

COLEÇÃO

DESAFIOS

DAS

ENGENHARIAS:

ENGENHARIA MECÂNICA



HENRIQUE AJUZ HOLZMANN
JOÃO DALLAMUTA
(ORGANIZADORES)

 Atena
Editora
Ano 2021

COLEÇÃO

DESAFIOS

DAS

ENGENHARIAS:

ENGENHARIA MECÂNICA



HENRIQUE AJUZ HOLZMANN
JOÃO DALLAMUTA
(ORGANIZADORES)

 Atena
Editora
Ano 2021

Editora chefe	
Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira	
Assistentes editoriais	
Natalia Oliveira	
Flávia Roberta Barão	
Bibliotecária	
Janaina Ramos	
Projeto gráfico	
Natália Sandrini de Azevedo	
Camila Alves de Cremo	
Luiza Alves Batista	
Maria Alice Pinheiro	2021 by Atena Editora
Imagens da capa	Copyright © Atena Editora
iStock	Copyright do Texto © 2021 Os autores
Edição de arte	Copyright da Edição © 2021 Atena Editora
Luiza Alves Batista	Direitos para esta edição cedidos à Atena
Revisão	Editora pelos autores.
Os autores	Open access publication by Atena Editora



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

Profª Drª Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa

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. Arnaldo Oliveira Souza Júnior – Universidade Federal do Piauí
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. Elio Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima
Prof. Dr. Gustavo Henrique Cepolini Ferreira – Universidade Estadual de Montes Claros
Prof. Dr. Humberto Costa – Universidade Federal do Paraná
Prof^a Dr^a Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionale delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Prof. Dr. Jadson Correia de Oliveira – Universidade Católica do Salvador
Prof. Dr. José Luis Montesillo-Cedillo – Universidad Autónoma del Estado de México
Prof. Dr. Julio Cândido 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. Dr. Miguel Rodrigues Netto – Universidade do Estado de Mato Grosso
Prof. Dr. Pablo Ricardo de Lima Falcão – Universidade de Pernambuco
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. Saulo Cerqueira de Aguiar Soares – Universidade Federal do Piauí
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^a Dr^a 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
Prof^a Dr^a Carla Cristina Bauermann Brasil – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados
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 Gílrene 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
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 Daniela Reis Joaquim de Freitas – Universidade Federal do Piauí
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^a Dr^a Fernanda Miguel de Andrade – Universidade Federal de Pernambuco
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 Federal 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 da Fontoura Custódio Monteiro – Universidade do Vale do Sapucaí
Prof^a Dr^a Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof^a Dr^a Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Prof^a Dr^a 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
Prof^a Dr^a Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie
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
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 Gonçalo 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 Miranilde 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

Coleção desafios das engenharias: engenharia mecânica

Diagramação: Maria Alice Pinheiro
Correção: Mariane Aparecida Freitas
Revisão: Os autores
Organizadores: Henrique Ajuz Holzmann
João Dallamuta

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

C691 Coleção desafios das engenharias: engenharia mecânica /
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 978-65-5983-259-0
DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.590212107>

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. Declararam 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; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.

DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access*, desta forma não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de e-commerce, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.

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. Além disso a busca pela otimização no desenvolvimento de projetos, leva cada vez mais a simulação de processos, buscando uma redução de custos e de tempo.

Neste livro são apresentados trabalho teóricos e práticos, relacionados a área de mecânica, materiais e automação, dando um panorama dos assuntos em pesquisa atualmente. A caracterização dos materiais é de extrema importância, visto que afeta diretamente aos projetos e sua execução dentro de premissas técnicas e econômicas. Pode-se ainda estabelecer que estas características levam a alterações quase que imediatas no projeto, sendo uma modificação constante na busca por melhores respostas e resultados.

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
MODELAGEM DE UM MANIPULADOR PARALELO 3RRR PARA INCLUSÃO DE ELOS FLEXÍVEIS	
André Vecchione Segura	
Fernanda Thaís Colombo	
Máira Martins da Silva	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.5902121071	
CAPÍTULO 2.....	9
MODELAGEM NUMÉRICA DE SUSPENSÃO DE ¼ DE VEÍCULO	
Lucas Alves Torres	
Lucas Messias Cunha de Araújo	
João Gabriel Paulino de Souza	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.5902121072	
CAPÍTULO 3.....	20
OTIMIZAÇÃO PARAMÉTRICA DA SUSPENSÃO DE UM CAMINHÃO COM RESTRIÇÃO DE CONFIABILIDADE	
José Gilberto Picoral Filho	
Ewerton Grotti	
Herbert Martins Gomes	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.5902121073	
CAPÍTULO 4.....	38
ANÁLISE DE FADIGA PARA OS AÇOS ABNT 1045 E ABNT 4140 PELO MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS	
Brenda Martins Fernandes	
Reny Angela Renzetti	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.5902121074	
CAPÍTULO 5.....	48
ANÁLISE PARAMÉTRICA DAS FREQUÊNCIAS DOMINANTES DE UM VIOLÃO ACÚSTICO	
Marco Túlio Santana Alves	
Felipe Iglesias	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.5902121075	
CAPÍTULO 6.....	56
VORTEX-INDUCED VIBRATIONS MODEL WITH 2 DEGREES OF FREEDOM OF RIGID CYLINDERS NEAR A FIXED WALL BASED ON WAKE OSCILLATOR	
Rafael Fehér	
Juan Pablo Julca Avila	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.5902121076	

CAPÍTULO 7.....67

AVALIAÇÃO DE PARÂMETROS DE UM COLETOR SOLAR DE TUBO EVACUADO ECCÊNTRICO

Mavd de Paula Ribeiro Teles

Kamal Abdel Radi Ismail

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5902121077>

CAPÍTULO 8.....79

RADIÔMETRO SOLAR DE BAIXO CUSTO USANDO A PLATAFORMA ABERTA ARDUINO

Elson Avallone

Cristiano Pansanato

Átila Negretti Faro

Dionísio Igor Alves da Silva

Jhonatas Wendel da Silva

Guilherme Biazzi Gonçalves

Mário César Ito

Rafael Paiva Garcia

Paulo César Mioralli

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5902121078>

CAPÍTULO 9.....92

TURBULENT FORCED CONVECTION IN THE THERMAL ENTRANCE OF RECTANGULAR DUCTS: ANALYSIS FOR DIFFERENT MODELS OF VELOCITY DISTRIBUTION AND MOMENTUM EDDY DIFFUSIVITY

