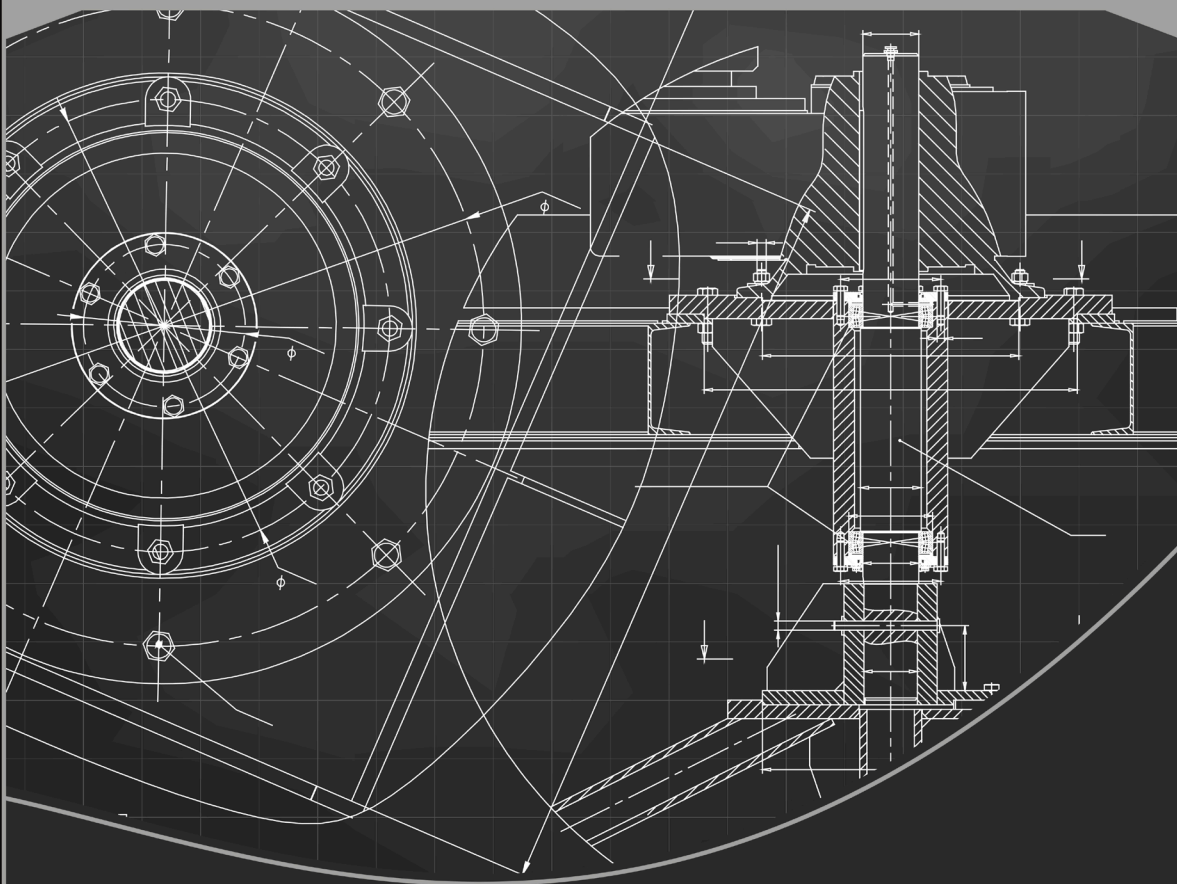


Engenharia mecânica:

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

2

Henrique Ajuz Holzmann
João Dallamuta
(Organizadores)



Atena
Editora

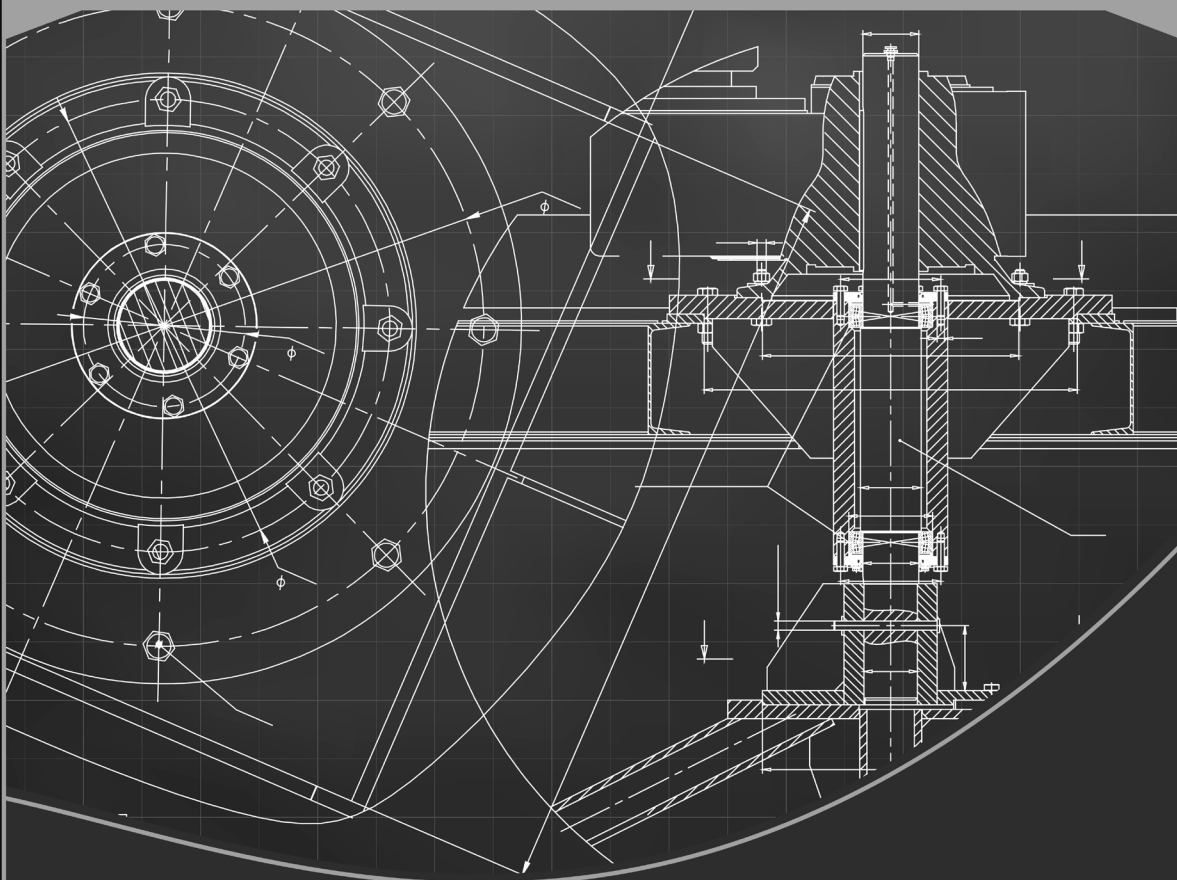
Ano 2021

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 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
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. Elói 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

