

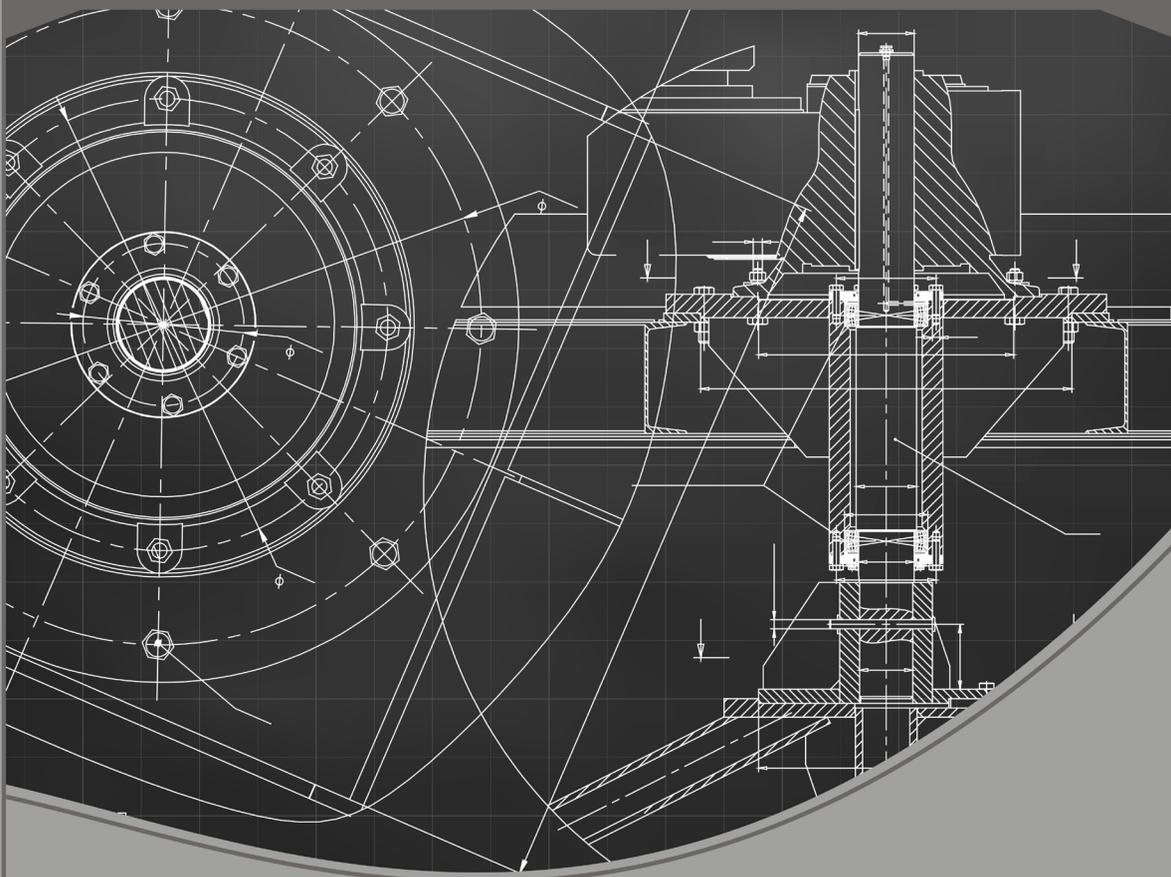
Engenharia Mecânica:

A Influência de Máquinas, Ferramentas
e Motores no Cotidiano do Homem

Henrique Ajuz Holzmann

João Dallamuta

(Organizadores)



Atena
Editora

Ano 2021

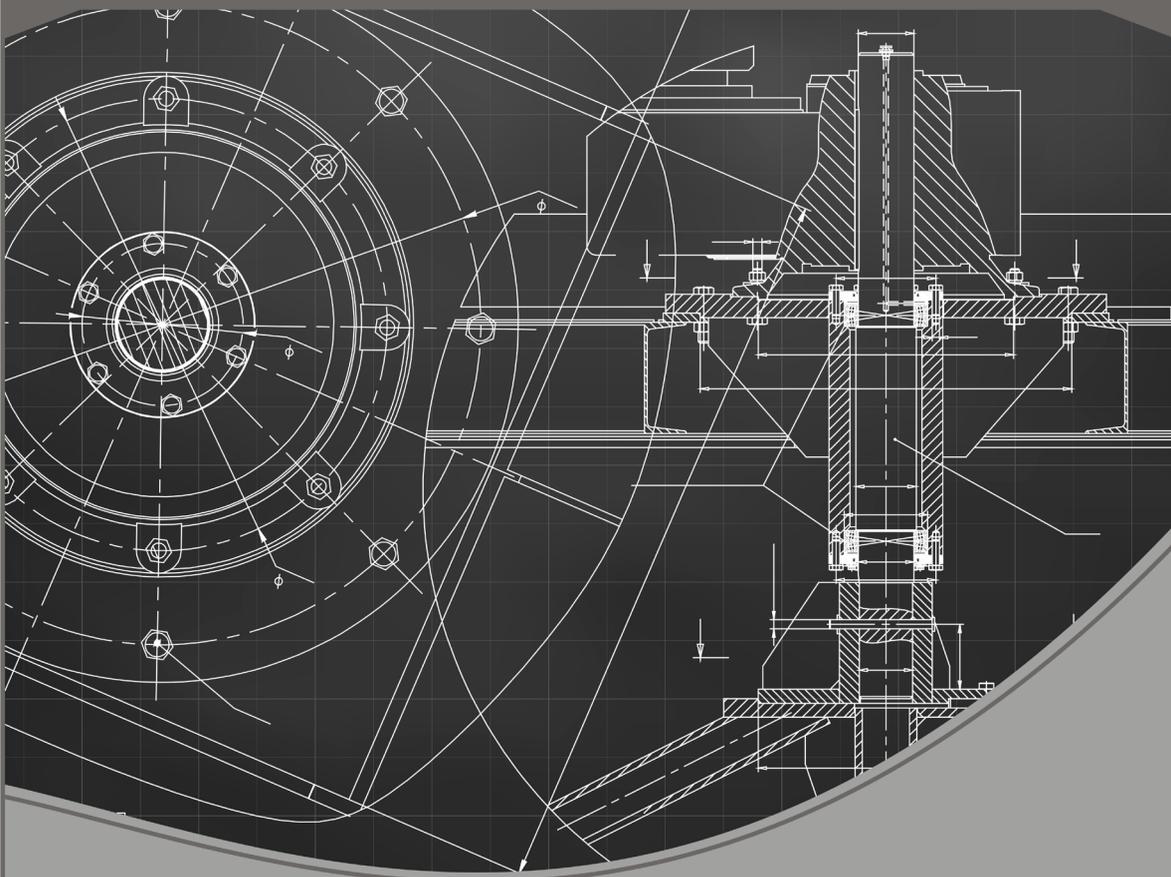
Engenharia Mecânica:

A Influência de Máquinas, Ferramentas
e Motores no Cotidiano do Homem

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. Liliansi 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 mecânica: a influência de máquinas, ferramentas e motores no cotidiano do homem

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira
Bibliotecária: Janaina Ramos
Diagramação: Camila Alves de Cremo
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 / 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 978-65-5706-882-3

DOI 10.22533/at.ed.823211703

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

PROPRIEDADES FÍSICAS E QUALIDADE DE COLAGEM DE PAINEL COMPENSADO
PRODUZIDO COM LÂMINAS TERMORRETIFICADAS E RESINA POLIURETANA

Danilo Soares Galdino

Cristiane Inácio de Campos

Ricardo Marques Barreiros

DOI 10.22533/at.ed.8232117031

CAPÍTULO 2..... 9

ESTUDO DA UTILIZAÇÃO DE LIGAS DE MEMÓRIA DE FORMA EM AERONAVES NÃO
TRIPULADAS

João Gabriel Benedito Duarte

Mayara Auxiliadora Castilho Benites

Victor Leone Rabito Chaves

Edson Godoy

Vanessa Motta Chad

Márcia Moreira Medeiros

DOI 10.22533/at.ed.8232117032

CAPÍTULO 3..... 22

APLICAÇÃO DE UM MECANISMO BALANCE BAR A UM SISTEMA DE FREIO DE UM
VEÍCULO *OFF ROAD* DO TIPO BAJA

Gustavo da Rosa Fanfa

Bruno Almeida Nunes

Antonio Domingues Brasil

DOI 10.22533/at.ed.8232117033

CAPÍTULO 4..... 34

DESARROLLO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE BOMBEO ALTERNATIVO PARA
APROVECHAR LA ENERGÍA POTENCIAL DEL AGUA

Diógenes Manuel de Jesús Bustan Jaramillo

José Leonardo Benavides Maldonado

Andrea del Pilar Narváez Ochoa

DOI 10.22533/at.ed.8232117034

CAPÍTULO 5..... 48

AVALIAÇÃO TÉRMICA DE VEICULOS COM E SEM PELICULA TÉRMICA

Weverson Carlos Fortes

Maribel Valverde Ramirez

DOI 10.22533/at.ed.8232117035

CAPÍTULO 6..... 57

COMPARISON OF EXPERIMENTAL DATA AND PREDICTION MODELS OF MINIMUM
FLUIDIZATION VELOCITY FOR A RICE HUSK AND SAND MIXTURE IN FLUIDIZED BED

Fernando Manente Perrella Balestieri

Carlos Manuel Romero Luna

Ivonete Ávila

DOI 10.22533/at.ed.8232117036

CAPÍTULO 7..... 65

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA PARA AVALIAÇÃO DOS ATUAIS PROCESSOS DE SECAGEM DE GRÃOS

José Roberto Rasi

Mario Mollo Neto

Roberto Bernardo

DOI 10.22533/at.ed.8232117037

CAPÍTULO 8..... 81

IMPLEMENTAÇÃO DE UMA INTERFACE HÁPTICA PARA TESTES DE CONTROLE MOTOR. DESIGN E VALIDAÇÃO DE UMA NOVA INTERFACE MECÂNICA

Adriano Augusto Antongiovanni

Arturo Forner Cordero

DOI 10.22533/at.ed.8232117038

CAPÍTULO 9..... 100

BRAÇO ROBÓTICO UTILIZANDO SENSOR DE COR PARA SEPARAÇÃO DE OBJETOS

Airam Toscano Lobato Almeida

Gefté Alcantara de Almeida

Eduardo Garcia Medeiros

Douglas Pires Pereira Junior

Samuel Vasconcelos de Oliveira

Carlos Henrique Cruz Salgado

DOI 10.22533/at.ed.8232117039

CAPÍTULO 10..... 106

LEVANTAMENTO DE DADOS DA LITERATURA SOBRE CÁLCULO DO FATOR DE EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA NA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

Kiala Muana Mfumu

Ivonete Ávila

Tatiane Tobias da Cruz

DOI 10.22533/at.ed.82321170310

CAPÍTULO 11..... 114

BENEFICIAMENTO DO MINÉRIO DE NIÓBIO ATRAVÉS DA CONCENTRAÇÃO POR PROCESSOS MECÂNICOS E SOLUÇÕES QUÍMICAS: ESTUDO TEÓRICO APROFUNDADO

Luiz Eduardo Ortigara

Mario Wolfart Júnior

Carlos Wolz

DOI 10.22533/at.ed.82321170311

CAPÍTULO 12..... 128

ESTUDO E DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE TRANSPOSIÇÃO DE ECLUSAS