Dhiego Luiz de Andrade Veloso

Carlos Antônio Cabral dos Santos

Fábio Araújo de Lima

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5902121079>

CAPÍTULO 10.....109

SELEÇÕES DE SUBSTITUIÇÃO EM UM ALGORITMO GENÉTICO DE CODIFICAÇÃO REAL APLICADO À OTIMIZAÇÃO DE UM CICLO RANKINE ORGÂNICO DE DUPLO ESTÁGIO

Guilherme de Paula Prado

Renan Manozzo Galante

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.59021210710>

CAPÍTULO 11.....124

DINÂMICA LINEAR PLANAR DE UM TUBO ENGASTADO TRANSPORTANDO FLUIDO COM UMA MASSA ANEXADA NA EXTREMIDADE LIVRE

Milton Aparicio de Oliveira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.59021210711>

CAPÍTULO 12.....138

SENSOR CAPACITIVO PARA DETECÇÃO DE FRAÇÃO DE VAZIO EM ESCOAMENTO BIFÁSICO ÁGUA-AR

Anderson Giacomeli Fortes

Jeferson Diehl de Oliveira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.59021210712>

CAPÍTULO 13.....150

STUDY OF STATIC AND DYNAMIC LEVELS OF UNDERGROUND AQUIFER WELLS TO MAINTAIN THEIR BALANCE LEVEL IN THE PROVINCE OF ICA - 2014

Primitivo Bacilio Hernández Hernández

Omar Michael Hernández García

Aníbal Bacilio Hernández García

Jessenia Leonor Loayza Gutiérrez

Walter Merma Cruz

Marcos Luis Quispe Pérez

Edward Paul Sueros Ticona

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.59021210713>

CAPÍTULO 14.....164

SISTEMAS COMPUTACIONAIS INTELIGENTES E CONTROLE AVANÇADO COM ÉNFASE EM MAPAS COGNITIVOS FUZZY EM SISTEMAS DINÂMICOS APLICADOS EM DIFERENTES ÁREAS, COM ÉNFASE EM ROBÓTICA

Márcio Mendonça

Marina Souza Gazotto

Marina Sandrini

Marta Rúbia Pereira dos Santos

Rodrigo Henrique Cunha Palácios

Fábio Rodrigo Milanez

Lillyane Rodrigues Cintra

Francisco de Assis Scannavino Junior

Wagner Fontes Godoy

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.59021210714>

CAPÍTULO 15.....181

ROBÔ AUTÔNOMO PARA ESTACIONAMENTO

Lucas Netto Luzente de Almeida

Graziele Barreto da Costa Almeida

Heitor Gomes de Souza Batista

Armando Carlos de Pina Filho

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.59021210715>

CAPÍTULO 16.....193

PROTOTIPIGEM RÁPIDA 3D APLICADA AO ÂMBITO UNIVERSITÁRIO

Vitória de Oliveira Mattos

Lucas Ruzzon de Jesus Ortega

Rafael Issao Fukai

Milena de Sousa Ferreira
João Pedro Monterani Laguna
Marcelo Sampaio Martins

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.59021210716>

CAPÍTULO 17.....199

UMA SOLUÇÃO ANALITICA PARA EFEITOS MECANICOS EM TUMORES SÓLIDOS AVASCULARIZADOS

Francisco Jose Vargas da Silva
Fernando Pereira Duda

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.59021210717>

SOBRE OS ORGANIZADORES206

ÍNDICE REMISSIVO.....207

CAPÍTULO 8

RADIÔMETRO SOLAR DE BAIXO CUSTO USANDO A PLATAFORMA ABERTA ARDUINO

Data de aceite: 01/07/2021

Mário César Ito

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”

UNESP/FEB

<http://lattes.cnpq.br/3840103779844613>

Rafael Paiva Garcia

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo

Câmpus Birigui-SP

<http://lattes.cnpq.br/4757056311892116>

Paulo César Mioralli

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo

Câmpus Catanduva-SP

<http://lattes.cnpq.br/7954830438234781>

Elson Avallone

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo
Câmpus Catanduva-SP

<http://lattes.cnpq.br/4406895105042349>

Cristiano Pansanato

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”-UNESP/FEB
Centro Universitário de Bauru - ITE

<http://lattes.cnpq.br/1347258262140551>

Átila Negretti Faro

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo
Câmpus Catanduva-SP

<http://lattes.cnpq.br/0439729681821879>

Dionísio Igor Alves da Silva

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo
Câmpus Catanduva-SP

<http://lattes.cnpq.br/1122328724580027>

Jhonatas Wendel da Silva

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo
Câmpus Catanduva-SP

<http://lattes.cnpq.br/9342909284766113>

Guilherme Biazzi Gonçalves

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”-UNESP/FEB

<http://lattes.cnpq.br/0530801004584857>

RESUMO: Há muito tempo a humanidade tem estudado a energia solar. Este trabalho apresenta o desenvolvimento, montagem, construção e calibração de um radiômetro solar de baixo custo, instrumento utilizado nas medições da radiação solar. O instrumento utiliza o princípio de que a irradiação incidente sobre uma placa absorvedora está relacionada com a diferença de temperatura dessa placa com o ambiente. Foram utilizados dois sensores de temperaturas digitais do tipo DS18B20 Dallas e uma placa Arduino, com programação especificamente desenvolvida para o projeto. O radiômetro apresenta um resultado semelhante a um sensor comercial com um índice de confiança de 95%. A grande vantagem desse equipamento é a confiabilidade aliada ao baixo custo de produção, com valor médio de US\$ 70,00 em contraponto a um valor

aproximado de US\$ 2000,00 de um sensor comercial.

