

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

<b>Editora chefe</b>	
Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira	
<b>Assistentes editoriais</b>	
Natalia Oliveira	
Flávia Roberta Barão	
<b>Bibliotecária</b>	
Janaina Ramos	
<b>Projeto gráfico</b>	
Natália Sandrini de Azevedo	
Camila Alves de Cremo	
Luiza Alves Batista	
Maria Alice Pinheiro	2021 by Atena Editora
<b>Imagens da capa</b>	Copyright © Atena Editora
iStock	Copyright do Texto © 2021 Os autores
<b>Edição de arte</b>	Copyright da Edição © 2021 Atena Editora
Luiza Alves Batista	Direitos para esta edição cedidos à Atena
<b>Revisão</b>	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<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> 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<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> 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<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> 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<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins  
Prof. Dr. Luis Ricardo Fernandes da Costa – Universidade Estadual de Montes Claros  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Pontifícia Universidade Católica de Campinas  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> 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<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> 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<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> 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<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Carla Cristina Bauermann Brasil – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> 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<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> 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<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará  
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> 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<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Daniela Reis Joaquim de Freitas – Universidade Federal do Piauí  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> 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<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Elizabeth Cordeiro Fernandes – Faculdade Integrada Medicina  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Eysler Gonçalves Maia Brasil – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira  
Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Fernanda Miguel de Andrade – Universidade Federal de Pernambuco  
Prof. Dr. Fernando Mendes – Instituto Politécnico de Coimbra – Escola Superior de Saúde de Coimbra  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> 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<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> 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<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. Marcus Fernando da Silva Praxedes – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Maria Tatiane Gonçalves Sá – Universidade do Estado do Pará  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> 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<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Regiane Luz Carvalho – Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Vanessa da Fontoura Custódio Monteiro – Universidade do Vale do Sapucaí  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> 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<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie  
Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> 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<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> 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](http://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

<b>CAPÍTULO 1.....</b>	<b>1</b>
MODELAGEM DE UM MANIPULADOR PARALELO 3RRR PARA INCLUSÃO DE ELOS FLEXÍVEIS	
André Vecchione Segura	
Fernanda Thaís Colombo	
Máira Martins da Silva	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.5902121071">https://doi.org/10.22533/at.ed.5902121071</a>	
<b>CAPÍTULO 2.....</b>	<b>9</b>
MODELAGEM NUMÉRICA DE SUSPENSÃO DE ¼ DE VEÍCULO	
Lucas Alves Torres	
Lucas Messias Cunha de Araújo	
João Gabriel Paulino de Souza	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.5902121072">https://doi.org/10.22533/at.ed.5902121072</a>	
<b>CAPÍTULO 3.....</b>	<b>20</b>
OTIMIZAÇÃO PARAMÉTRICA DA SUSPENSÃO DE UM CAMINHÃO COM RESTRIÇÃO DE CONFIABILIDADE	
José Gilberto Picoral Filho	
Ewerton Grotti	
Herbert Martins Gomes	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.5902121073">https://doi.org/10.22533/at.ed.5902121073</a>	
<b>CAPÍTULO 4.....</b>	<b>38</b>
ANÁLISE DE FADIGA PARA OS AÇOS ABNT 1045 E ABNT 4140 PELO MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS	
Brenda Martins Fernandes	
Reny Angela Renzetti	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.5902121074">https://doi.org/10.22533/at.ed.5902121074</a>	
<b>CAPÍTULO 5.....</b>	<b>48</b>
ANÁLISE PARAMÉTRICA DAS FREQUÊNCIAS DOMINANTES DE UM VIOLÃO ACÚSTICO	
Marco Túlio Santana Alves	
Felipe Iglesias	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.5902121075">https://doi.org/10.22533/at.ed.5902121075</a>	
<b>CAPÍTULO 6.....</b>	<b>56</b>
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	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.5902121076">https://doi.org/10.22533/at.ed.5902121076</a>	

**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 ORGANIZADORES .....206**

**ÍNDICE REMISSIVO.....207**

# CAPÍTULO 15

## ROBÔ AUTÔNOMO PARA ESTACIONAMENTO

Data de aceite: 01/07/2021

Data de submissão: 05/05/2021

### **Lucas Netto Luzente de Almeida**

DEM, Escola Politécnica, Universidade Federal  
do Rio de Janeiro  
Rio de Janeiro - RJ

<http://lattes.cnpq.br/1275622675074026>

### **Grazielle Barreto da Costa Almeida**

DEM, Escola Politécnica, Universidade Federal  
do Rio de Janeiro  
Rio de Janeiro - RJ

