fornecido pelo fabricante e, desta forma, assegurando que realmente foi produzido do aço inoxidável AISI (American Iron and Steel Institute) 321L. De posse dessas informações, o trecho de tubo seguiu em parte para análise metalográfica através de técnicas de microscopia.

Cr	Ni	Ti	Mn	Nb	Mo	Fe
17,17	11,41	0,372	2,19	0,024	0,337	bal

Tabela 2. Análise de composição química (%) do trecho do tubo.

Fonte: Autoria Própria (2020).

3.2 Análise dos mecanismos de degradação do tubo

O forno trabalha com temperatura de superfície dos tubos entre 420°C a 695°C, com uma pressão interna de 25 Kgf/cm² na entrada do equipamento (Tabela 1). Este forno tem a função de gerar matéria prima para a produção de produtos de melhor valor agregado, tais como: diesel, gasolina, GLP (Gás Liquefeito de Petróleo) entre outros. É previsto que mesmo operando em condições normais aconteça a obstrução da serpentina do forno. Quando isso ocorre, a temperatura da superfície da serpentina aumenta de acordo com o grau de obstrução do tubo, fato que leva a ocorrer deficiências de troca térmica, elevando a carga térmica dos queimadores causando o superaquecimento do sistema. Os superaquecimentos provocam a degradação mais rápido dos materiais, pois, os mesmos ficam expostos a temperatura que ultrapassam o limite permitido de utilização para esses materiais.

Os tubos são expostos ao calor radiante da chama de queimadores pelo lado externo, e com carga de RAT (Resíduo Atmosférico) na parte interna, oriundo de processo anterior de destilação. O RAT pode conter contaminantes do petróleo cru, como enxofre, ácidos naftênicos e outros. Esses contaminantes podem ativar mecanismos de danos nos tubos, segundo o API 571.

As partes interna, externa e meio revelaram características distintas entre si, tendo em vista possuírem condições de trabalho diferentes como mencionado anteriormente. A parte interna do tubo possui contato direto com carga extremamente rica em carbono, já a parte externa possui contato com gases de combustão da própria câmara do forno, que por haver desajustes no processo passou um tempo operando com mistura rica em compostos de enxofre que se enquadram, neste caso, como contaminantes e que podem causar danos aos tubos. Desta forma, a análise da tubulação foi dividida em seção de análise descritas a seguir.

3.2.1 Análise da zona interna do tubo

Na região interna do trecho de do tubo, apesar do tubo ser estabilizado ao titânio, percebe-se que o material sofre corrosão intergranular advindo do processo de sensitização que sofre. Fato que é agravado pelo tipo de carga presente no processo possuir bastante carbono. Com isso, alguns contornos de grão já apresentaram algumas regiões com estrutura ditch, conforme pode ser observado na Figura 2.

Fica evidente que a precipitação ocorreu devido a exposição a altas temperaturas por longo tempo e também ao enriquecimento do carbono na superfície do material presente na carga de RAT, causado pelo fenômeno de difusão. Observando a região mais interior da peça, nota-se que a difusão de carbono possivelmente foi menor, o que deixa a região ainda estabilizada. Em outras palavras, na região da superfície interna, o titânio presente no aço inoxidável AISI 321 L manteve todo o carbono da matriz em forma de carbeto de titânio (estabilização).

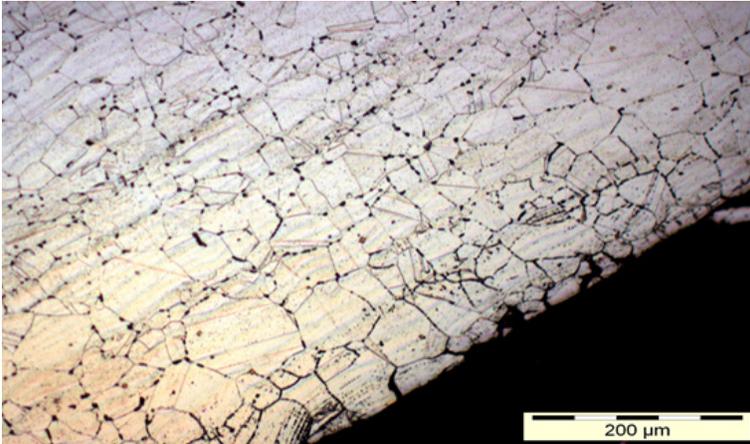


Figura 2. Micrografia da zona interna da tubulação.