PALAVRAS - CHAVE: Radiômetro; Piranômetro; Instrumentação; Radiação térmica; Arduino.

LOW-COST SOLAR RADIOMETER USING THE ARDUINO OPEN SOURCE PLATFORM

ABSTRACT: Humanity has long studied solar energy. This work presents the development, assembly, construction and calibration of a low-cost solar radiometer, an instrument used in the measurements of solar radiation. The instrument uses the principle that the irradiation incident on an absorber plate is related to the temperature difference of that plate with the environment. Two DS18B20 Dallas digital temperature sensors and an Arduino board were used, with programming specifically developed for the project. The radiometer shows a result similar to a commercial sensor with a 95% confidence index. The great advantage of this equipment is the reliability combined with the low cost of production, with an average value of US\$ 70.00 compared to a commercial sensor with an approximate value of US\$ 2000.00.

KEYWORDS: Radiometer; Pyranometer; Instrumentation; Thermal radiation; Arduino.

NOMENCLATURA

Símbolo	Descrição	Unidade
h_{ar}	Coeficiente de transferência de calor do ar	[W/(m ² .K)]
$h_{rad,ext}$	Coeficiente de transferência de calor por radiação externa	[W/(m ² .K)]
$h_{rad,int}$	Coeficiente de transferência de calor por radiação interna	[W/(m ² .K)]
h_{rad}	Coeficiente de transferência de calor por radiação	[W/(m ² .K)]
A_{vidro}	Área transversal do vidro	[m ²]
K_{vidro}	Condutividade térmica do vidro	[W/(m.K)]
$R_{cond,vidro}$	Resistência térmica por condução no vidro	[K/W]
R_{cond}	Resistência térmica por condução	[K/W]
$R_{conv,ext}$	Resistência térmica externa por convecção	[K/W]
$R_{conv,int}$	Resistência térmica interna por convecção	[K/W]
R_{conv}	Resistência térmica por convecção	[K/W]
R_{equiv}	Resistência térmica equivalente	[K/W]
$R_{paralelo,externa}$	Resistência térmica externa em paralelo	[K/W]
$R_{paralelo,interna}$	Resistência térmica interna em paralelo	[K/W]
$R_{rad,ext}$	Resistência térmica externa por radiação	[K/W]
$R_{rad,int}$	Resistência térmica interna por radiação	[K/W]

R_{rad}	Resistência térmica por radiação	[K/W]
T_{∞}	Temperatura ambiente	[K] ou [°C]
T_{disco}	Temperatura do disco absorvedor	[K] ou [°C]
$T_{vidro,int}$	Temperatura interna do vidro	[K]
$T_{vidro,ext}$	Temperatura externa do vidro	[K]
T_{viz}	Temperatura da vizinhança	[K]
q_{perdas}	Taxa de calor total perdida	[W]
$q_{rad,solar}$	Taxa de radiação solar incidente	[W]
ϵ_{ext}	Emissividade externa	[adimensional]
ϵ_{int}	Emissividade interna	[adimensional]
L	Espessura do vidro	[m]
Rad	Radiação solar	[W/m ²]
σ	Constante de Stefan-Boltzmann	[W/(m ² .K ⁴)]

1 | INTRODUÇÃO

A radiação solar incidente na Terra desempenha grande papel em muitas atividades como a agricultura (SANTOS, 2015), arquitetura e engenharia, sendo que o planejamento energético e o seu conhecimento são de suma importância para o desenvolvimento econômico e em pesquisas dessas atividades (MARTINS; PEREIRA; ECHER, 2004).

O radiômetro, também conhecido por piranômetro, é um dispositivo que mede a irradiação incidente em uma determinada superfície. O primeiro radiômetro foi desenvolvido em 1873 pelo químico inglês Sir William Crookes (RINO; STUDART, 2007; SOARES *et al.*, 2005) apresentando, desde então, um grande desenvolvimento tecnológico, com instrumentos mais eficazes, capazes de medir a radiação global, direta, refletida e também a radiação difusa (MAGARREIRO; FREITAS; BRITO, 2016; PEREIRA; MARTINS; GONÇALVES, 2017).

Diversos são os meios para a medição da irradiação, tais como o uso de termopilhas de filmes (ESCOBEDO *et al.*, 1997; SOUZA; ESCOBEDO, 1995), ou por medição direta utilizando fotodiodos ou sensores fotovoltaicos (BAJONS; WERNHART; ZEILER, 1998; ITO *et al.*, 2017). Outra técnica é o uso do princípio de que a irradiação sobre uma placa absorvedora está relacionada com a diferença de temperatura dessa placa com a vizinhança (AVALLONE *et al.*, 2016, 2018; GARCIA *et al.*, 2018; GOMES; FERREIRA; RUANO, 2011; PANSANATO *et al.*, 2018).

Nos trabalhos desenvolvidos por Avallone *et al.* (2016) e Avallone *et al.* (2018) são descritos os processos de construção, equacionamento do balanço térmico e calibração de um radiômetro térmico utilizando termopares do tipo “K” ligados em série utilizando um disco de alumínio enegrecido como superfície absorvedora do fluxo solar, apresentando um erro de 20,8 W/m² e coeficiente de correlação de 99%.

Baseados no mesmo dispositivo, Garcia *et al.* (2018) e Pansanato *et al.* (2018), ambos apresentados no congresso ENCIT, utilizaram os sensores de temperatura LM35 e

DS18B20, respectivamente. Segundo Martinazzo; Orlando (2016) a vantagem no uso do sensor DS18B20 em relação ao LM35 é o fato de não haver a necessidade de conversão do sinal analógico para o digital. Ressalta-se que o sensor LM35 não exige o uso de conversor analógico-digital, porém o seu uso é comumente utilizado, pois viabiliza o uso de cabos de maiores extensões.

A grande dificuldade na aquisição de radiômetros é o alto custo, variando entre US\$ 350,00 para os instrumentos fotovoltaicos e US\$ 2000,00 para os sensores térmicos, sendo que os térmicos apresentam a capacidade de captação do espectro total da radiação solar (BARTINIKOWSKY *et al.*, 2016; VILELA, 2010).