PARA OS COMBOIOS PADRÃO TIETÊ

Antonio Eduardo Assis Amorim

DOI 10.22533/at.ed.82321170312

CAPÍTULO 13..... 139

DESENVOLVIMENTO DE UM CÓDIGO COMPUTACIONAL PARA ANÁLISE DE
VIBRAÇÃO POR CAPTURA DE IMAGEM

Giovanni Luiz Fredo

Paulo Rogério Novak

DOI 10.22533/at.ed.82321170313

SOBRE OS ORGANIZADORES 150

ÍNDICE REMISSIVO..... 151

ESTUDO DA UTILIZAÇÃO DE LIGAS DE MEMÓRIA DE FORMA EM AERONAVES NÃO TRIPULADAS

Data de aceite: 01/03/2021

João Gabriel Benedito Duarte

<http://lattes.cnpq.br/6458427490778373>

Mayara Auxiliadora Castilho Benites

<http://lattes.cnpq.br/3034663017129904>

Victor Leone Rabito Chaves

<http://lattes.cnpq.br/9916924194968418>

Edson Godoy

<http://lattes.cnpq.br/0728397597035898>

Vanessa Motta Chad

<http://lattes.cnpq.br/7103848848957071>

Márcia Moreira Medeiros

<http://lattes.cnpq.br/8260391121543962>

RESUMO: Ligas com Memória de Forma (LMF) são estudadas para aplicações em diversas áreas. Atualmente é possível encontrar esses materiais em diversas aplicações, como acoplamento para junção de tubos aeronáuticos, próteses mecânicas, stents vasculares, aparelhos ortodônticos, armações de óculos, entre outros. LMF são ligas metálicas que sofrem uma transformação de fase em função da aplicação de cargas termomecânicas, e são capazes de memorizar e recuperar sua forma primária após passarem por um processo de deformação, através do aquecimento do material acima da sua temperatura de transformação martensítica. Pesquisadores vêm realizando diversos estudos visando a aplicação dessa classe de materiais

como atuadores. De maneira geral, a aplicação de LMFs como atuadores apresenta um grande potencial, visto que esses materiais apresentam uma eficiência maior em relação aos atuadores convencionais. Este trabalho visa avaliar as propriedades de uma liga NiTi com efeito memória de forma para atuação como atuadores. As propriedades estudadas foram a deformação do material e capacidade de carga em função da corrente aplicada. Além desses estudos, também se verificou a aplicabilidade de LMFs como atuadores, de forma a viabilizar a substituição dos servomecanismos e sistemas hidráulicos por sistemas inteligentes.

PALAVRAS-CHAVE: Ligas com Memória de Forma, Atuadores, Ensaio Mecânico.

ABSTRACT: Shape memory alloys (SMA) are studied for applications in several areas. Currently it is possible to find these materials in several applications, such as coupling for aeronautical tube joints, mechanical prostheses, vascular stents, orthodontic appliances, eyeglass frames, among others. SMA are metal alloys that undergo a phase transformation due to the application of thermomechanical loads, and are capable of memorizing and recovering their primary shape after undergoing a deformation process, by heating the material above its martensitic transformation temperature. Researchers have been conducting several studies aiming at the application of this class of materials as actuators. In general, the application of SMAs as actuators presents a great potential, since these materials present a greater efficiency in relation to conventional ones. This work aims to evaluate

the properties of a NiTi alloy with memory effect to act as actuator. The properties studied were the deformation of the material and load capacity as a function of the current applied. Besides these studies, it was also verified the applicability of SMAs as actuators, in order to make possible the replacement of servomechanisms and hydraulic systems by intelligent systems.

KEYWORDS: Shape Memory Alloys, Actuators, Mechanical Test.

1 | INTRODUÇÃO

Ligas com efeito memória de forma (EMF) são ligas metálicas que quando deformadas podem voltar a sua forma anterior por meio do aquecimento da liga. Esse material vem sendo amplamente estudado como uma alternativa aos atuadores mecânicos em função de suas propriedades. Costuma-se encontrar aplicações nas áreas de robótica, automotiva, aeroespacial e biomédica.

O efeito memória de forma (EMF) se dá através da mudança de sua estrutura cristalina, que ocorre por meio de uma transformação martensítica estimulada pela aplicação de cargas termomecânicas. São capazes de recuperar sua forma original através do aquecimento acima da temperatura de transformação martensítica, devido a sua característica de “memorizar forma”.

Atualmente existem vários estudos buscando aplicações dessa classe de material como atuadores, principalmente no setor aeroespacial, com aplicações como o *Cryofit* no F-14 ou os *chevrons* no Boeing 787.

Atuadores são considerados os músculos dos sistemas mecânicos, já que são elementos capazes de converter energia armazenada em um sistema para movimento. Diversos atuadores são empregados como fonte de movimento e força.

Recentemente outros tipos de atuadores vem aparecendo, sendo eles os baseados em ligas com EMF e já se mostraram mais eficazes quando comparados aos atuadores convencionais, tendo em vista que apresentam uma significativa redução no volume do dispositivo e a capacidade de controlar posição sem a necessidade do uso de motores ou outros mecanismos de movimento. Com base nisso, o principal motivo para a realização desse trabalho é avaliar as características de um fio LMF a fim de contribuir na aplicação desse material em atuadores sendo um referencial bibliográfico para pesquisas posteriores.

2 | REVISÃO DE LITERATURA

Um dos primeiros relatos referentes ao efeito memória de forma que se tem registro é da década de 1930, quando, A. Olander observou o comportamento pseudoelástico da liga Au-Cd, em 1932 (OTSUKA, 1998). Em 1938, Greninger & Moorandian observaram o desaparecimento de uma fase martensítica pela diminuição e aumento da temperatura em uma liga Cu-Zn. Uma década mais tarde (1949), Kurdjumov & Khandros fizeram diversos

relatos referentes ao efeito de memória causado pelo comportamento termoelástico da fase martensítica. Desde então, diversas ligas com efeito memória de forma foram descobertas.