Fonte: Autoria Própria (2020).

Todo o carbono presente no fluido de processo que vier a difundir-se no material após a fabricação do tubo estabilizado, acabará reagindo com o cromo presente, valendo-se da ressalva que agora existe uma matriz enriquecida de carbono superficialmente, e neste caso vai permitir a precipitação do carboneto de cromo ao longo do contorno de grão. Isso explica o fato de o material apresentar uma corrosão intergranular mais agressiva na superfície do material, em torno de $250 \mu\text{m}$, além de mostrar um episódio em que o 321L não é imune a sensitização.

3.2.2 *Análise da zona externa do tubo*

A parte externa do tubo é o lado que tem contato com os gases de combustão da câmara e que está exposto a chama dos queimadores. Quanto menor o grau de contaminantes presentes nos gases de combustão e temperatura, menor será a agressão que o tubo poderá sofrer.

A Figura 3 mostra com mais detalhe a região do material pelo lado externo onde é possível verificar penetração de óxido de até $30 \mu\text{m}$, representada pela região azul claro e indicada por traço amarelo e as trincas pelas setas de cor preta. Toda a parte branca da imagem se refere ao metal. Por mais que o tubo seja inoxidável, foi encontrado uma camada de $30,6 \mu\text{m}$ de oxidação (Figura 3). Além disso também foi possível verificar a existência de trincas avançando na região externa do material. O fato de o gás de combustão do forno deste exemplo ter operado com um grau de H_2S acima da tolerância, está contribuindo para a propagação de trincas pelo mecanismo de sulfetação.



Figura 3. Micrografia da região externa da tubulação.

Fonte: Aatoria Própria (2020).

Uma outra preocupação nessa região é a possibilidade dos tubos serem submetidos a temperatura máxima prevista acima do estabelecido em projeto, fato que pode acelerar a taxa de fluência. Uma incidência de chamas dos queimadores dos tubos pode vir a ocasionar esse problema, principalmente em caso de queimadores obstruídos ou desalinhados, ou mesmo por um descontrole operacional, causando um superaquecimento localizado (Short Term Overheating) e aceleração de deformações no tubo em decorrência. Lembrando, como foi mencionado anteriormente, a obstrução no interior das tubulações pelo tempo de operação leva a dificuldade de trocas térmicas e, assim, causando o superaquecimento que pode levar a rompimento dos tubos, se isso não for observado.

3.2.3 Análise da seção transversal do tubo

Na análise da seção transversal do tubo foi possível perceber a existência de fase sigma na região em questão, representada pelas indicações de regiões de cor vermelho-laranja indicados na Figura 4. Isso aconteceu, provavelmente, devido no processo a temperatura atingir valores próximos ao aparecimento da fase sigma em condições normais de operação. Portanto, pode ocorrer transformação da ferrita delta em fase sigma durante o tempo de operação do material nas condições citadas (Tabela 1) e ao caso de superaquecimentos.

Verificado a alteração de temperatura durante o tempo de operação do forno verificou-se que o limite de operação (695 °C) é ultrapassado diversas vezes. Esta informação assegura que o material está exposto facilmente a condições que permitem o surgimento da fase sigma, além de acelerar o processo de fluência do material.

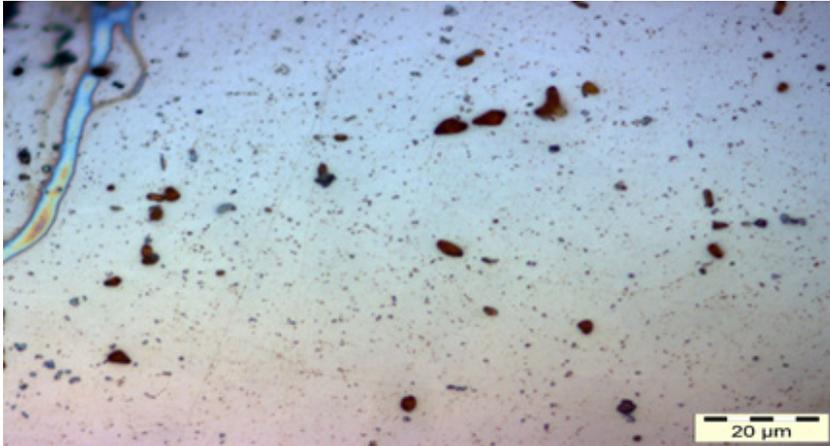


Figura 4. Micrografia da seção transversal da tubulação.