<http://lattes.cnpq.br/7012386344180542>

### **Heitor Gomes de Souza Batista**

DEM, Escola Politécnica, Universidade Federal  
do Rio de Janeiro  
Rio de Janeiro - RJ

<http://lattes.cnpq.br/7165817263822509>

### **Armando Carlos de Pina Filho**

PEU, Escola Politécnica, Universidade Federal  
do Rio de Janeiro  
Rio de Janeiro - RJ

<http://lattes.cnpq.br/4389013951914878>

**RESUMO:** Observa-se atualmente uma grande demanda e utilização de tecnologias, como certos robôs, que otimizem o tempo e que tenham baixo custo na realização de tarefas domésticas. Contudo, essa demanda por tecnologias que potencializem a eficiência nas atividades não é apenas do meio doméstico, mas também do espaço urbano. Apesar de

haver uma necessidade nas cidades de técnicas e equipamentos que facilitem o funcionamento de várias tarefas na esfera urbana, o que se vê é que este emprego ainda é incipiente. Um dos problemas que se constata no meio urbano é a disposição e gerenciamento de vagas de estacionamento em aeroportos, supermercados e shoppings. Muitos destes lugares possuem um espaço que é subaproveitado ou organizado de forma ineficaz, tomando muito tempo do motorista. Considerando este défice, a presente pesquisa visa propor uma possível solução para esta questão, que seria um sistema autônomo integrado usando robótica. A pesquisa trará as etapas que envolveram a produção de um robô capaz de identificar vagas e estacionar veículos pessoais, em um ambiente controlado, de forma autônoma. Para tanto, iremos analisar os parâmetros que caracterizam uma situação geral de estacionamento (peso e dimensões médias de um carro popular) e, a partir desses dados, dimensionar um robô apropriado. O produto final deverá ser capaz de carregar e descarregar um veículo, além de realizar qualquer outra atividade envolvida no processo, como seguir o trajeto determinado ou identificar possíveis obstáculos em seu curso, de forma autônoma.

**PALAVRAS - CHAVE:** Automação urbana, Estacionamento autônomo, Projeto mecatrônico.

### **AUTONOMOUS ROBOT FOR PARKING SYSTEM**

**ABSTRACT:** There is currently a great demand and use of technologies, as some robots, that optimize time and have a low cost in carrying out

domestic tasks. However, this demand for technologies that enhance efficiency in activities is not only for the domestic environment, but also for urban space. Although there is a need in the cities for techniques and equipment that facilitate the operation of various tasks in the urban sphere, what is seen is that this job is still incipient. One of the problems found in urban areas is the provision and management of parking spaces at airports, supermarkets and shopping malls. Many of these places have a space that is underutilized or ineffectively organized, taking a lot of time from the driver. In view of this deficit, the present research aims to propose a possible solution to this question, which would be an integrated autonomous system with a robotic front. The research will bring the steps that involved the production of a robot capable of identifying spaces and parking personal vehicles, in a controlled environment, autonomously. For that, we will analyze the parameters that characterize a general parking situation (average weight and dimensions of a popular car) and, based on this data, design an appropriate robot. The final product must be able to load and unload a vehicle, in addition to carrying out any other activity involved in the process, such as following the determined path or identifying possible obstacles in its course, autonomously.

**KEYWORDS:** Urban automation, Autonomous parking, Mechatronic design.

## 1 | INTRODUÇÃO

A observação do meio urbano contemporâneo permite a identificação de dois problemas: o controle do tráfego de veículos e a inerente falta de espaço disponível. As questões vinculadas ao trânsito são motivo de várias pesquisas que buscam entender o espaço urbano. Castro *et al.* (2016) afirmam que o crescimento da frota de veículos no país nos últimos tempos, principalmente a partir da abertura de mercado na década de 1990, vem causando problemas como longos congestionamentos e falta de espaço destinado a estacionamento. Devido a este último, motoristas de cidades brasileiras enfrentam dificuldades para encontrar vagas em áreas de alta concentração de veículos, como centros comerciais e universidades.

A essa questão somam-se também os danos ao meio ambiente, com um aumento da emissão de CO<sub>2</sub> por motos e carros, além do estresse que o trânsito vem causando nas pessoas (BARBOSA, 2017). A melhoria neste quadro se faz necessária ainda por questões de mercado, uma vez que os principais centros administrativos e financeiros se encontram em regiões urbanas, e a combinação desses problemas pode resultar em uma queda de eficiência e, consequentemente, se mostrar como um entrave para o tão almejado crescimento econômico.