Na década de 1960, Buehler (1967) e outros pesquisadores do *U.S Naval Ordnance Laboratory* (NOL) descobriram o efeito memória de forma em uma liga de níquel e titânio, sendo essa descoberta considerada um grande avanço nas pesquisas de materiais com efeito memória de forma. Essa liga (NiTi) foi nomeada Nitinol (Níquel-Titânio *Naval Ordnance Laboratory*). A partir de então, diversas investigações foram conduzidas no intuito de compreender melhor os mecanismos básicos de funcionamento desse material.

Nesse capítulo será apresentada a base teórica utilizada para o desenvolvimento do trabalho, abordando os assuntos mais relevantes para esse trabalho.

2.1 Ligas com Efeito Memória de Forma

O efeito memória de forma (EMF) é a capacidade que um material metálico tem de “memorizar” sua forma primária, e, após passar por um processo de deformação, ser capaz de recuperar sua forma original por meio de aquecimento da liga a temperaturas superiores à temperatura de transformação martensítica. O processo de transformação que ocorre nesse material envolve duas fases, sendo elas, martensita (baixa temperatura) e austenita (alta temperatura). É válido ressaltar que tanto a austenita quanto a martensita podem ser a fase estável a temperatura ambiente. A transformação que ocorre nesse tipo de material difere das transformações que ocorrem nos materiais convencionais, pois neste tipo de liga a transformação ocorre de maneira abrupta (OLIVEIRA, 2007).

Atualmente, ligas com efeito memória de forma estão entre os materiais mais promissores, pois seu potencial de aplicações em diversas áreas tem criado uma enorme demanda por pesquisa, na intenção de ampliar cada vez mais seus campos de atuação (DIAS, 2005). As ligas CuAlNi, CuZnAl, NiTiCu entre outras são utilizadas comercialmente em diversas aplicações (RAO, 2015), com um destaque especial para a liga NiTi.

A liga de níquel-titânio (NiTi) com composição estequiométrica é a mais utilizada, pois apresenta melhores características em aplicações práticas, sendo superior a ligas como a de cobre-zinco-alumínio (CuZnAl) (COURA, 2016), que é muito utilizada devido ao seu baixo custo (FUNAKUBO E KENNEDY, 1987). A tabela 1 compara mais detalhadamente as principais características dessas ligas.

Propriedades	Liga NiTi	Liga CuZnAl
Deformação recuperável (máxima)	8%	4%
Tensão gerada na recuperação (máxima)	400 Mpa	200 Mpa
Fadiga	10^5 ($\epsilon = 0,02$) 10^7 ($\epsilon = 0,005$)	10^2 ($\epsilon = 0,02$) 10^5 ($\epsilon = 0,005$)
Resistência a corrosão	Boa	Problemática, especialmente sob tensão
Trabalhabilidade	Pobre	Razoável
Conformação	Relativamente fácil	Razoavelmente difícil

Tabela 1- Comparativo entre as ligas NiTi e CuZnAl.

Fonte: Adaptado de COURA, 2016; FUNAKUBO E KENNEDY, 1987.

Devido a disponibilidade, a liga utilizada nesse trabalho é composta por níquel-titânio (NiTi) com 0,1 mm de diâmetro, que é comercialmente chamada de Flexinol®, distribuída pela empresa Dynalloy.

O Flexinol® é um fio atuador com um diâmetro pequeno que contrai como um músculo quando acionado eletricamente (através do efeito Joule). Esse fio é menor e mais barato que motores ou solenoides, além de ser mais fácil de usar, também são capazes de realizar diversos movimentos físicos e possuem uma ampla gama de aplicações (DYNALLOY, 2019?).

As possibilidades de uso das ligas com efeito memória de forma são infinitas, uma vez que propriedades permitem resolver diversos problemas de engenharia por meio de aplicações inovadoras, que conseqüentemente resultam no desenvolvimento de novas tecnologias (TELO, 2014). Características como a grande capacidade de geração de força, alto percentual de deformação reversível, baixo ruído e dimensões reduzidas, viabilizam o uso das LMFs como atuadores (ATLI, 2013).

A aplicação de LMFs em atuadores permite o desenvolvimento de equipamentos robustos, sendo esses uma alternativa aos atuadores convencionais comumente aplicados em várias áreas da indústria (FUMAGALLI, 2009).

2.2 Atuadores com Memória de Forma

Mostrando um grande potencial de aplicação, as ligas com efeito memória de forma são amplamente empregadas na fabricação de atuadores, pois permitem o desenvolvimento de sistemas mais leves e com maior poder de atuação quando comparado aos convencionais (MAVROIDS, 2002). Atuadores são elementos considerados os “músculos” dos sistemas

mecânicos, pois são capazes de converter um determinado tipo de energia em outro, são empregados como fonte de movimento e força. Diversos atuadores podem ser encontrados comercialmente, enquanto outros ainda se encontram no processo de pesquisa. Comumente são dotados de motores (corrente contínua), sendo esses conhecidos como atuadores convencionais. Enquanto isso, os atuadores que possuem seu funcionamento baseado em fenômenos ligados à estrutura atômica do material, como a propriedade EMF, são chamados de não-convencionais.

Atuadores inteligentes baseados em LMF abriram um campo de possibilidades com sua facilidade de acionamento, fabricação e ótima eficiência. Esses equipamentos encontram aplicações nas mais diversas áreas, como na indústria automotiva, aeroespacial, robótica, mecânica, medicina e outras.