Fonte: Autoria Própria (2020).

3.3 Ensaio de dureza

Na realização do ensaio de dureza foi utilizado uma carga de 187,5 kgf/cm² com durômetro de bancada Wolpert. Segundo ASME II, a dureza do material A-213 TP 321 é de 192 HBW (90 HRB). Conforme pode ser visto na tabela 4, os valores encontrados estão um pouco abaixo dos valores convencionados para o material. Mesmo assim, está redução no momento não é significativa, apesar de haver mecanismos de danos ativos. Portanto, os resultados de dureza obtidos não apresentaram desvios significativos que pudessem gerar preocupações ou observações adicionais.

Região	Medida (HBW)	Desvio Padrão
Superfície 1	168	2,8
Centro 1	153	2,5
Superfície 2	160	1,41
Centro 2	152	6,12
Superfície 3	153	3,77
Centro 3	153	2,5
Superfície 4	166	3,74
Centro 4	154	1,41

Tabela 3. Valores de dureza para cada região.

Fonte: Autoria Própria (2020).

4 | CONCLUSÃO

Através dos resultados colhidos é possível concluir que tubo do aço inoxidável 321 L possui dois mecanismos de danos ativados, simultaneamente, um pelo lado interno e outro pelo lado externo do tubo. Embora o tempo para acontecer os mecanismos tenham sido de apenas três anos e seis meses, ambos os danos nos lados do tubo ainda possuem baixo grau de penetração no material. Fato que pode ser corrigido com medidas mitigadoras ou com um melhor modo de operação do forno, reduzindo-se o teor de compostos de enxofre nos gases de combustão, por exemplo. Não foi constatado início de fluência pelo tipo de microscopia ótica utilizada, mas é importante manter a temperatura dentro dos limites para que haja aceleração deste tipo de dano.

Existe um processo de oxidação e/ou sulfetação ocorrendo, simultaneamente, pelo lado externo, sendo encontrado camada externa de óxidos de até 30 μm junto com trincas, levando o material a reduzir sua vida útil, caso continue com esse mecanismo ativo. Neste caso, reduções do nível de contaminantes relacionados ao enxofre presente nos gases poderiam reduzir o mecanismo da superfície externa dos tubos. De fato, o mecanismo externo, se não for interrompido, poderá avançar na microestrutura do material, o que deve ser evitado.

Pelo lado interno, já houve início de trincas devido ao processo de difusão do carbono, atingindo os primeiros 250 μm de profundidade, causando trincas intergranulares de até 39 microns. Esse dano não pode ser eliminado, apenas monitorado, já que o carbono difundido no material é inerente a carga de operação do equipamento, restando apenas a opção de controlar a temperatura para reduzir o processo de difusão. Por se tratar de corrosão intergranular, não é possível atribuir vida remanescente ao tubo, já que a corrosão não é uniforme. Com relação ao grau de sensitização, já foram encontrados alguns grãos com estrutura ditch na superfície interna do material. Isso indica que o material 321 L estabilizado não é imune a sensitização, principalmente, em um meio que contém carga com elevado teor de carbono.

É importante reiterar que até o momento desta análise, não foram identificados desvios significativos nos valores de durezas que indiquem alguma observação ou preocupação. Por fim, o estudo dos materiais por meio da técnica de metalografia que existe mecanismos ativos que estão reduzindo a vida útil dos tubos. Diante dos resultados, é importante a definição de um escopo, planejamento e programação de intervenções para paradas futuras desses equipamentos. Além de tomar medidas mitigadoras para redução da degradação desses materiais.

REFERÊNCIAS

AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. API 571 – *Damage Mechanisms Affecting Fixed Equipment in the Refining Industry*, 1ª Edição, Dezembro, 2003.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **A-262 - Standard Practices for Detecting Susceptibility to Intergranular Attack in Austenitic Stainless Steels**. West Conshohocken, PA, 2015.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **E-407-70 - Standard Practice for Microetching Metals and Alloys**. West Conshohocken, PA, 2015.

ASKELAND, D. R.; WRIGHT, W. J. **Ciência e engenharia dos materiais**. Cengage Learning, 3ª ed., 672 p., 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 6506-1 - Materiais Metálicos – Ensaio de dureza Brinell Parte 1: Método de ensaio**. Rio de Janeiro, 1ª edição, 2019.