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

Data de aceite: 01/06/2021

Submission date: 28/02/2021

Raphael Basilio Pires Nonato

CEFET/RJ, Mechanical Engineering
Department
Nova Iguaçu – RJ
<http://lattes.cnpq.br/9331089672178927>

Luiz Carlos Gomes Sacramento Júnior

CEFET/RJ, Control and Automation
Engineering Department
Nova Iguaçu – RJ
<http://lattes.cnpq.br/8162881141817109>

Leonardo Ferreira Ribeiro

CEFET/RJ, Control and Automation
Engineering Department
Nova Iguaçu – RJ
<http://lattes.cnpq.br/2313504418470592>

ABSTRACT: One of the main methods to measure the strain of mechanical components addresses the application of piezoresistive strain gages. However, the design and posterior implementation of the physical infrastructure to perform this measurement induces a certain quantity of relative error when the experimental results are compared to those of the analytic calculation. Aiming at reducing this error, this paper scopes the comparison of strain and load measured via piezoresistive strain gage by wire and wireless transmissions. The structural element which strain and load are obtained refers

to a clamped beam made of anodized aluminum alloy subjected to a point load, mainly producing strain from bending. To accomplish this, a piezoresistive strain gage is adhered to the beam surface under tension. In the first experiment, a prototyping platform Arduino® was connected to the strain gage (method with wire). In the second, ESP 32® (wireless) replaced the Arduino®. When the comparison between wire and wireless methods is made, it can be verified that the method with wire provides less relative error between experimental and analytical results. This allows the conclusion that the configuration with wire is more appropriate when more accurate strain and load results are desired.

KEYWORDS: Strain gage, strain and load measurement, wire and wireless transmissions.

1 | INTRODUCTION

The strain measurement has wide applicability in science and engineering and its contribution for these knowledge areas includes the determination of material properties, displacements, stresses, behavior at last. The prediction of a structural behavior under settled circumstances is of great interest because very often there are discrepancies between the design and the product conceived, according to Nonato and Pastoukhov (2012). Besides that, there are also regulatory standards that constrain the execution of this type of measurement, being some of them in the presence of the customer combined with reporting. Therefore, strain

measurement systems are present in the most diverse branches of industry, highlighting oil and gas, aeronautic, and automotive.

1.1 Background and fundamental concepts

In 1843, Charles Wheatstone applied an electronic circuit capable of measuring small signals of electrical resistance variation and called it Wheatstone bridge. In 1856, William Thomson found that the resistance of copper and iron conductors subjected to tensile loading presented measurable variation. Thenceforth, a wide variety of procedures and equipment aiming at measuring strain emerged. The first equipment were essentially mechanic and produced a considerable amount of error. In 1937, after innumerable tests by researchers around the world, Edward Simons and Arthur Ruge proposed the acquisition of strain adhering metallic wires to the surface of a specimen under test. Since then, this type of procedure has been enhanced, however keeping its essential principle: the variation of metallic wire length attached to the surface of the specimen corresponds to the variation of the electrical tension, which is captured by some equipment capable of doing it. This variation in electrical tension is linked to the body strain taking into account some material properties. Thenceforth, all the strain-dependent quantities can be extracted.

Currently, the most usual piezoresistive-based strain measurement system is schematically described by figure 1. The strain gage sensor is attached, as centralized as possible, to the point to which the measurement process needs to be performed. The strain gage is connected via wire to some board that captures the electrical tension variation. In other words, the referred board has the role of the Wheatstone bridge with the strain gage as one of its resistors. This board is connected to the computer, which has a black-box software or a tailor-made one specifically for the conditions under which measurement is performed. Figure 2 shows the main components of a typical strain gage that operates attached to the surface measured. Over a layer of a flexible insulation material, a resistive wire (made of constantan alloy, for example) is placed, which is covered with a layer of the same insulation material of the first layer. From the resistive wire, electrical wire terminations (made of tinned copper, for example) come out and represent the interface to which a board (for example, Arduino®) is connected. The resistive wire has an effective length, which is subjected to shortening (compression) or stretching (tension).

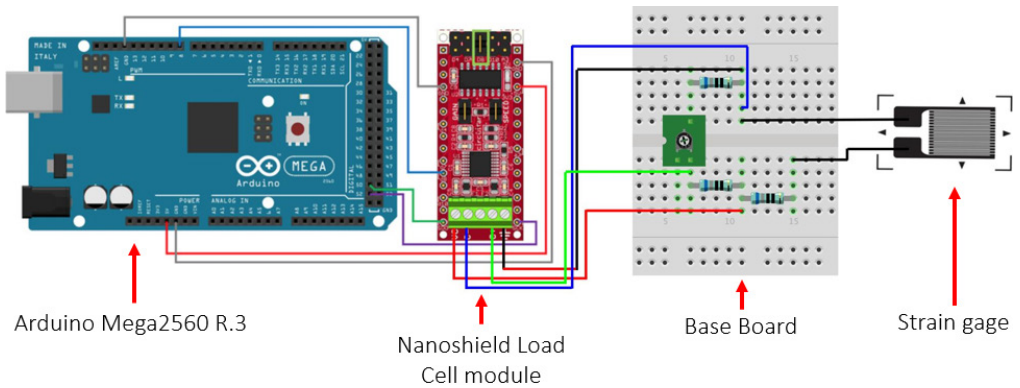


Figure 1. Scheme of a typical piezoresistive-based strain measurement system. Source: adapted from Silva et al. (2019).

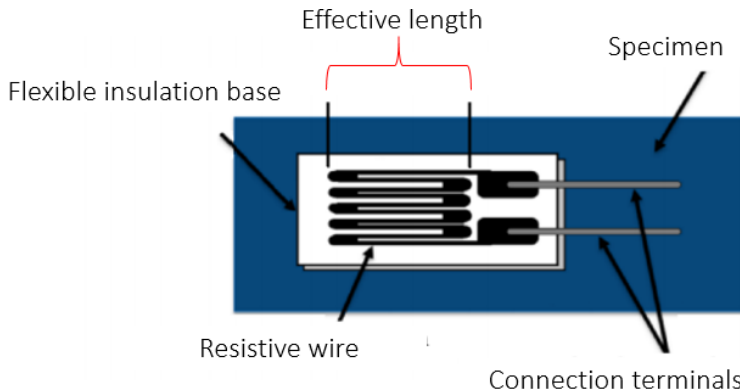


Figure 2. Main components of a piezoresistive strain gage sensor. Source: adapted from National Instruments (2020).