2.2.1 Atuadores com Memória de Forma na Indústria Aeroespacial

A maioria das aeronaves em operação hoje utilizam extensos sistemas hidráulicos para o regular suas superfícies de controle. Para manter a confiabilidade e precisão desses sistemas, são empregadas várias linhas hidráulicas que devem atuar em conjunto, de forma que dificulta o uso e torna laborioso de manter. Com isso, os engenheiros e pesquisadores do setor aeroespacial vem pesquisando as ligas com memória de forma como alternativa aos sistemas hidráulicos, a fim de reduzir o peso das aeronaves, de forma que se obtenha uma redução no consumo de combustíveis, acarretando assim uma redução significativa no custo operacional, além de aumentar o tempo de voo (SENTHILKUMAR, 2012).

2.2.1.1 Flaps

Flaps são estruturas presentes nas asas de um avião, que são responsáveis pela mudança de direção ou perda de altitude do mesmo. Essas estruturas precisam de sistemas hidráulicos para gerar movimento, e conseqüentemente necessitam de bombas e atuadores, tornando o projeto oneroso e pesado. Para contornar esse problema, muitas pesquisas estão sendo realizadas na área de materiais procurando soluções nas LMFs (CASTILHO, 2011).

2.2.1.2 Satélites

Outra aplicação bem interessante para LMFs são nas antenas infláveis para satélites. O procedimento de ativação desse dispositivo é feito através do calor, o que viabiliza a aplicação em satélites (NOGUEIRA, 2006).

2.2.1.3 Chevrons

Nos últimos anos, os regulamentos mundiais referentes aos níveis de ruído provenientes dos motores das aeronaves se tornaram mais restritos para os processos

de pouso e decolagem (LIMA, 2017). A fim de reduzir os ruídos gerados, pesquisadores da NASA, Boeing e General Electric buscaram uma nova configuração para as turbinas dos aviões, um formato ondulado para os cantos que é denominado *chevrons*, e inseriram fitas de LMF. Com as propriedades do material com memória de forma, os *chevrons* causam perturbações nos gases que saem da turbina, reduzindo assim o nível de ruído gerado (NEGRÃO, 2012).

2.2.1.4 *Cryofit*

Cryofit é um acoplamento para tubos hidráulicos de aeronaves. O primeiro modelo de *Cryofit* a utilizar LMF foi desenvolvido pela empresa *Raychem* em 1970, sendo utilizado pela indústria militar aeronáutica no caça americano *Grumman F-14* (LIMA, 2017).

No F-14 o *Cryofit* faz a união de 2 tubos distintos em uma conexão hidráulica. Inicialmente o acoplamento é imerso em nitrogênio líquido, fazendo com que seu diâmetro seja alargado mecanicamente até a sua montagem no sistema hidráulico. Após essa etapa, o acoplamento é montado rapidamente nas extremidades das tubulações que serão unidas. Quando retorna a temperatura ambiente, esse acoplamento recupera seu menor diâmetro, apertando com grande força as extremidades dos tubos, criando assim uma junta que é costumeiramente superior as juntas soldadas (HODGSON, 2000).

2.2.1.5 *Asas Morfológicas*

Também são pesquisadas aplicações de LMFs nas asas dos aviões, como no caso das asas morfológicas, que são asas que possuem a capacidade de melhorar ou adaptar a geometria do seu perfil aeronáutico durante o voo, otimizando seu desempenho (SOFLA, 2010). Esse modelo de asa vem sendo estudado para empregar em veículos aéreos não-tripulados (VANTs) de pequeno porte. Através de sistemas antagônicos de atuação para flexão com LMF, a asa é capaz de executar tanto movimentos de flexão quanto de torção (SANTOS, 2015).

3 | METODOLOGIA

Para realizar as avaliações das propriedades do material (liga NiTi com EMF) construiu-se uma bancada experimental pensada de forma que atendesse aos ensaios previstos para a avaliação da liga. No projeto da bancada considerou-se as dimensões necessárias para realizar três ensaios simultâneos.

Os ensaios realizados foram:

1. Deformação permanente ao final de 15.000 ciclos de uso;
2. Deformação de acionamento em função da carga aplicada;
3. Ciclos para chegar à ruptura.

Durante a parte de projeto houve um levantamento do que seria necessário na bancada para realizar os ensaios. Com base nesses levantamentos buscou-se utilizar materiais disponíveis na universidade a fim de se reduzir os custos. Sendo os materiais disponíveis metalon 20 mm por 20 mm, placas de madeira (MDF), e barra de aço para as cargas.

Após a construção da bancada de teste mostrada na figura 1 alguns testes iniciais foram realizados para saber qual é a corrente máxima na qual o fio romperia, durante uma carga constante (sendo essa produzida a partir de barras de aço cortadas em tamanhos distintos) de 0,065 kg, 0,256 kg e 0,375 kg. Para cada carga, o procedimento consistiu na aplicação de corrente 0,2A no fio e medir o seu deslocamento com um paquímetro digital e uma régua para auxiliar na medida, em seguida, a corrente foi aumentada gradualmente até 0,6A, ou a ruptura do fio.

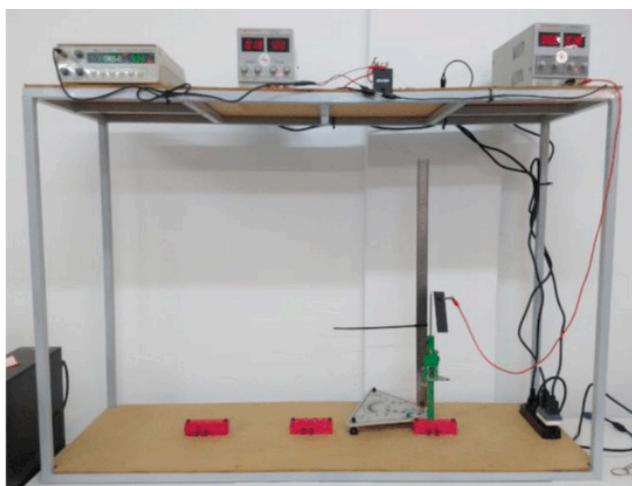


Figura 1 – Bancada experimental com os aparatos eletrônicos montados.