COLPAERT, H. **Metalografia dos Produtos Siderúrgicos Comuns**. Blucher, São Paulo, 4ª ed., 521-546 p., 2008.

FARIA, G. L.; GODEFROID, L. B.; FARIA, G. A.; CUNHA, E. C.; **Avaliação da Susceptibilidade à Corrosão Intergranular em Aços Inoxidáveis Aplicados em Chapas Expandidas**. 22º Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais. Natal, Brasil, pp. 304-037, 2016.

GONÇALVES, J.C. **Estudo de corrosão em sistemas de topo de unidades de destilação de petróleo – avaliação em laboratório de inibidor de corrosão comercial e agentes neutralizantes**. Dissertação de Mestrado em Ciências em Engenharia Metalúrgica e de Materiais - Universidade federal do Rio de Janeiro, 2007.

GUIMARÃES, E.M. **Causas e formas de corrosão na unidade de recuperação de enxofre da refinaria Gabriel passos (REGAP/Petrobras)**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Química - Universidade Federal de Minas Gerais, 2006.

LUCCHESI, A.L. **Estudo da corrosão naftênica em planta de destilação atmosférica de petróleo. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia de Materiais – Universidade Federal do Rio Grande do Sul**, 2010.

PELLICCIONE, A. S.; Moraes, M. F.; Galvão, J. L. R.; Mello, L. A.; Da Silva, É. S. **Análise de falhas em equipamentos de processo**. Interciência, Rio de Janeiro, 416 p., 2012.

TELLES, P.C.S. **Materiais para equipamentos de Processo**. Interciência, Rio de Janeiro, 6ª ed., 276 p., 2003.

VIOTO, R.P.; ANTUNES, R. A. **Estudo do Fenômeno de Sensitização do Aço Inoxidável Austenítico Estabilizado AISI 347**. 22º Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais. Natal, Brasil, pp. 306-013, 2016.

ÍNDICE REMISSIVO

A

AA8011 96, 97, 98, 101, 102, 103, 104, 105, 108
Aço Inoxidável 49, 50, 53, 54, 58, 59
Aeração 184, 185, 186, 187, 190, 192
Alimentação 115, 120, 122, 249, 251, 300, 301, 302, 303
Análise de Investimento 255
Animais 300, 301, 306
Ar Condicionado 175, 178, 181, 202, 203, 204, 238
Automação e Controle 234
Automação Industrial 234, 243, 268
Automação Residencial 238, 241, 243, 300, 306

B

Bananeira 1, 2, 3, 15, 16
Bioenergia 19
Biomassa 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 30, 238
Briquetes 18, 19, 20, 21, 22, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31

C

Carga Térmica 54, 175, 177, 178, 193, 195, 197, 199, 200, 201, 202, 203, 282
Catia V5 211, 212, 220, 222, 224
Climatização 187, 193, 194, 238, 239, 242, 244
Compósito 1, 2, 3, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 15, 16, 249
Conforto 209, 300
Conforto Térmico 193, 194, 195, 199, 201, 202, 204, 205, 206, 209, 210
Controle 6, 13, 112, 128, 166, 171, 173, 188, 207, 210, 234, 236, 237, 238, 240, 241, 242, 243, 244, 268, 269, 270, 271, 272, 273, 282, 283, 302, 303
Corrosão Intergranular 49, 50, 51, 54, 55, 58, 59
Custos 2, 18, 20, 61, 97, 111, 112, 113, 116, 118, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 151, 176, 234, 255, 256, 257, 262, 263

E

Educação 1, 18, 30, 165, 166, 173, 174, 204, 245, 247, 253, 255, 300
Eficiência 114, 116, 178, 180, 181, 190, 196, 234, 235, 236, 237, 238, 242, 243, 244

Eficiência Energética 18, 175, 177, 178, 181, 182, 183, 184, 196, 204, 234, 235, 236, 237, 238, 239, 240, 241, 242, 243, 244

Elementos Finitos 142, 143, 144, 148, 149

Energia 61, 76, 94, 98, 100, 120, 155, 178, 183, 189, 235, 236, 243, 245, 254, 257, 266, 267, 306

Energia Solar Fotovoltaica 245, 246, 254

Engenharia Mecânica 17, 49, 77, 95, 96, 111, 148, 150, 165, 166, 174, 182, 184, 192, 307