Utilizando como base estes estudos anteriores, este trabalho tem por objetivo construir e avaliar o funcionamento de um radiômetro solar, com o princípio da diferença de temperaturas, usando sensores digitais DS18B20 Dallas, que possuem um preço acessível, mantendo uma boa eficiência para aplicações que não demandam alta precisão.

2 | MATERIAL E MÉTODOS

Baseado nos estudos realizados por Avallone *et al.* (2016), Avallone (2017) e Avallone *et al.* (2018), o radiômetro proposto possui o diagrama esquemático apresentado na Figura 1.

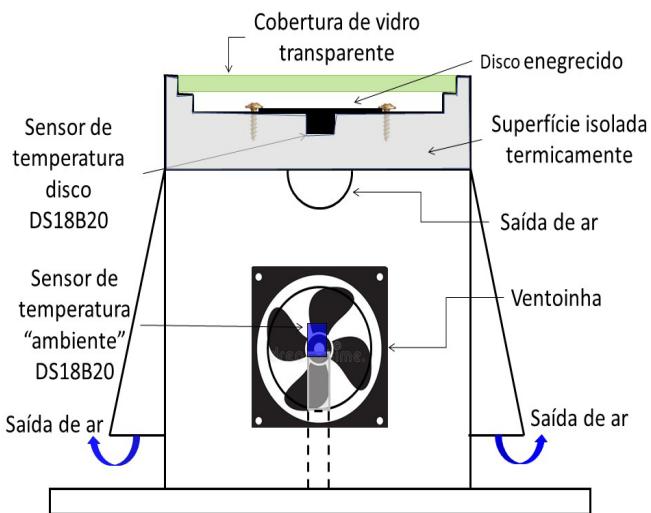


Figura 1. Diagrama esquemático do radiômetro, com os sensores Dallas e ventoinha instalados.

Para avaliar a radiação térmica incidente, representada pela superfície superior do instrumento (Figura 1), é indicado um balanço energético sobre o disco absorvedor.

A Figura 2 representa a superfície superior do instrumento e apresenta as taxas de calor as quais o disco absorvedor do radiômetro está sujeito. Considerando que o disco absorvedor é isotérmico, tem-se pela aplicação do balanço de energia que:

$$q_{rad,solar} = q_{perdas} \quad (1)$$

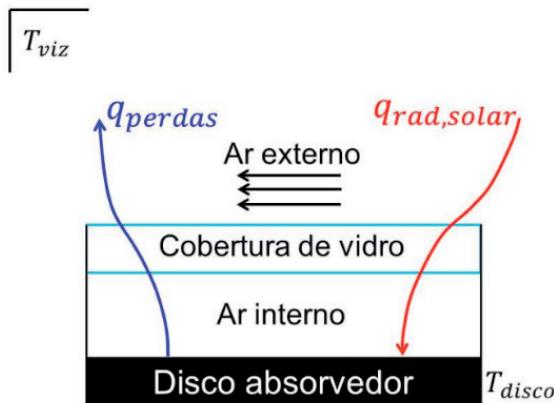


Figura 2. Balanço térmico no disco absorvedor.

Uma maneira comumente utilizada para analisar o balanço energético é por meio da analogia de circuito térmico, a qual considera que cada mecanismo de transferência de calor envolvido no processo de troca térmica configura uma resistência, resultando em uma diferença de temperaturas.

Analizando a Figura 2, são observadas as trocas térmicas de convecção entre o ar interno e as superfícies externa e interna do vidro, radiação entre a superfície externa do disco e a superfície interna do vidro, condução no vidro, convecção entre a superfície externa do vidro e o ar externo e finalizando, a radiação entre a superfície externa do vidro e a vizinhança. Considerando que a temperatura da vizinhança é igual à do ambiente, tem-se para o radiômetro o circuito térmico ilustrado na Figura 3.

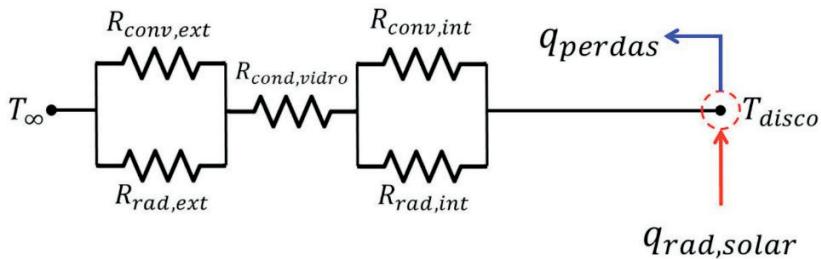


Figura 3. Circuito térmico do radiômetro.

Aplicando os conceitos de resistência térmica, tem-se que a radiação solar incidente sobre o radiômetro é calculada por:

$$q_{rad,solar} = \frac{T_{disco} - T_{\infty}}{R_{equiv}} \quad (2)$$

O valor da resistência equivalente é calculado conforme:

$$R_{equiv} = R_{paralelo,interna} + R_{cond,vidro} + R_{paralelo,externa} \quad (3)$$

A resistência térmica de condução é definida por:

$$R_{cond} = \frac{L}{K_{vidro} \cdot A_{vidro}} \quad (4)$$

Para o cálculo das resistências em paralelo são computadas a soma das resistências de radiação e convecção, ou seja:

$$R_{paralelo,interna} = \left(\frac{1}{R_{conv,int}} + \frac{1}{R_{rad,int}} \right)^{-1} \quad (5)$$

$$R_{paralelo,externa} = \left(\frac{1}{R_{conv,ext}} + \frac{1}{R_{rad,ext}} \right)^{-1} \quad (6)$$