A widely applied type of strain gage is that made of metallic wire due to its relative high capacity to deform. Besides that, metal alloys typically employed in the gage are commonly selected to present the behavior similar to that of the material of the specimen under measurement. One of the most frequently available is constituted by flexible insulation layers made of polyimide or epoxy, and a resistive wire of a copper-nickel alloy (constantan, for example). The grid configuration maximizes the quantity of wire elements disposed in the strain direction to be measured, minimizing the cross-sectional area of each wire element, which intends to reduce Poisson's effect. Therefore, the strain is transferred from the specimen to the sensor, in order to lose as little as possible in terms of behavior capture.

1.2 Sensor sensitivity

A measuring instrument can have its sensitivity defined as the ratio between the variation in the output signal and the variation in the input signal, according to Keil (2017). In

the case of the strain gage sensor, the input and output signals are, respectively, the strain and the variation of the electrical resistance, ΔR , relative to its initial magnitude, R , i.e. $\Delta R/R$ in Equation 1, which establishes the described relation between input and output signals:

$$\frac{\Delta R}{R} = k\varepsilon, \quad (1)$$

where k is the so-called gage factor, which establishes the proportionality between input and output signals, and ε is the normal strain (measured along the effective length of the strain gage). Conceptually, in the context of small deformations theory, the strain ε may be expressed by the variation of the effective length, ΔL , relative to its initial effective length magnitude, L (see Figure 2), represented by Equation 2:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L}. \quad (2)$$

Substituting Equation (2) into Equation (1), the gage factor k can now be expressed in the following manner (Equation 3):

$$k = \frac{\frac{\Delta R}{R}}{\frac{\Delta L}{L}}. \quad (3)$$

This concept came from researches in which the main results were given in terms of experimentally obtained diagrams $(\Delta R/R) \times (\varepsilon)$, as conceived by Bertodo (1959), for example. Observing Ohm's law, the resistance is given by Equation 4:

$$R = \frac{\rho L}{A}, \quad (4)$$

where ρ is the resistivity of the wire material and A is the cross-sectional area of the wire. The premises on which these expressions are based correspond to conservation of volume, energy, and temperature, the fact that the wire is prismatic, and the restriction to not exceed the elastic limit of the wire material. Although the mathematical development related to these premises will not be reproduced here for simplicity purposes, the result of the combination of Equations 3 and 4 provides Equation 5:

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta \rho}{\rho} + \frac{\Delta L}{L}(1 + 2\nu), \quad (5)$$

where $\Delta \rho/\rho$ corresponds to the part of the electrical resistance variation due to volume change, and the other contribution of the right hand side of Equation 5 represents the electrical resistance variation due to the geometrical variation of the wire. Furthermore, Bridgeman (see Koch et al. (1952) for details) discovered a proportionality factor ϕ (expressed in Equation 6) which determines the existence of a proportional relation between

the specific variation of the resistivity $\Delta\rho/\rho$ and the specific variation of the volume $\Delta V/V$ for certain metals (for example, copper-nickel alloys).

$$\frac{\Delta\rho}{\rho} = \phi \frac{\Delta V}{V}. \quad (6)$$

Combining Equations 5 and 6, it is possible to obtain an equation that relates the specific variation of the electrical resistance due to the geometrical and resistivity parts (Equation 7):

$$\frac{\Delta R}{R} = \phi \frac{\Delta L}{L} (1 - 2\nu) + \frac{\Delta L}{L} (1 + 2\nu). \quad (7)$$

Rearranging Equation 7, the gage factor equation is now expressed by Equation 8:

$$\frac{\frac{\Delta R}{R}}{\frac{\Delta L}{L}} = \phi(1 - 2\nu) + (1 + 2\nu), \quad (8)$$

in which the right hand side of Equation 8 distinguishes two generating factors of resistance variation, change in the resistivity and in the geometry, respectively.

1.3 Measurement circuit

In order to measure strain with a piezoresistive sensor, it is necessary to connect it to an electrical circuit capable of interpreting resistance variations. This role can be performed by the Wheatstone bridge, which is a circuit that allows the measurement of static and dynamic electrical resistance, besides having the possibility to eventually take into account temperature compensation. Figure 3 shows a scheme of a Wheatstone bridge, with four resistors and the input (V_i) and output (V_o) electrical tensions connected to the points 2 and 3, and 1 and 4, respectively.

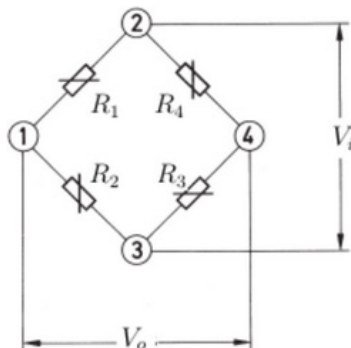


Figure 3. Wheatstone bridge. Source: HBM (2020).

Its main characteristic is the possibility of achievement of a null difference of electrical potential V_o just adjusting the resistance values, i.e. the bridge is said to be in equilibrium when the products of the opposite resistances result in the same value, according to the Equation 9:

$$R_1 R_3 = R_2 R_4. \quad (9)$$

In the case of resistance variation in any resistor, a non-null potential difference (proportional to this variation) is established, i.e. a degree of imbalance is caused. From this perspective, if one of the four resistors is replaced by a strain gage, any variation in its resistance causes a variation in electrical tension, which can be captured by an equipment capable of reading this quantity.

1.4 Clamped beam subjected to bending from a concentrated load

The mathematical model studied in this work is based on the Euler-Bernoulli beam theory as can be seen in Figure 4. F is the applied load (by means of standard weight blocks), L is the distance between the point of load application and the medium point of the strain gage (sg) adhesion, b and h are the base and the height of the rectangular cross-section, respectively.

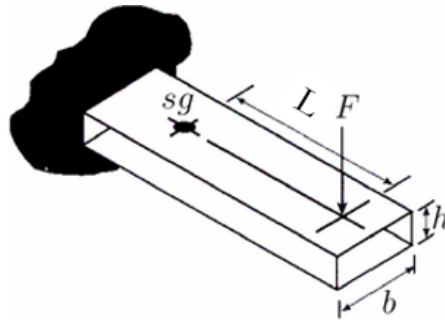


Figure 4. Scheme of the physical situation under analysis. Source: own authorship (2020).