Ergonomia 193, 204, 211, 212, 213, 215, 220, 232

Extrusão 96, 97, 98, 100, 105, 107, 108, 109

F

Fase Sigma 49, 50, 51, 53, 56

Fibra Natural 1

Fibra Vegetal 1, 2

I

Índice de Calor 205, 206, 207, 208

Inteligência Artificial 150, 152, 154, 159, 237, 268, 283

L

Laser 60, 61, 78, 79, 96, 97, 126, 127, 128, 129, 130, 131, 132, 133, 134, 135, 136, 137, 138, 139, 140

Liga AA7009 78

Liga AA7013 60

M

Metalurgia do Pó 60, 61, 62, 71, 76, 77, 78, 79, 90, 94, 95, 96, 97, 98, 103

Metrologia 165, 166, 169, 170, 173, 174, 177, 183

Moagem de Alta Energia 60, 61, 62, 63, 66, 67, 68, 70, 71, 73, 74, 76, 78, 79, 80, 83, 84, 86, 89, 91, 92, 94, 96, 98, 100

O

Ônibus 205, 206

P

Piaçava 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30

Propulsão de Embarcações 245, 246

R

Redes Neurais 150, 152, 237, 240, 243, 244, 268, 269, 272, 276, 282, 283

Refrigerador de Grãos 184, 186

Resíduo 19, 30, 54

S

Sistemas Fotovoltaicos 255, 265, 266, 267

Soldagem 61, 62, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 122, 123, 307

Sustentabilidade 175, 234, 245, 253

T

Temperatura de Corte 142, 148, 152

Temperatura do Ar 184, 189, 199, 200, 205, 206, 207, 208

Texturização 126, 128, 129, 130, 139

Torneamento 126, 130, 133, 135, 136, 139, 148, 150, 152, 156, 161

Tubos Canadianos 184, 186, 192

Tubulações Industriais 111, 112, 119

U

Umidade Relativa do Ar 6, 195, 205, 206, 207, 208

Usinagem 126, 127, 128, 129, 130, 131, 132, 134, 140, 141, 142, 143, 144, 146, 147, 148, 150, 151, 154, 156, 161

Engenharia mecânica:

A influência de máquinas, ferramentas
e motores no cotidiano do homem

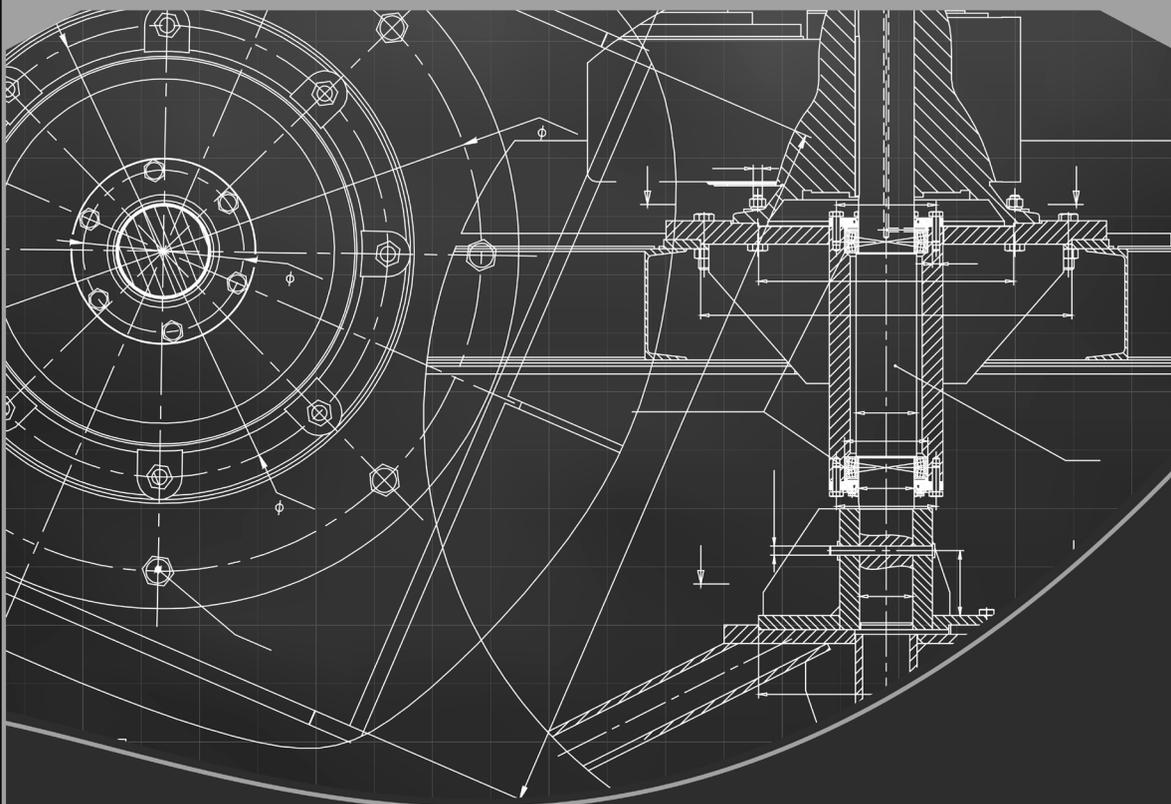
2

🌐 www.atenaeditora.com.br

✉ contato@atenaeditora.com.br

📷 [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)

📘 www.facebook.com/atenaeditora.com.br



Atena
Editora

Ano 2021

Engenharia mecânica:

A influência de máquinas, ferramentas
e motores no cotidiano do homem

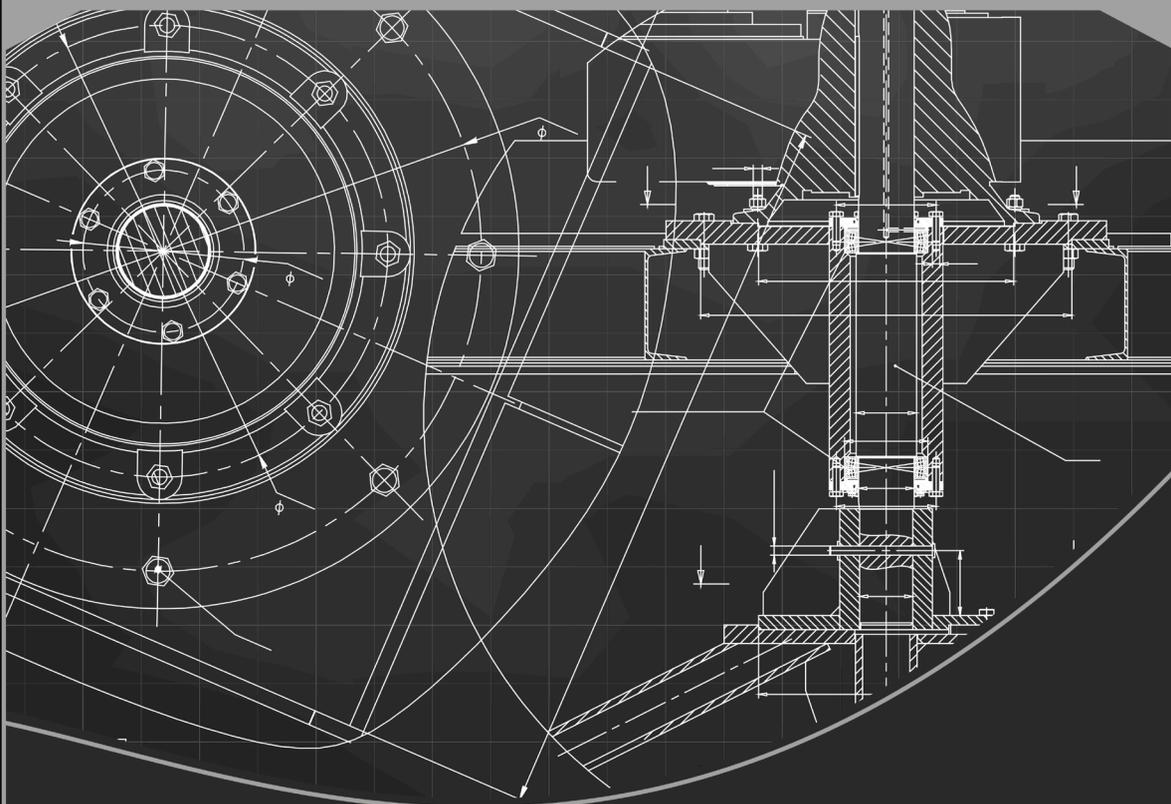
2

🌐 www.atenaeditora.com.br

✉ contato@atenaeditora.com.br

📷 [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)

📘 www.facebook.com/atenaeditora.com.br



Atena
Editora

Ano 2021