Assim, pensar em formas de minimizar os problemas causados por estes fatores é de extrema relevância, e a ideia de integrar robótica ao problema e desenvolver um sistema autônomo para o transporte e armazenamento de veículos pessoais, ou simplesmente um robô autônomo para estacionamento, se mostra como uma inovação.

Logo, a proposta é criar um robô que suspenda o automóvel de forma a retirá-lo do chão e transportá-lo para uma vaga disponível. O projeto pode ser dividido em três

principais partes: Sistema de Elevação e Retenção; Sistema de Locomoção; e o Sistema Eletrônico e de Controle.

## 2 | SISTEMA DE ELEVAÇÃO E RETENÇÃO

O sistema de elevação fará uso de um sistema hidráulico (Figura 1), devido ao seu tamanho relativamente compacto e a força necessária a ser realizada.

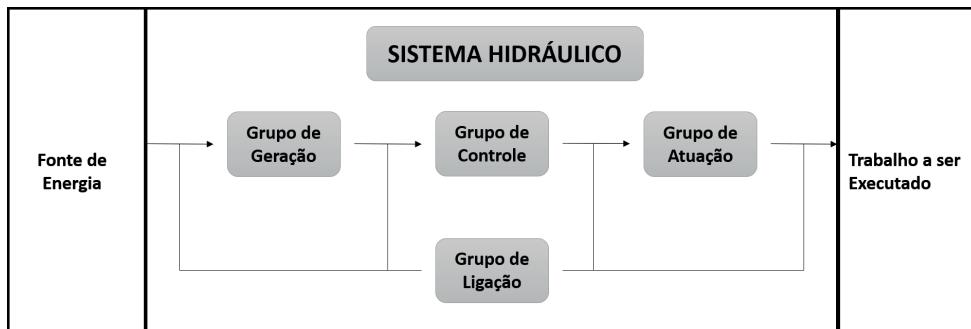


Figura 1 - Sistema Hidráulico. Fonte: Autoria própria.

Ao trabalhar essa questão, Peixoto (2014) afirma que a conversão de energia em um sistema hidráulico é realizada por meio de bombas hidráulicas, sendo a energia transmitida para os atuadores, onde então é convertida em energia mecânica para a produção de trabalho útil.

O trabalho útil no caso deste projeto é a elevação do carro. A fim de gerar a pressurização necessária no fluido, o sistema deverá conter uma bomba hidráulica, e para controlar e direcionar tal pressão e chegar à potência hidráulica ideal, uma válvula de controle se faz fundamental. Para transformar a potência hidráulica em mecânica e fazer com que o trabalho seja realizado um atuador é essencial.

Para alcançar tal objetivo contar-se-á também com mais dois grupos de atuadores hidráulicos lineares. Um será responsável por estender a rampa de carga do robô, possibilitando uma adaptação a diferentes tamanhos de veículos. Já o outro grupo, fará a elevação de um pequeno conjunto de rodas na parte traseira do veículo, com o objetivo de ter mais um ponto de apoio para a carroceria e equilibrar o sistema. A retenção do veículo será feita através de quatro pares de garras acionados por um sistema hidráulico até sua posição de travamento, no local onde se localizam as rodas.

### 2.1 Condições de Projeto

Por meio do levantamento acerca dos tipos de veículos urbanos mais usuais, conclui-se que o peso máximo é em média de 4 toneladas. Foi feita uma pesquisa de mercado, e apesar de terem sido encontrados diversos macacos hidráulicos com

capacidade de erguer um veículo de 4 toneladas, foram identificados certos problemas com a altura dos equipamentos. Logo, se faz necessário o desenvolvimento de um sistema de suspensão hidráulico próprio, que atenda as especificidades da tecnologia proposta. Serão desenvolvidos dois macacos com capacidade de duas toneladas cada, que terão por função erguer uma plataforma de metal na qual o carro estará estacionado.

## 2.2 Atuador Hidráulico

Lopes (1997) afirma que em aplicações práticas, considera-se que o suprimento de fluido pressurizado tem sua pressão mantida constante, apesar de variações de carga ou vazamentos na linha. Portanto os elementos principais de sistemas de controle hidráulico são a servo válvula e o pistão atuador, que formam o conjunto atuador hidráulico.