Leaving aside the preamble of the development of this theory, which is not part of the scope of this work, the positive strain at the upper surface of the beam is given by Equation 10:

$$\varepsilon_{SG} = \frac{FLy}{EI}, \quad (10)$$

Where y is the distance from the neutral fiber to the fiber in which the calculation is performed, E is the elasticity modulus, and I is the moment of inertia of area.

According to Morris (2001), for the situation of one strain gage connected in the configuration of a quarter of the wheatstone bridge and neglecting any strain other than mechanical strain, the relation between the electrical tension and the strain is given by Equation 11:

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{k}{4} \varepsilon_{SG}, \quad (11)$$

in which V_o is the electrical tension from the strain gage deformation (output) and V_i is the electrical tension from the external supply (input). Since the strain gage is attached to the upper surface and the neutral axis of the cross-section is located at its centroid, the distance y assumes the value $h/2$. In addition, for rectangular cross-sections, the value of the moment of inertia I is equal to $bh^3/12$ and Newton's second law is considered ($F = mg$). Thenceforth, combining Equations 10 and 11 with these assumptions and statements yields Equation 12 in order to obtain the expected applied mass:

$$m = \frac{2}{3} \frac{E}{gk} \frac{V_o}{V_i} \frac{bh^2}{L}, \quad (12)$$

Which is the experimental mass m captured by the measurement system when all the input data are measured in the referred experiment. In order to check its accuracy, this value is compared to the theoretical value of the standard weight block inserted on the system. Then, Equation 10 can now be applied to calculate the strain at the location of the strain gage.

2 | MATERIALS AND METHODS

This section refers to the description of the physical infrastructures with wire and wireless, highlighting the interfaces, connections, and the strain gage itself, besides the description of the experiments conducted aiming at measuring the strain and obtaining values as close as possible to the masses of the standard weight blocks employed in the experiment.

2.1 Physical infrastructure with wire

The structural element, object of the strain measurement, is an anodized aluminum alloy clamped beam to which a concentrated load is applied. This load derives from a standard weight positioned at its free end. A bench vice is employed to fasten the other end of the bar aided by an industrial C-clamp (see Figure 5). The strain gage is adhered to the upper surface of the rectangular cross-sectional bar (see Figure 6) and is connected to the base board, which in turn is connected to the module HX711® (responsible for converting an analogic signal to a digital one, besides amplifying it). The Arduino® platform receives the data from the HX711® module, which is transferred to the supervision station, where

this data is stored and then analyzed. In this configuration, the USB cable, in addition to powering up the system, has also the function of sending the data from the Arduino® to the supervision station (see Figure 7).

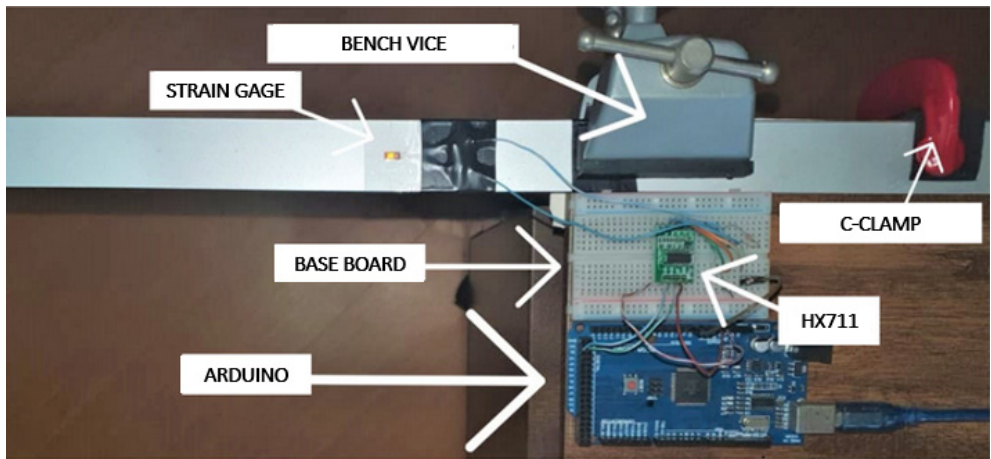


Figure 5. Final assembly of the wire configuration. Source: own authorship (2020).

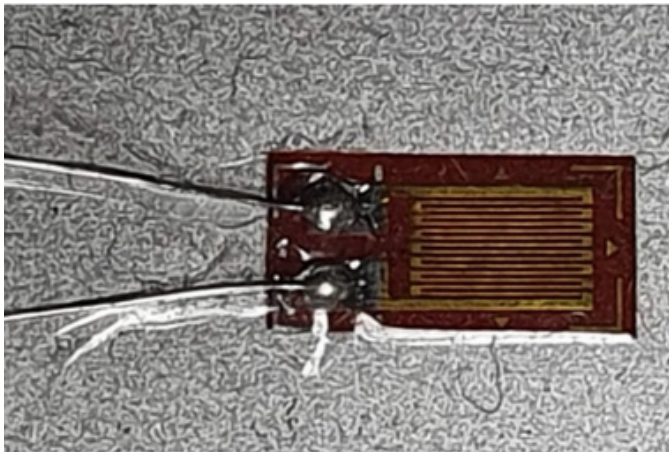


Figure 6. Strain gage attached to the upper surface of the bar. Source: own authorship (2020).

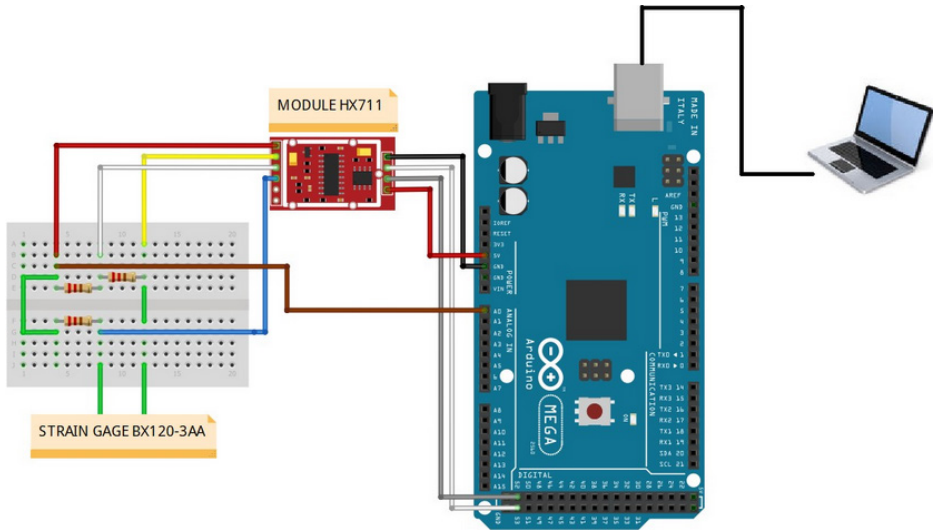


Figure 7. Scheme of the connections between the components for the wire configuration.