As resistências térmicas de convecção e de radiação são definidas, respectivamente, por:

$$R_{conv} = \frac{1}{h_{ar} \cdot A_{vidro}} \quad (7)$$

$$R_{rad} = \frac{1}{h_{rad} \cdot A_{vidro}} \quad (8)$$

A resistência equivalente é calculada utilizando as Equações (3), (4), (5), (6), (7), (8) e o resultado da Equação (3) é substituído na Equação (2), calculando assim a taxa de radiação solar incidente sobre o radiômetro, tal como:

$$q_{rad,solar} = \frac{T_{disco} - T_{\infty}}{\frac{1}{A_{vidro}} \cdot \left[\left(h_{ar,int} + h_{rad,int} \right)^{-1} + \frac{L}{K_{vidro}} + \left(h_{ar,ext} + h_{rad,ext} \right)^{-1} \right]} \quad (9)$$

onde, os coeficientes de transferência de calor por radiação interna e externa são definidos como:

$$h_{rad,int} = \varepsilon_{int} \cdot \sigma \cdot (T_{disco} + T_{vidro,int}) \cdot (T_{disco}^2 + T_{vidro,int}^2) \quad (10)$$

$$h_{rad,ext} = \varepsilon_{ext} \cdot \sigma \cdot (T_{vidro,ext} + T_{\infty}) \cdot (T_{vidro,ext}^2 + T_{\infty}^2) \quad (11)$$

As emissividades foram definidas conforme Kalogirou (2004) e Avallone (2017), onde o disco de alumínio foi recoberto com tinta preta fosca, sendo este considerado como corpo cinza, conforme definição de Incropera *et al.* (2008).

O radiômetro foi construído utilizando inicialmente um software de desenho 3D para realizar o projeto técnico, como ilustrado na Figura 1. O dispositivo apresenta formato cônico para proteger o equipamento das intempéries. As cavidades de entrada e saída implementadas permitem a circulação do ar para o sensor de temperatura localizado internamente.

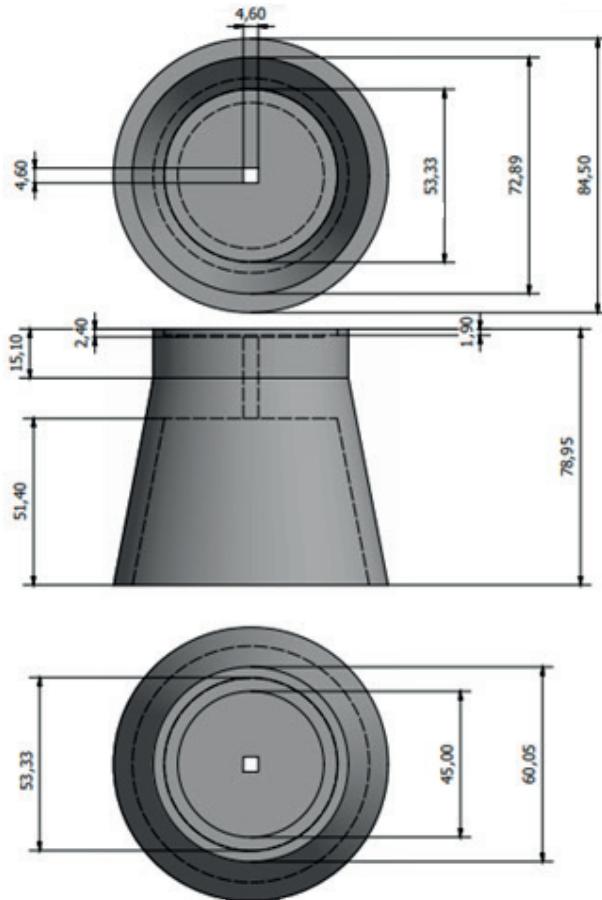


Figura 4. Desenho com todas as dimensões, em mm, do instrumento e projeções ortogonais.

Finalizada a fase de projeto, usinou-se o radiômetro em um torno mecânico, utilizando náilon (TECNIL) como material, conforme apresentado na Figura 5. Posteriormente, o dispositivo foi pintado com tinta branca brilhante, aumentando a sua refletividade, com o intuito de que a radiação solar seja absorvida apenas pelo disco de alumínio enegrecido.



Figura 5. Radiômetro em fase de usinagem no torno mecânico.

Após o processo de usinagem, foi posicionado na superfície superior do disposto um disco de alumínio enegrecido de 0,1 mm de espessura, coberto com tinta fosca térmica de alta absorvidade para potencializar a absorção da radiação incidente. Na superfície interna do disco, foi instalado em contato físico direto sob pressão um sensor de temperatura DS18B20 Dallas (MAXIM, 2012), responsável por medir a temperatura nesta superfície.

Com um espaçamento de 3,0 mm em relação ao disco, foi instalada uma cobertura de vidro plano transparente de 53,33 mm de diâmetro e 3,0 mm de espessura. Esta distância entre os componentes auxilia na redução das perdas por convecção natural no interior desta cavidade.

Na cavidade interna do instrumento, foi instalado outro sensor DS18B20, sendo este responsável por medir a temperatura ambiente. O ar ambiente externo é forçado por uma ventoinha do tipo *cooler*, estabilizando a temperatura no interior da cavidade inferior do radiômetro.

Um microcontrolador Arduino (2015) foi utilizado para monitorar as diferenças entre as temperaturas do disco e a ambiente. A unidade relógio do tipo RTC I2C (DS1307, 2016) registra a data e hora de cada medição, sendo que todos os dados de data, hora, temperaturas e fluxo de radiação solar [W/m^2] são gravados no cartão SD (BENCH, 2016), conforme apresentado na Figura 6 e podem ser posteriormente tratados em algum software

específico para manipulação. O uso dos sensores Dallas reduz para apenas três o número de fios, pelo seu funcionamento digital e endereçamento lógico.