Fonte: O autor.

Os ensaios cíclicos foram definidos da seguinte forma: 2 segundos para o acionar e 2 segundos para desativar, utilizando uma função modelo gerador GV-2002 (ICEL), uma fonte de alimentação modelo ST-305D (INSTRUTEMP), definido como 0,2 A e um sistema electrónico alimentado por uma fonte ITFA 5000 (INSTRUTEMP). O número de ciclos foi contado por meio de um contador analógico, até t. O deslocamento do fio (com comprimento inicial de 50 cm) foi medido antes do início do teste e após 15.000 ciclos, utilizando um paquímetro digital de 300 milímetros com 0,01 milímetros resolução e uma régua de 50 cm para auxiliar na medida.

A figura 2 mostra o fio na condição relaxada, já a figura 3 mostra na condição

disparada. Além disso, o deslocamento foi medido no final do fio antes da sua ruptura. Cada teste foi conduzido sob uma corrente contínua, que foi gradualmente aumentada até 0,2A, a fim de minimizar problemas com a deformação da microestrutura do material, tal como sugerido por Casati e colaboradores (CASATI et al., 2011).



Figura 2 – Fio relaxado.

Fonte: O autor.



Figura 3 – Fio acionado.

Fonte: O autor.

4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

A primeira etapa do projeto foi constituída de uma atividade mais braçal, como o levantamento de informações, projeto e construção do aparato experimental para a realizar os testes do material estudado.

A tabela2 apresenta os resultados de retração do comprimento do fio mediante a aplicação de uma corrente de 0,2 A, por uma média de 30 segundos, quando suportando cargas de 0,065kg, 0,256kg e 0,375kg.

Teste	Retração (mm)		
	Carga 0,065 kg	Carga 0,256 kg	Carga 0,375 kg
1	21,1150	16,9100	15,2900
2	19,2900	18,7250	16,0350
3	19,2500	18,6750	15,4700
4	19,3350	18,5850	15,5750
5	19,5250	18,1100	15,6500
6	18,6300	18,9650	14,7000
7	18,0050	18,9150	14,5750
8	18,6200	19,2950	15,2950
9	17,7600	18,7000	14,9900
10	19,1150	18,5700	15,7650
Média ± Desvio Padrão (mm)	19,0645 ± 0,9302	18,5450 ± 0,6510	15,3345 ± 0,4659

Tabela 2 - Retração do comprimento do fio para as cargas de 0,065 kg, 0,256 kg e 0,375 kg.

Comprimento inicial de 50 cm.

Fonte: O autor.

Os dados apresentados na tabela 2 mostram que a capacidade de contração do fio diminui à medida que a carga aumenta. Este comportamento já era esperado, uma vez que o trabalho feito por fio aumenta com a carga. Foi observado que o fio rompe com uma corrente de 0,6 A, em média, confirmando os resultados obtidos por Benites (2018).

Observou-se que o comprimento do fio aumentou em relação ao comprimento inicial, e que o mesmo passou por uma deformação plástica quando submetido a uma corrente elevada (0,6 A) por um longo período (em média, 2 minutos). O fio foi aquecido próximo a sua corrente máxima de ruptura (0,6A) e mantido nesta condição por um tempo médio de 2 minutos, a fim de verificar se ele perderia ou não sua propriedade EMF. Ao longo de todos os testes o fio foi deformado plasticamente, aumentando o seu comprimento e quando a corrente aplicada é desligada, o material não retornava ao seu tamanho original. Além disso, depois de estar mais uma vez sujeito a uma 0,2 A, o fio apresenta uma perda do seu efeito memória de forma. De acordo com Dynalloy (2015) a deformação permanente ocorre se o fio é sujeito a uma tensão elevada e a alta temperatura. Deste modo, supõe-se que esses limites foram alcançados quando foram aplicadas uma carga de 0,256 kg e uma corrente de 0,6 A ao fio estudado, levando-o à ruptura.

Para os testes de cíclicos com as três cargas (0,065 kg, 0,256 kg e 0,375 kg), não havia nenhuma deformação plástica após 15.000 ciclos estipulados, confirmando a previsão da fabricante (Dynalloy, 2015). No entanto, observou-se que, se o fio está em

contato com a parede da bancada, ele rompe ocorre a menos de 15.000 ciclos, levando ao entendimento de que um ponto de contato induz uma concentração de tensões.

De acordo com o dimensionamento realizado por Benites (2018) na tabela 3 e demonstrado na figura 5, considerando as forças requeridas pelo sistema de atuadores da asa para que esses possam trabalhar, a autora demonstra qual é, teoricamente, a carga média que o material deve suportar.

DADOS GERAIS	
Ângulo do <i>flap</i> (°)	$\theta = 0$ até 90
Ângulo do fio SMA em relação a força Fns (°)	$\alpha = 90 - \theta$
Velocidade do ar 1 (m/s)	$V_{k=1} = 15$
Velocidade do ar 2 (m/s)	$V_{k=2} = 30$
Densidade do ar (kg/m³)	$\rho = 1,3$
Aplicação da força Fn no centro do <i>flap</i> (m)	$D_1 = 0,0075$
Aplicação da força Fns a 1/3 da distância da aplicação de Fn (m)	$D_2 = 0,005$
Comprimento do <i>flap</i> (m)	0,210
Largura do <i>flap</i> (m)	0,015
Área do <i>flap</i> (m²)	$A = 0,00315$
MODELAGEM MATEMÁTICA	
Cálculo da Força Normal no centro do <i>flap</i> (N)	$F_n = \rho * A * V_k^{2*} \text{sen}^2(\theta)$
Cálculo da Força normal do fio na distância d2 (N)	$F_{ns} = (F_n * D_1) / D_2$
Cálculo da componente da Força Fns na direção x (N)	$F_{nst} = F_{ns} * \text{cos}(\alpha)$

Tabela 3 - Dados utilizados para o dimensionamento de um sistema utilizando ligas com memória de forma em VANTS.