Source: own authorship (2020).

2.2 Wireless physical infrastructure

The main distinction to be made between the system dotted with wires and the wireless is the replacement of the Arduino® platform by an ESP 32® platform, since the ESP 32® has an integrated Wi-Fi module. In this way, the data is captured in the same way as using the Arduino®, although the use of the USB cable in this configuration is only to power up the ESP 32® (the data transfer between ESP 32® and supervision station is wirelessly, see Figures 8 and 9).

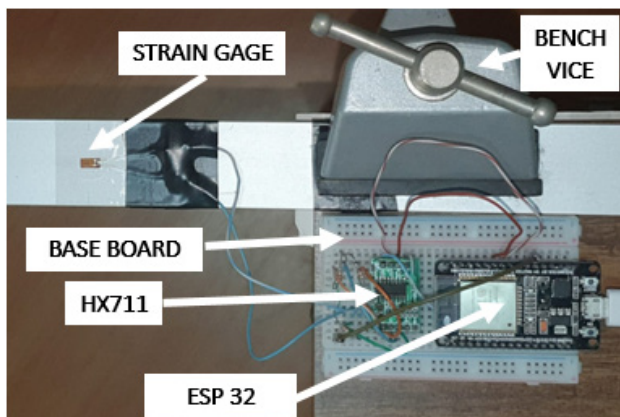


Figure 8. Final assembly of the wireless configuration. Source: own authorship (2020).

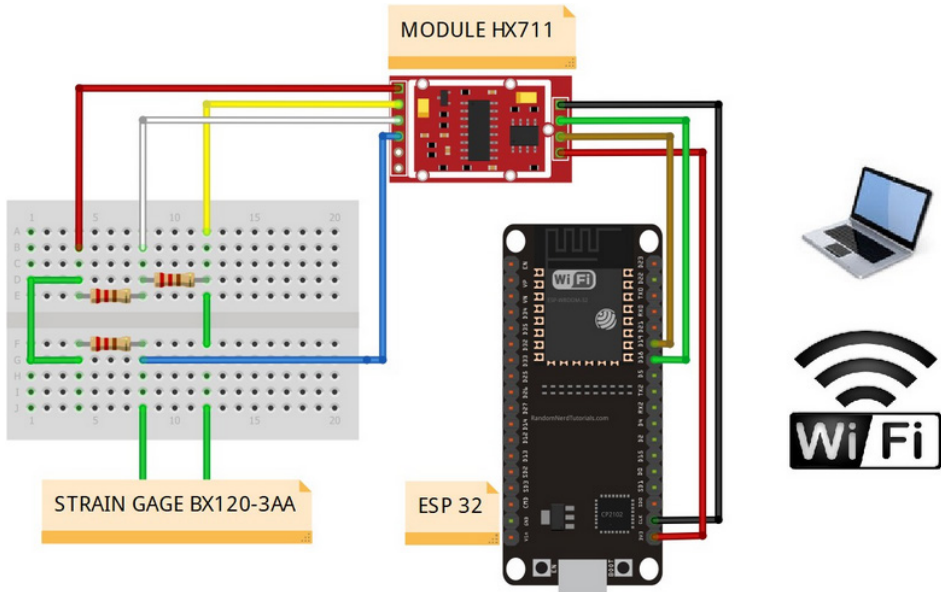


Figure 9. Scheme of the connections between the components for the wireless configuration.
 Source: own authorship (2020).

The resistance variation from the strain gage is detected by the HX711® module, which amplifies the received signal and send it to the micro-controlled prototyping platform ESP 32®. In its turn, ESP 32® sends the data through its Wi-Fi system to a supervision station to store the output (mass and deformation).

2.3 Experiments

Two main categories of experiments were conducted, one with the transmission by wire, and another wirelessly. In each configuration, five measurements are performed with each standard weight block. A mean and a standard deviation were calculated from each situation of mass positioned. Four standard weight blocks (0.050, 0.100, 0.150, and 0.200 kg of mass) were used in the experiment of each configuration (wire and wireless). The experimental input and output data were those from Equation 12. Thenceforth, the strain at the beam can be calculated by Equation 10. Although they are standard weight blocks, the theoretical values of masses employed were double-checked in a precision scale. Both configurations were subjected to 26°C of ambient temperature and were not subjected to considerable external vibrations (as far as we could observe, not enough to invalidate the experiments). The following flowchart in Figure 10 intends to explain the sequence of steps performed.

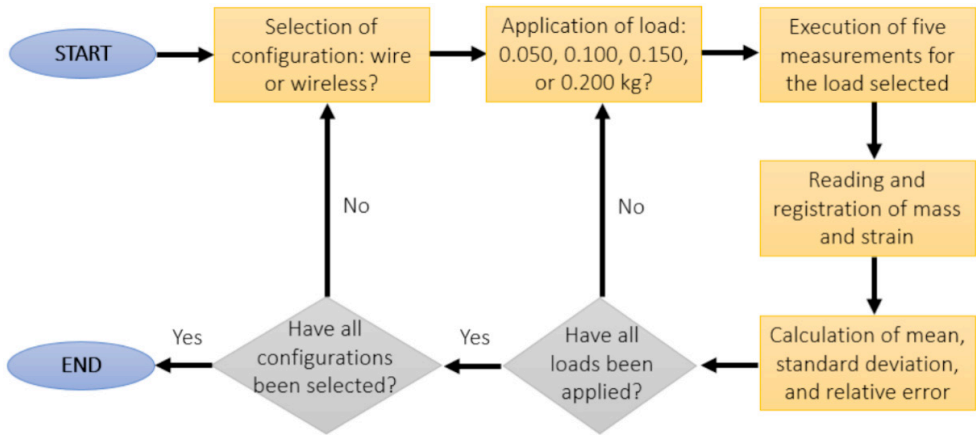


Figure 10. Flowchart of the experimental process. Source: own authorship (2020).