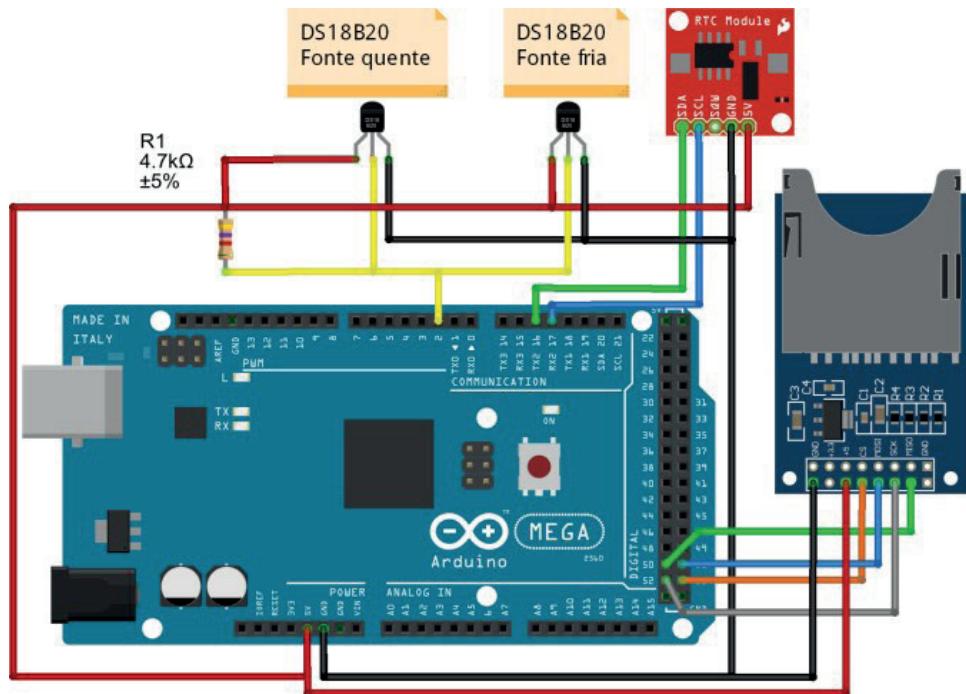


Figura 6. Conexões dos sensores DS18B20, clock RTC I₂C e módulo SD a um Arduino Mega.

Outra grande vantagem desse sensor é manter em um sistema compacto a medição e gravação de todos os dados capturados do fluxo de radiação, como um *datalogger*.

A Tabela 1 apresenta o formato de gravação dos dados no cartão SD.

Data	Hora	Temperatura do disco (T_{disco})	Temperatura ambiente (T_{∞})	Irradiação [W/m ²]
------	------	---	--	-----------------------------------

Tabela 1. Exemplo de apresentação dos dados gravados pelo cartão SD.

O dispositivo foi calibrado no IPMet-Instituto de Pesquisas Meteorológicas da UNESP Bauru utilizando um sensor de referência da marca Kipp & Zonen (2010) modelo CMP10. Este procedimento gerou uma curva de calibração, na qual o eixo das ordenadas representa o fluxo de radiação solar em [W/m²], e o eixo das abscissas os valores das diferenças de temperaturas entre T_{disco} e T_{∞} em [°C].

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

A calibração foi conduzida no IPMet-UNESP entre 06:00h e 18:00h e realizada por comparação segundo a norma ISO 9847 (2013), sendo que o período de maior intensidade solar e maior correlação entre as informações foi entre 09:30h e 15:55h. As Figura 7 (a) e (b) apresentam a curva de calibração e o funcionamento do sensor, respectivamente, comparado ao radiômetro do IPMet, com alcance espectral de 200 a 3600 nm e erro direcional menor que $5,0 \text{ W/m}^2$.

O radiômetro proposto foi montado em uma estrutura próxima ao sensor de referência garantindo que ambos fossem expostos ao mesmo nível de radiação solar.

A Figura 7 (a) apresenta os pontos esparsos usados para a calibração do radiômetro e a Figura 7(b) a curva de comportamento dos dois sensores.

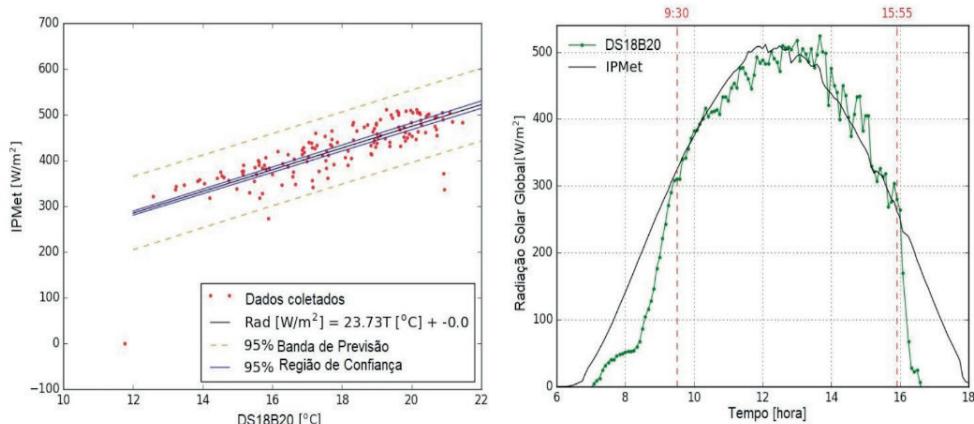


Figura 7. (a) Curva de calibração parcial; (b) curva de comportamento.

A relação para o cálculo do fluxo térmico no radiômetro é determinada a partir de uma regressão linear aplicando-se os dados experimentais, resultando em:

$$Rad \text{ [W/m}^2\text{]} = 23,73 \cdot T \text{ [°C]} \quad (12)$$

A Equação (12) é implementada na programação do Arduino, onde o valor de $T \text{ [°C]}$ representa a diferença entre as temperaturas quente e ambiente, ou seja:

$$T \text{ [°C]} = T_q - T_{\infty} \quad (13)$$

No início do dia, das 07:00h às 09:30h, o disco de alumínio ainda não entrou em regime térmico, por isso há uma diferença entre os valores de radiação solar entre o sensor de referência e o dispositivo. A partir das 15:55h, o disco de alumínio passa a perder calor para o ambiente, o que provoca uma diferença entre as medições.

No intervalo das 09:30h às 15:55h ocorre o melhor aproveitamento do equipamento,

coincidindo com o período de maior intensidade solar.