Para o presente projeto optou-se por um atuador de dupla ação. A partir da força de compressão, é possível determinar a pressão necessária para atuar no sistema. A força total necessária é dada por:

$$F_{TOTAL} = m \times g = 4000 \text{kg} \times \frac{9,81 \text{m}}{\text{s}^2} = 39,240 \text{kN} \quad (1)$$

A força necessária em cada ponto de atuação seria metade desse valor, ou seja, 19,62 kN. Considerando o diâmetro do êmbolo igual 110 mm (0,11 m), a pressão será dada pela seguinte equação:

$$P = \frac{F_i}{\pi \times d^2 / 4} = \frac{19620 \text{N}}{\pi \times 0,11^2 / 4} = 2064542,14 \text{ bar} \quad (2)$$

Onde: P é a Pressão do Fluido [bar], F é a Força no êmbolo [N] e d é Diâmetro do êmbolo [m]. Foi definido um curso de apenas 5 cm para o pistão, altura suficiente para elevar o veículo do solo ao mesmo tempo que se economiza espaço no tamanho do pistão.

Quanto ao diâmetro mínimo da haste do atuador, para evitar possíveis transtornos, pode-se utilizar o critério de Euler para deformação por flambagem. Logo, o diâmetro da haste pode ser expresso por:

$$dh = \sqrt[4]{\frac{64 \times S \times \lambda^2 \times F_a}{\pi^3 \times E}} = \sqrt[4]{\frac{64 \times 3,5 \times 2L^2 \times 19620}{\pi^3 \times 2,1 \cdot 10^7}} \simeq 0,9 \text{ cm} \quad (3)$$

Onde: dh é o Diâmetro da Haste (cm), S é o Coeficiente de segurança, E é o Módulo de Elasticidade do Material, Fa é a Força Axial e λ é o Comprimento livre de flambagem. Quanto à velocidade de avanço e retorno do cilindro hidráulico, pode ser determinada a partir da seguinte relação:

$$V_{a/r} = \frac{D}{\Delta t_a \text{ ou } \Delta t_r} = \frac{0,02 \text{m}}{5 \text{s}} = 0,004 \text{m/s} \quad (4)$$

Onde: D é o Deslocamento do Pistão (0,02 m),  $\Delta t_a$  a Variação do tempo no avanço e  $\Delta t_r$  a Variação do tempo no retorno (ambos iguais 5 s). Por fim, determina-se a vazão de avanço ( $Q_a$ ), que é a vazão necessária para que o cilindro, ao distender-se, atinja a velocidade de avanço ( $V_a$ ):

$$Q_a = V_a \cdot A_p = V_a \cdot \frac{\pi \cdot D_p^2}{4} = 3,8 \cdot 10^{-5} m^3/s \quad (5)$$

Onde:  $A_p$  é a Área do pistão e  $D_p$  o diâmetro do pistão. A vazão de retorno ( $Q_r$ ) é a vazão necessária para que o cilindro, ao retornar à posição inicial, atinja a velocidade de retorno ( $V_r$ ):

$$Q_r = V_r \cdot A_c = V_r \cdot \frac{\pi \cdot (D_p^2 - dh^2)}{4} = 3,79 \cdot 10^{-5} m^3/s \quad (6)$$

Onde:  $D_p$  é o diâmetro do pistão e  $dh$  o diâmetro da haste.

### 2.3 Válvula de Controle Direcional

Uma válvula de controle é aquela que permite controlar a vazão de uma tubulação, e isto ocorre geralmente através de uma obstrução na sua trajetória. As válvulas podem ter inúmeras vias que são as entradas de óleo e também apresentam direções, que representam o número de posições que a válvula pode apresentar, o que irá determinar a direção que o fluido irá percorrer (PARK *et al.*, 2019).

O atuador de dupla ação escolhido para o desenvolvimento do projeto irá exigir uma válvula de 4 vias, que fornece o controle do fluxo em cada entrada do cilindro. A válvula irá operar em três posições: duas das posições tem a capacidade para controlar somente o avanço e o retorno do cilindro, enquanto uma terceira serve para poder controlar o cilindro em posição de sustentação. Portanto, a válvula selecionada é do tipo 4 vias x 3 posições.

### 2.4 Bomba Hidráulica

Bombas são máquinas hidráulicas operatrizes, isto é, máquinas que recebem energia potencial (força motriz de um motor ou turbina), e transformam parte desta potência em energia cinética (movimento) e energia de pressão (força), cedendo estas duas energias ao fluido bombeado, de forma a fazer ele recircular ou transportá-lo de um ponto a outro.