3 | RESULTS AND CONCLUSIONS

Strain measurement, reading, and recording were performed in two systems: with wire and wireless. Both were ran to output twenty measurements each (five times each of the four standard weight blocks), which resulted in output data expressed in terms of mass and strain. These results were also compared to the theoretical values of the involved quantities. Figures 11, 12, 13, and 14 show the comparison of the theoretical values of masses of the standard weight blocks of 0.050, 0.100, 0.150, and 0.200 kg, respectively, with the mean values experimentally obtained by the wire and the wireless methods. In addition, the same procedure was adopted for the strain, which values of theoretical strain are 72.004×10^{-6} , 144.010×10^{-6} , 216.010×10^{-6} , and 288.020×10^{-6} , respectively.

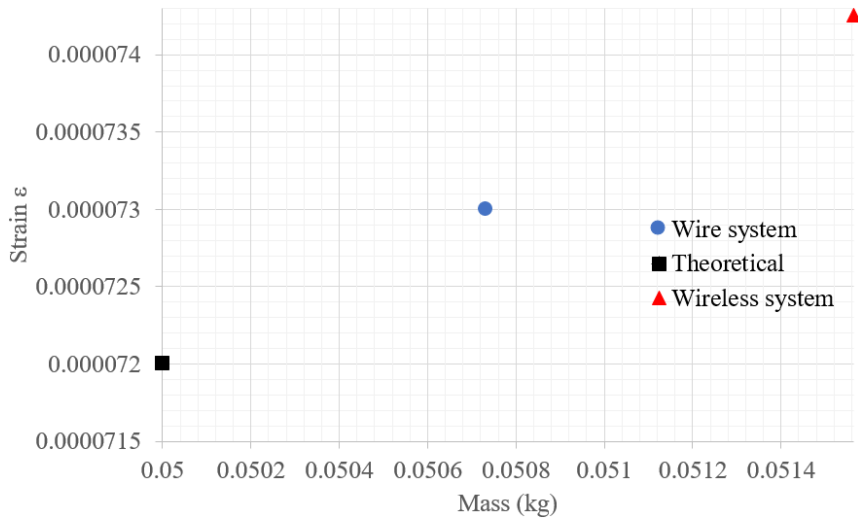


Figure 11. Statistic means of wire and wireless systems compared to the theoretical mass $m = 0.050$ kg. Source: own authorship (2020).

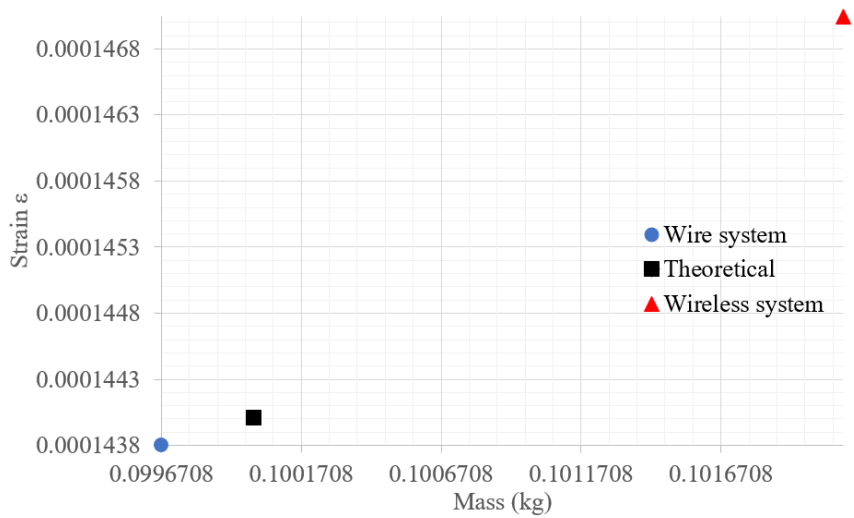


Figure 12. Statistic means of wire and wireless systems compared to the theoretical mass $m = 0.100$ kg. Source: own authorship (2020).

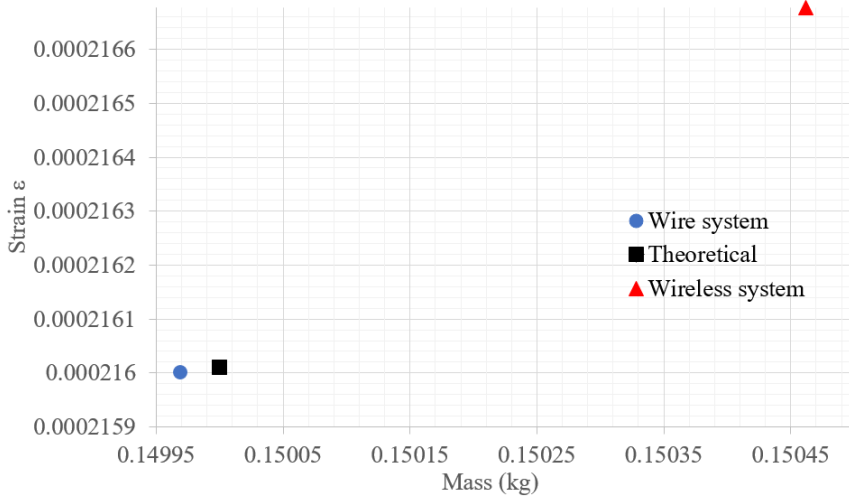


Figure 13. Statistic means of wire and wireless systems compared to the theoretical mass $m = 0.150$ kg. Source: own authorship (2020).

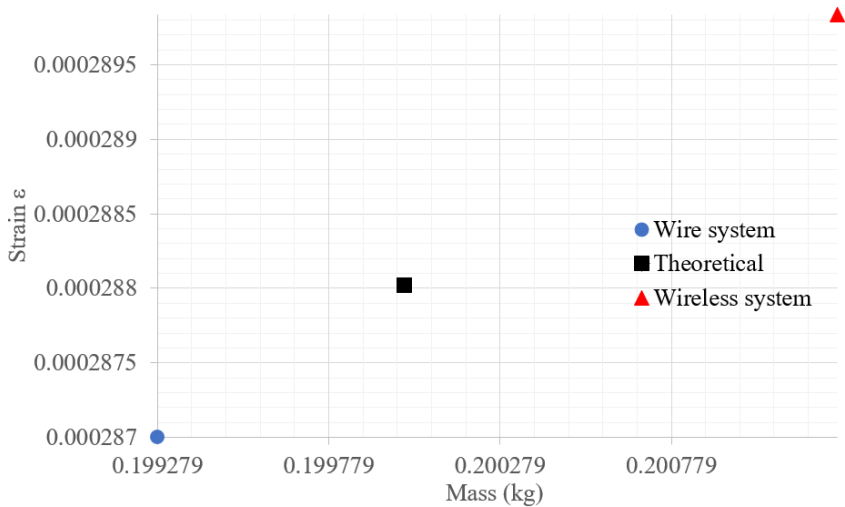


FIGURE 14. Statistic means of wire and wireless systems compared to the theoretical mass $m = 0.200$ kg. Source: own authorship (2020).