4 | CONCLUSÕES

O radiômetro proposto apresenta boa concordância com o sensor de referência com índice de confiança de 95%, provando ser uma boa alternativa para a medição da radiação solar. No nascer do sol, até às 09:30h, há um pequeno *delay* entre o sensor Kipp & Zonen (2010) e o radiômetro proposto, onde o disco enegrecido ainda não se encontra em regime térmico. A partir das 15:55h até o pôr do sol, o disco de alumínio passa a perder calor para o ambiente, o que provoca uma diferença entre as medições. Ainda que apresentados pequenos atrasos na leitura, o dispositivo proposto proporciona boa correlação com o sensor de referência. O principal atrativo é o custo aproximado de US\$ 70,00 (setenta dólares), em relação a um radiômetro térmico comercial, que tem um valor aproximado de US\$ 2000,00 (dois mil dólares).

AGRADECIMENTOS

Ao IPMet – Instituto de Pesquisas Meteorológicas da UNESP-Bauru pela disposição em ajudar na calibração do sensor, a Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”-UNESP/FEB e ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo-Câmpus Catanduva-SP pelo incentivo constante.

REFERÊNCIAS

ARDUINO. Arduino MEGA. 2015. Disponível em: <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardMega2560>.

AVALLONE, E. **Estudo de um coletor solar, tipo tubo evacuado modificado, utilizando um concentrador cilíndrico parabólico (CPC)**. 2017. PhD Thesis – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - UNESP/FEB, Brazil, 2017. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/152135>.

AVALLONE, E.; MIORALLI, P. C.; SCALON, V. L.; PADILHA, A. Thermal pyranometer using the arduino platform for data acquisition. In: CPOTE 2016 - 4TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON CONTEMPORARY PROBLEMS OF THERMAL ENGINEERING, 1., 16/10 2016. **Contemporary Problems of Thermal Engineering** [...]. Katowice - Polônia: Politechnika Ślaska - ITC, 16/10 2016. v. 1, p. 303–311.

AVALLONE, E.; MIORALLI, P. C.; SCALON, V. L.; PADILHA, A.; OLIVEIRA, S. del R. Thermal Pyranometer Using the Open Hardware Arduino Platform. **International Journal of Thermodynamics**, v. 21, n. 1, p. 1–5, 1 mar. 2018. <https://doi.org/10.5541/ijot.5000209000>.

BAJONS, P.; WERNHART, U.; ZEILER, H. A sensor element for direct radiation measurement. **Solar Energy**, v. 63, n. 2, p. 125–134, ago. 1998. [https://doi.org/10.1016/S0038-092X\(98\)00038-3](https://doi.org/10.1016/S0038-092X(98)00038-3).

BARTINIKOWSKY, J. M.; YUCCIOLINO, M. M.; FONTOURA, L.; BECK, E. Desenvolvimento de um radiômetro solar de baixo custo. **Instituto Federal de Santa Catarina**, v. 1, n. 1, p. 1–9, 2016. .

BENCH, H. Arduino LC Studio SD Card Tutorial. 11 fev. 2016. **Arduino Low Cost SD Card**. Disponível em: <http://henrysbench.capnfatz.com/henrys-bench/arduino-output-devices/arduino-lc-studio-sd-card-tutorial/>. Acesso em: 1 dez. 2018.

ESCOBEDO, J. F.; FRISINA, V. A.; CHAVES, M. A.; OLIVEIRA, A. P. Radiômetros solares com termopilhas de filmes finos - II Desempenho. **Revista Brasileira de Aplicações de Vácuo**, v. 16, n. 1, 1997. .

GARCIA, R. P.; AVALLONE, E.; PANSANATO, C.; GONÇALVES, G. B.; ITO, M. C.; SCALON, V. L. Thermal radiometer using LM35 analog sensors, connecting to an Arduino Board. In: 17TH BRAZILIAN CONGRESS OF THERMAL SCIENCES AND ENGINEERING, 1., 2018. **Proceedings of ENCIT 2018** [...]. Águas de Lindóia - SP: ABCM, 2018. v. 1, p. 1–8.

GOMES, J. M.; FERREIRA, P. M.; RUANO, A. E. Implementation of an intelligent sensor for measurement and prediction of solar radiation and atmospheric temperature. In: INTELLIGENT SIGNAL PROCESSING (WISP), 2011 IEEE 7TH INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON, 21/09 2011. **Sensors Journal, IEEE** [...]. Floriana - Malta: [s. n.], 21/09 2011. p. 1–6. <https://doi.org/10.1109/WISP.2011.6051713>.

INCROPERA, F. P.; DEWIT, D. P.; BERGMAN, T. I.; LAVINE, A. S. **Fundamentos de transferência de calor e massa**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC - Livros técnicos e científicos Editora Ltda, 2008. v. 1, .

ISO 9847. **Solar Energy — Calibration of field pyranometer by comparison to a reference pyranometer. ICS 27.160**. [S. l.: s. n.], maio 2013. Disponível em: www.bis.org.in.

ITO, M. C.; SCALON, V. L.; AVALLONE, E.; PANSANATO, C. Development of a low cost pyranometer for solar radiation measurements. In: COBEM, 1., 2017. **24th ABCM International Congress of Mechanical Engineering** [...]. Curitiba-PR - Brazil: ABCM, 2017. v. 1, .

KALOGIROU, S. A. Solar thermal collectors and applications. **Progress in Energy and Combustion Science**, v. 30, n. 3, p. 231–295, 2004. <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2004.02.001>.

KIPP & ZONEN. Pyranometers for the Accurate Measurement of Solar Irradiance. 2010. Disponível em: https://www.kippzonen.com/Product/15/CMP10-Pyranometer#.YIwK5aFv_IU.

MAGARREIRO, C.; FREITAS, S.; BRITO, M. C. Radiação e energia solar. **Para os físicos e amigos da física**, v. 39, n. 1/2, p. 57–59, 2016. .

MARTINAZZO, C. A.; ORLANDO, T. Comparação entre três tipos de sensores de temperatura em associação com Arduino. **Perspectiva Erechim**, v. 40, n. 151, p. 93–104, set. 2016. .

MARTINS, F. R.; PEREIRA, E. B.; ECHER, M. P. de S. Solar energy resources assessment using geostationary satellites in Brazil: Swera Project. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 26, n. 2, p. 145–159, 2004. .