Fonte: Benites, 2018.

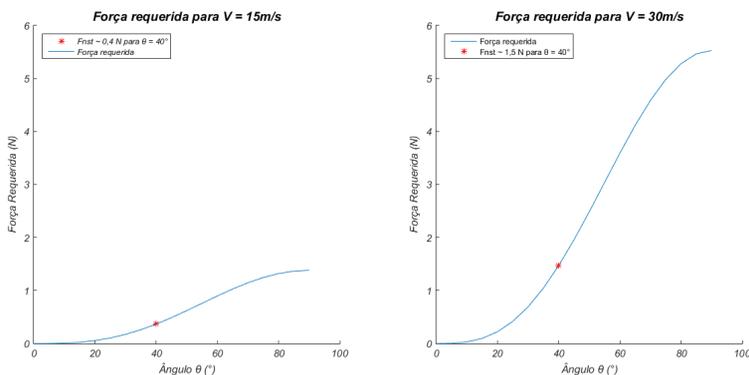


Figura 5 – Gráfico de Força Requerida x Ângulo θ de deflexão do *flap* para velocidade do ar de V_1 e V_2 .

Fonte: Benites, 2018.

Ao analisar os gráficos de Benites (2018) observa-se que, para o ângulo máximo de deflexão no *flap* ($\theta = 40^\circ$), conforme mencionado pela autora, a força máxima requerida para as duas velocidades são de 0,4 N e 1,5 N. Ao se basear nessas informações, levando em consideração os pesos utilizados para os ensaios (0,64 N, 2,51 N e 3,68 N) e a temperatura de trabalho do material (70°C), que possui um valor acima da temperatura ambiente onde se opera um VANT, pode-se afirmar que o material em questão é aplicável para a construção de sistemas de controle de pequeno porte.

5 | CONCLUSÕES

Os resultados finais confirmam a corrente 0,2 A para a ativação da liga com memória de forma, de acordo com a informação fornecida pelo fabricante. O material tem potencial para aplicações como atuador, uma vez que o número de ciclos não influencia em seu comprimento. Além disso, estabeleceu-se que uma corrente de até 0,6 A pode ser aplicada no fio antes que ocorra ruptura sob o efeito de uma carga constante. A deformação plástica permanente pode ocorrer em condição severa de carga e temperatura, a última em função de uma corrente crítica aplicada. Além disso, após submetido a uma corrente próxima ao seu valor crítico (0,6 A) por um período de aproximadamente 2 minutos o fio perde seu efeito memória de forma, não recuperando sua forma original quando exposto a uma corrente de ativação de 0,2 A. Finalmente, outra questão a ser levada em consideração é a parte construtiva do sistema no qual irá se utilizar o fio, uma vez que nos testes o fio rompeu prematuramente devido ao atrito entre o fio e a bancada.

REFERÊNCIAS

AEROFIT. **Couplings - Cryofit**. [2019?]. Disponível em: < <http://www.aerofit.com/sma-cryofit-couplings/>>. Acesso em: 21 mar. 2019.

ATLI, K., C. et al.. **The effect of training on two-way shape memory effect of binary NiTi and NiTi based ternary high temperature shape memory alloys**. *Materials Science and Engineering: A*, v. 560, p. 653-666. 2013. Elsevier BV.

BENITES, M. A. C. et al. **Estudo da utilização de ligas com efeito memória de forma como atuadores em aeronaves não tripuladas**. X Congresso Nacional de Engenharia Mecânica – CONEM 2018. Salvador, Brasil.

BUEHLER W. J.; WANG F. E. **A summary of recent research on the Nitinol alloys and their potential application in ocean engineering**. *Ocean Eng.* 1, pp. 105-120. 1967.

CASTILHO, W. S.; SILVA, E. P. **Algumas aplicações das ligas com memória de forma**. *Revista Científica do Instituto Federal de São Paulo – Sinergia*, v. 12, p. 99-108, 2011.

COURA, E. A. N. **Estudo da aplicação da liga NiTi com efeito memória de forma em atuadores de aeronaves**. 76 f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, 2016.

DIAS, R. F. **Efeito da deformação cíclica nas propriedades mecânicas de uma liga níquel-titânio superelástica**. 158 f. Tese (Doutorado) – Curso de Metalurgia e de Minas, Universidade Federal de Minas Gerais, 2005.

DYNALLOY. **Technical characteristics of FLEXINOL® actuator wires**. [2019?]. Disponível em: < <http://www.dynalloy.com/pdfs/TCF1140.pdf> >. Acesso em: 21 mar. 2019.

FUMAGALLI, L.; BUTERA, F.; CODA, A. **SmartFlex® NiTi Wires for Shape Memory Actuators**. Journal of Materials Engineering and Performance, v. 18, n. 5-6, p. 691-695. 2009. Springer Nature.

FUNAKUBO, H.; KENNEDY, J. B. (Ed.). **Shape Memory Alloys**. Tokyo: Gordon and Breach Science Publishers, 1987. V. 1. (Precision Machinery and Robotics).

GRENINGER, A. B.; MOORANDIAN, V. G. **Strain Transformation in Metastable Beta Copper-Zinc and Beta Copper-Tin Alloys**. AIME TRANS 128 (1938), pp. 337-355.