The results for masses are also presented in Tables 1 and 2 (wire and wireless configurations, respectively), and for strains in Tables 3 and 4, respectively, where the five measurements (from first to fifth column) were taken for each positioning of standard weight block, also showing their corresponding mean values (sixth column) and standard deviations (seventh column) of each table.

1st meas.(kg)	2nd meas. (kg)	3rd meas.(kg)	4th meas.(kg)	5th meas.(kg)	Mean(kg)	St. dev. (kg)
0.0501160	0.0522420	0.0497430	0.0513800	0.0501810	0.0507324	0.0009339
0.0976710	0.1017800	0.0985030	0.1004220	0.0999780	0.0996708	0.0014471
0.1523010	0.1506470	0.1486470	0.1490230	0.1492300	0.1499696	0.0013481
0.2027690	0.1998330	0.1993120	0.1976330	0.1968500	0.1992794	0.0020541

Table 1. Measurements of mass for the wire configuration. Source: own authorship (2020).

1st meas.(kg)	2nd meas.(kg)	3rd meas.(kg)	4th meas.(kg)	5th meas.(kg)	Mean(kg)	St. dev. (kg)
0.0510885	0.0518006	0.0513296	0.0515196	0.0513718	0.0514220	0.0002346
0.1021774	0.1021438	0.1021509	0.1026839	0.1024565	0.1023225	0.0002149
0.1504047	0.1503360	0.1500972	0.1502067	0.1502593	0.1502608	0.0001059
0.2009010	0.2013217	0.2015586	0.2013080	0.2013080	0.2012794	0.0002119

Table 2. Measurements of mass for the wireless configuration. Source: own authorship (2020).

1st meas.	2nd meas.	3rd meas.	4th meas.	5th meas.	Mean	St. dev.
0.0000720	0.0000750	0.0000720	0.0000740	0.0000720	0.0000730	0.0000013
0.0001410	0.0001470	0.0001420	0.0001450	0.0001440	0.0001438	0.0000021
0.0002190	0.0002170	0.0002140	0.0002150	0.0002150	0.0002160	0.0000018
0.0002920	0.0002880	0.0002870	0.0002850	0.0002830	0.0002870	0.0000030

Table 3. Measurements of strain for the wire configuration. Source: own authorship (2020)

1st meas.	2nd meas.	3rd meas.	4th meas.	5th meas.	Mean	St. dev.
0.0000736	0.0000746	0.0000739	0.0000742	0.0000740	0.0000741	0.0000003
0.0001471	0.0001471	0.0001471	0.0001479	0.0001475	0.0001474	0.0000003
0.0002166	0.0002165	0.0002162	0.0002163	0.0002164	0.0002164	0.0000002
0.0002893	0.0002899	0.0002903	0.0002899	0.0002899	0.0002899	0.0000003

Table 4. Measurements of strain for the wireless configuration. Source: own authorship (2020)

By observing Tables 1 and 2, the means of the masses from the wire configuration are more accurate, although the wireless system presents results with lesser dispersion (standard deviations). In general, this behavior is also reproduced in the analysis of strain data presented in Tables 3 and 4. Tables 5 and 6 show the relative errors calculated for wire and wireless configurations, respectively, related to the theoretical values. It is important to note that the relative errors from the wireless configuration are higher than the error from other configuration. Except for the unique characteristics of each experiment, great part of this error may be explained by the way of data transmission.

Therefore, by observing the referred Tables, it can be concluded that for more accurate results in terms of mass, and consequently, strain, the system dotted with wire should be used. Summarizing, the wire configuration can retrieve a more accurate expected value for mass and strain, however providing results with greater dispersion. The wireless system, despite its capacity to generate results with lesser dispersion, retrieved expected values of mass and strain with less accurate values.

Mean (kg)	Standard block mass (kg)	Relative error (%)
0.0507324	0.0500000	1.4648000
0.0996708	0.1000000	0.3292000
0.1499696	0.1500000	0.0202667
0.1992794	0.2000000	0.3603000

Table 5. Calculation of the relative error of mass for wire configuration. Source: own authorship (2020)

Mean (kg)	Standard block mass (kg)	Relative error (%)
0.0515649	0.0500000	3.1298222
0.1021093	0.1000000	2.1093414
0.1504617	0.1500000	0.3078138
0.2012638	0.2000000	0.6318852

Table 6. Calculation of the relative error of mass for wireless configuration. Source: own authorship (2020)

REFERENCES

BERTODO, R. **Development of high-temperature strain gauges**. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, v. 173, n. 23, p. 605-616, 1959.

HBM: **Circuito de ponte de Wheatstone**. Available in: <<http://www.ni.com/white-paper/3642/pt/>>. Access on: 26 aug. 2020.

KEIL, S. **Technology and Practical Use of Strain Gages: With Particular Consideration of Stress Analysis Using Strain Gages**. John Wiley & Sons, Berlin, Germany, 512 p., 2017.

KOCH, J. J.; BOITEN, R. G.; BIEMASZ, A. L.; ROSZBACH, G. P.; VAN SANTEN, G. W. **Strain Gauges – Theory and Application**. Elsevier, Houston, USA, 95 p., 1952.

MORRIS, A. S. **Measurement and Instrumentation Principles**. Butterworth Heinemann, Oxford, England, 512 p., 2001.

NATIONAL INSTRUMENTS: **Measuring strain with strain gages**. Available in: <<https://www.ni.com/pt-br/innovations/white-papers/07/measuring-strain-with-strain-gages.html>>. Access on: 26 aug. 2020.

NONATO, R. B. P.; PASTOUKHOV, V. **Criação de diferenciais competitivos de mercado por meio de metodologia estruturada de projeto.** Revista Ciências Exatas, v. 18, p. 23-34, 2012.