MAXIM. DS 1307 - Data sheet. 2015. Disponível em: www.maxim-ic.com.

MAXIM. DS18B20 Dallas Semiconductor. 2012. Disponível em: www.maximintegrated.com.

PANSANATO, C.; GONÇALVES, G. B.; ITO, M. C.; SCALON, V. L.; AVALLONE, E.; GARCIA, R. P. Low cost thermal pyranometer using Dallas DS18B20 sensor and Arduino. In: 17TH BRAZILINAN CONGRESS OF THERMAL SCIENCES AND ENGINEERING, 1–8., 2018. **Proceedings of ENCIT 2018** [...]. Águas de Lindóia - SP: ABCM, 2018. v. 1–8, .

PEREIRA, É. B.; MARTINS, F. R.; GONÇALVES, A. R. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. São José dos Campos - SP: INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2017. Disponível em: http://ftp.ctepc.inpe.br/labren/publ/livros/Atlas_Brasileiro_Energia_Solar_2a_Edicao.pdf.

RINO, J. P.; STUDART, N. O enigma do moinho de luz. **Física na Escola**, v. 8, n. 1, p. 22–24, 2007. .

SANTOS, N. T. **Avaliação de piranômetros em condições de campo e estimativa do balanço de radiação em área de gramínea com grau de cobertura variável**. 2015. 97 f. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas-Bahia-BA, 2015. Disponível em: <https://www1.ufrb.edu.br/pgea/images/Teses/NARA-TOSTA-SANTOS.pdf>.

SOARES, W. P. G.; LUNAZZI, J. J.; DA SILVA, D.; COTTA, M. A. **Radiômetro de Crookes II**. Instrumentação para ensino, n. F808. Campinas-SP - Brasil: Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP, nov. 2005. Disponível em: https://www.ifi.unicamp.br/~lunazzi/F530_F590_F690_F809_F895/F809/F809_sem2_2005/WagnerP_Dirceu_RF1.pdf.

SOUZA, J. L.; ESCOBEDO, J. F. Construção de um saldo radiômetro com termopilha de filme fino e avaliação de sua performance. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 10, n. 1/2, p. 29–36, 1995. .

VILELA, W. A. **Estudo, desenvolvimento e caracterização de radiômetros para medição da radiação solar**. 2010. 177 f. Tese de Doutorado – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, São José dos Campos - SP, 2010. Disponível em: <http://mtc-m16d.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m19/2010/09.17.18.50/doc/publicacao.pdf>.

ÍNDICE REMISSIVO

A

- Aços 10, 38, 39, 40, 46
- Algoritmo Genético 11, 109, 111, 112, 174
- Arduino 11, 79, 80, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 172, 175, 190, 192

C

- Campo de temperatura 92, 93
- CitationID 112, 116
- Citationitems 168
- Confiabilidade 10, 20, 21, 22, 27, 28, 29, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 79
- Controle Adaptativo 165
- Convecção Forçada 92, 93

E

- Elementos Finitos 10, 1, 2, 6, 21, 38, 39, 45, 46, 47, 48, 50, 55, 128, 129, 131, 137
- Energia renovável 67
- Energia Solar 67, 79, 90, 91
- EPI's 193, 196, 198
- Escoamento bifásico 12, 138, 139, 140, 148
- Escoamento Turbulento 92, 93
- Estacionamento Autônomo 181

F

- Fadiga 10, 21, 38, 39, 40, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 125
- Fluido-Estrutura 57, 124
- Fração de vazio 12, 138, 139, 140, 142, 145, 146, 147, 148, 149
- Frequência 6, 9, 10, 12, 14, 15, 16, 21, 26, 48, 49, 52, 116, 125, 133, 135, 140, 142, 143, 145, 146
- Função de transferência 9, 12, 14, 15

G

- Graus de liberdade 9, 11, 23

I

- Impressão 3D 193, 196
- Instrumentação 80, 91, 144, 190

L

Lógica Fuzzy 165

M

Manipulador Flexível 1, 2

Manipulador Paralelo 10, 1, 2, 3, 6

Matriz 128, 129, 130, 131, 135, 166, 170, 187, 199, 200, 201, 203, 205

Modelo Multicorpos 1, 2, 6

N

Nusselt 92, 93, 99, 100, 101, 102, 103, 106

O

Otimização 9, 10, 11, 20, 21, 22, 25, 26, 28, 29, 30, 31, 32, 35, 36, 48, 49, 55, 109, 110, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 118, 119, 120, 121, 170, 175, 177, 192

P

PET 193, 194, 195, 198

Piranômetro 80, 81

Projeto mecatrônico 181

Protótipos 39, 165, 167, 172, 177

R

Radiação térmica 80, 82

Radiômetro 11, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 88, 89, 90, 91

Redes Neurais Artificiais 164, 165, 166, 168

S

Seleção 109, 111, 112, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 170, 171, 176, 185

Sensor capacitivo 12, 138, 140, 145

Simulação 9, 2, 3, 6, 17, 20, 25, 28, 35, 38, 40, 43, 44, 45, 46, 135, 167, 169

Sistemas Computacionais Inteligentes 12, 164, 168

Sistemas Dinâmicos 12, 124, 164, 167

Sistemas Térmicos 109, 111

Stress 199

Suspensão 10, 9, 10, 11, 13, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 29, 30, 31, 32, 33, 35, 36, 184

T

Tensão 2, 3, 42, 43, 44, 45, 142, 144, 145, 146, 147, 148, 187, 199, 200, 201, 203, 204

Tumor 199, 200, 201, 202, 203, 204, 205

V

Vibração 1, 2, 5, 9, 10, 13, 16, 17, 20, 21, 26, 50, 133

Violão 10, 48, 49, 50, 51, 54

COLEÇÃO

DESAFIOS

DAS

ENGENHARIAS:

ENGENHARIA MECÂNICA



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

COLEÇÃO

DESAFIOS

DAS

ENGENHARIAS:

ENGENHARIA MECÂNICA

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