HODGSON, D. E.; BROWN, J. W. **Using Nitinol Alloys**. Shape Memory Applications. California, 2000.

KURDJUMOV, G.; KHANDROS, L. **First reports of the thermoelastic behaviour of the martensitic phase of Au-Cd alloys**. Doklady Akademii Nauk SSSR 66 (1949), pp. 221-213.

LAGOUDAS, D. C. **Shape Memory Alloys: Modeling and Engineering Applications**. New York, USA: Springer, 2008. 446 p. (ISBN 978-0-387-47684-1).

LIMA, W. M. **Caracterização termomecânica de um fio atuador de liga com memória de forma de Ni-Ti**. 200 f. Dissertação (Doutorado) – Universidade Federal da Paraíba. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, 2017.

MAVROIDIS, C. **Development of Advanced Actuators Using Shape Memory Alloys and Electrorheological Fluids**. Research in Nondestructive Evaluation, v. 14, pp. 1-32. 2002. Springer-Verlag.

NEGRÃO, G. Q. **Análise de uma máquina para conversão termomecânica de energia baseada em ligas com memória de forma**. 70 f. Dissertação (Graduação) – Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Brasília, 2012.

NOGUEIRA, C. M. **Estudo das propriedades mecânicas de concretos reforçados com fibras curtas com efeito memória de forma**. 144 f. Tese (Mestrado) – Pós-Graduação em Engenharia de Estruturas, Universidade Federal de Minas Gerais, 2006.

OLIVEIRA, C. A. N. **Caracterização termoelástica de atuadores helicoidais da liga Cu-Zn-Al com memória de forma**. 73 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, 2007.

OTSUKA, K; WAYMAN, C. M. **Shape Memory Materials**. Cambridge, United Kingdom: Cambridge University Press, 1998. 294 p. (ISBN 0-521-44487-X).

RAO, A.; SRINIVASA, A. R.; REDDY, J. N. **Design of Shape Memory Alloy (SMA) Actuators**. New York, USA: Springer, 2015. 137 p. (ISBN 978-3-319-03187-3).

SANTOS, J. M. **Atomização e consolidação por fusão seletiva a laser da liga Cu-11, 3Al-3, 2Ni-3, 0Mn-05Zr com efeito memória de forma.** 63 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal de São Carlos, 2015.

SETHILKUMAR, M. **Analysis of SMA Actuated Plain Flap Wing.** Journal of Engineering Science and Technology Review, 2012. n. 1, v. 5. p. 39-43.

SOFLA, A. Y. N. et al. **Shape morphing of aircraft wing: Status and challenges.** Materials & Design. 2010. n. 3, v. 31. p. 1284-1292.

TELO, G., J., C. **Estudo de um actuador baseado em ligas com memória de forma.** 87 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia Civil, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, 2014.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Acelerômetro 130, 135, 139, 140, 142, 144

Aquecimento 9, 10, 11, 35, 48, 49, 56, 70, 71

B

Baja 22, 23, 24, 26, 32, 33

Balance 22, 23, 27, 28, 29, 30, 99

Beneficiamento 80, 114, 116, 117, 118, 124, 125

Bombas 13, 34, 37, 39, 43, 47

Braço robótico 100, 101, 104, 105

C

Características físicas 1

Carro 48, 49, 50, 51, 52, 53, 55, 56

Casca de arroz 57, 58

Ciclo de vida 95, 106, 108, 109, 110, 113

Colagem 1, 2, 4, 5, 7, 8, 92, 93

D

Deslamagem 114, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 124, 125, 126

Deslocamentos 139

E

Efeito estufa 49, 57, 106, 107, 112, 113

Energia elétrica 34, 36, 37, 40, 106, 110, 113

Energia mecânica 34, 36, 37, 38, 40

Energia potencial 34, 36, 37

F

Fator de emissão 106, 107, 110, 111, 113

Flotação 114, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 125, 126, 127

Fotogrametria 139

Freios 22, 23, 24, 25, 27

Frequência natural 139, 140, 142, 144, 145, 147, 149

H

Hidrovia 128, 129, 132, 137

I

Interface háptica 81, 82, 83, 84, 85, 87, 88, 89, 97, 98

L

Leito fluidizado 57, 58

M

Matriz elétrica 106, 107, 110, 111

Métodos de secagens 65

Mistura 57, 58, 124

Moagem 114, 116, 117, 118, 119, 120, 125, 126, 127

N

Nióbio 114, 115, 116, 117, 118, 121, 123, 126, 127

O

Off road 22, 23

P

Painel compensado 1, 2

Película térmica 48, 49, 55

R

Resina poliuretana 1, 2, 3, 7

S

Secadores 65, 72, 74, 75

Segurança da navegação 128, 137, 138

Sensor de cor 100, 101, 102, 104

Separação 100, 104, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 125, 126

T

Temperatura 3, 4, 5, 7, 9, 10, 11, 14, 17, 19, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 67, 68, 69, 70, 71, 73, 75, 115

Termorretificação 1, 2, 4, 5, 7, 8

Teste controle 81

Turbinas 14, 34, 38

U

Umidade 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 48, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 65, 66, 67, 69, 70, 71, 73, 74, 75

V

Variação 22, 23, 26, 27, 68, 104, 110

Velocidade 18, 35, 38, 39, 45, 50, 57, 58, 64, 68, 69, 70, 85, 89, 103, 131, 132, 133, 134, 135, 136, 144

Engenharia Mecânica:

A Influência de Máquinas, Ferramentas
e Motores no Cotidiano do Homem

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

www.atenaeditora.com.br 

contato@atenaeditora.com.br 

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

www.facebook.com/atenaeditora.com.br 

 **Atena**
Editora

Ano 2021