SILVA, A. L.; VARANIS, M.; MERELES, A. G.; OLIVEIRA, C.; BALTHAZAR, J. M. **A study of strain and deformation measurement using the Arduino microcontroller and strain gauges devices,** v. 41, n. 3, p. 1-7, 2019.

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

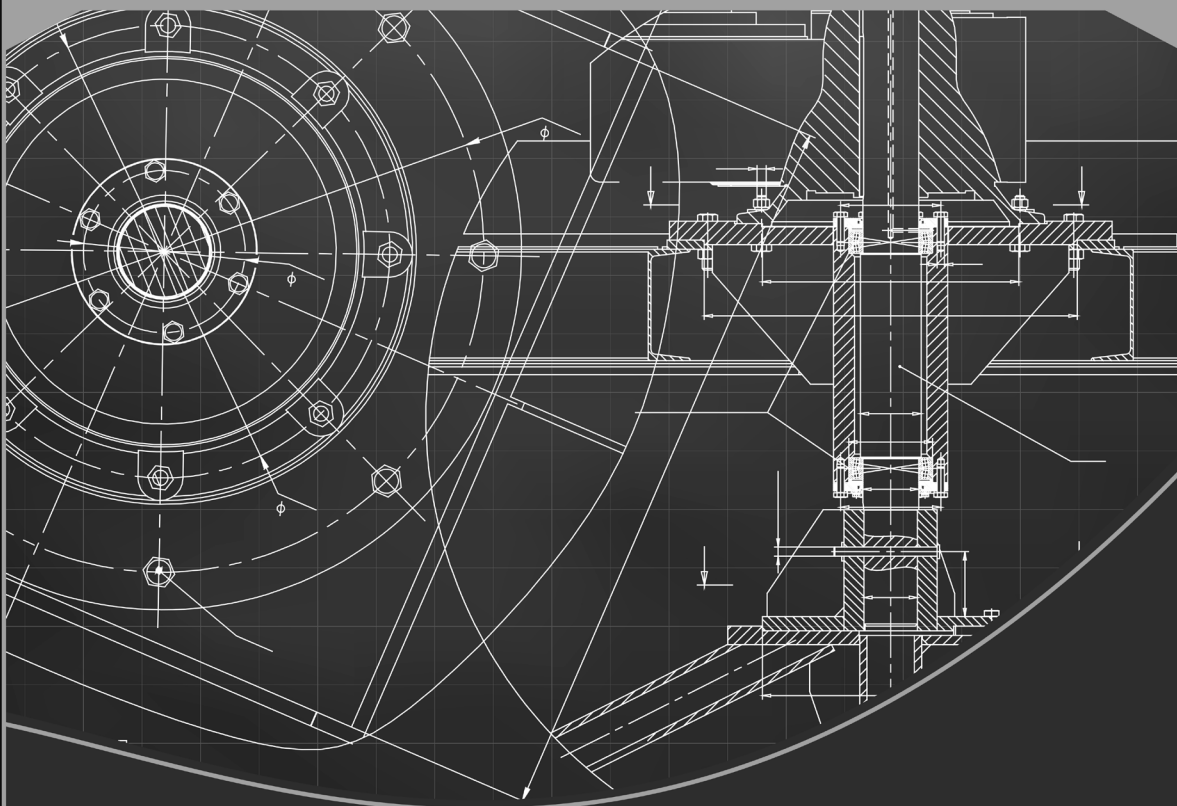
2

🌐 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

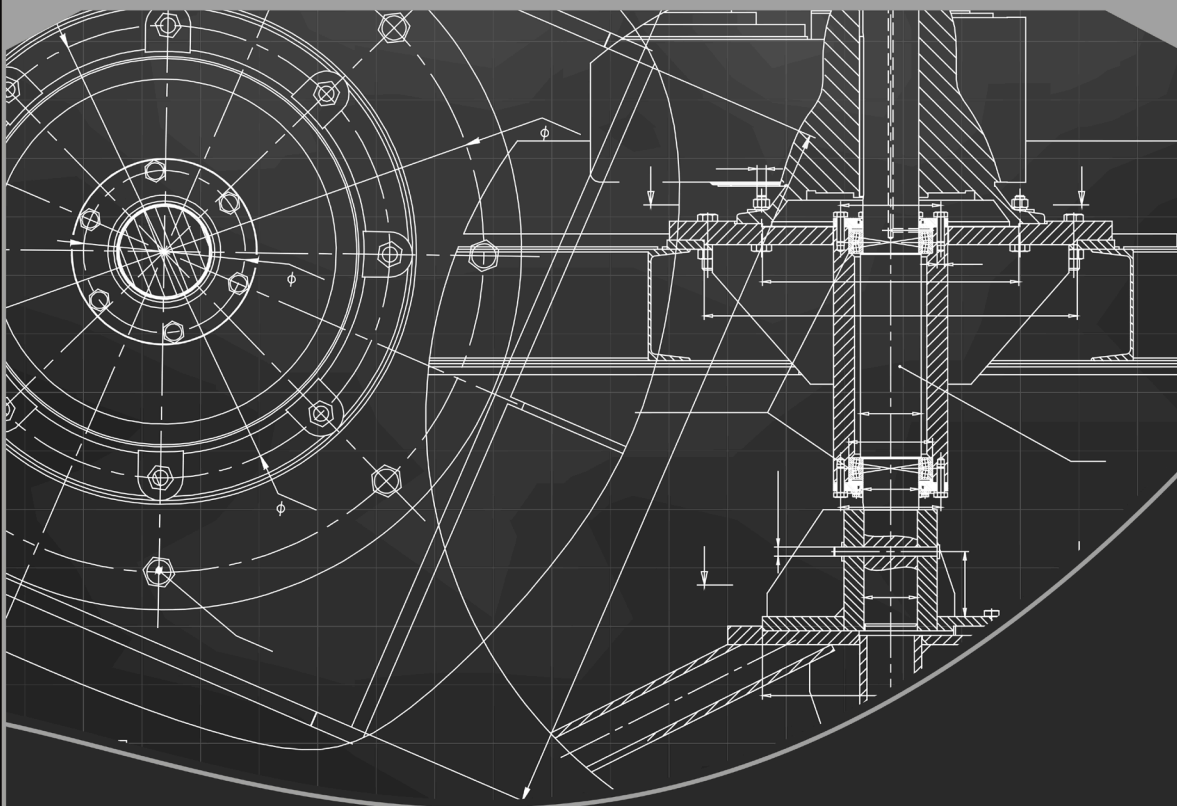
2

🌐 www.atenaeditora.com.br

✉ contato@atenaeditora.com.br

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

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



Atena
Editora

Ano 2021