Na seleção da bomba se faz necessário observar alguns pontos, tais como a faixa de pressão exigida, a faixa de rotação esperada, a temperatura operacional mínima e máxima, a situação de instalação (tubulação etc.), o tipo de acionamento (acoplamento, motor etc.), a vida útil esperada, facilidade de manutenção e assistência, eventualmente preço máximo pretendido etc. Para o cálculo das variáveis da bomba, as seguintes relações são válidas, para Volume de absorção ( $V_g$ )[cm<sup>3</sup>/rotação], Torque absorvido ( $M_t$ )[N.m], e Potência absorvida (Pot)[kW]:

$$V_g = \frac{1000xQb}{nx\eta v}; M_t = \frac{Qbx\Delta p}{nx\eta mh}; Pot = \frac{Qbx\Delta p}{600x\eta t} \quad (7)$$

Onde: Qb é a Vazão da bomba [l/min], n a Rotação, nv o Rendimento volumétrico,  $\Delta p$  a perda de carga [bar], nmh o Rendimento mecânico hidráulico, e o Rendimento total.

## 2.5 Pares de Garras

Como anteriormente mencionado, as rodas do veículo serão retidas através de quatro pares de garras, cada um dos pares destinado para cada roda. Essas garras são armazenadas no interior da carroceria do robô. Quando um veículo se posicionar corretamente acima do robô, motores de servo irão rotacionar cada garra em 90 graus, fazendo com que elas saiam da carroceria e entrem em contato com as rodas. A Figura 2 mostra a vista superior do robô antes e depois das garras serem acionadas.

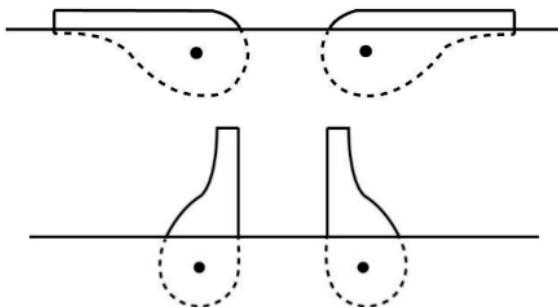


Figura 2. Garras do robô antes e depois de serem acionadas.

Fonte: Autoria própria.

## 3 I SISTEMA DE LOCOMOÇÃO

Esta seção visa definir os detalhes do sistema de locomoção do robô. Para tanto, é importante uma análise dos seguintes aspectos: superfície onde o robô irá operar, o número de rodas e os motores responsáveis por esse movimento. Também é importante considerar as possíveis manobras que o robô terá que fazer durante seu percurso e o equilíbrio do veículo sobre sua carroceria.

### 3.1 Superfície

Por se tratar de um robô seguidor de linha, a superfície é algo importante a se considerar. Como a proposta prevê o uso em ambientes controlados de estacionamentos, superfícies uniformes e adequadas podem ser esperadas, como piso cerâmico emborrachado ou de concreto, previamente preparados com as faixas que orientam um seguidor de linha.

Na Figura 3 pode-se observar os corredores principais na vertical, enquanto na horizontal tem-se os corredores das vagas, onde cada interseção com os traços mais finos verticais representariam a delimitação de uma vaga. As vagas do fundo são sempre ocupadas antes, visando melhor uso do espaço sem comprometer a velocidade de estacionar e entregar o veículo.

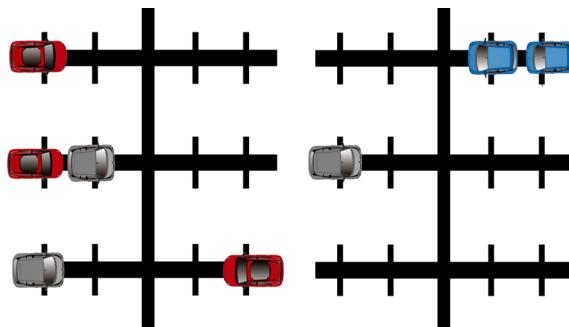


Figura 3. Exemplo de Matriz de Vagas e preenchimento.

Fonte: Autoria própria.

### 3.2 Forças e Torque

Para escolha do motor é preciso determinar o torque necessário para a locomoção do robô. Por meio da análise de um gráfico específico para cada motor, que relaciona torque e rpm com tensão de operação, corrente de stall, dentre outros aspectos, será possível fazer essa escolha.

É necessário encontrar o peso resultante da estrutura a fim de determinar a carga aplicada em cada roda. A Figura 4 ilustra as forças aplicadas no robô em uma situação estática.

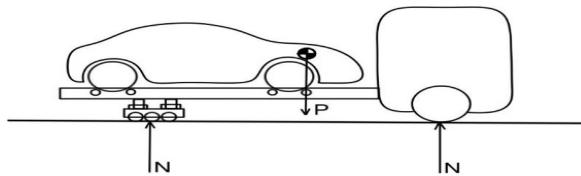


Figura 4. Esquema de forças aplicadas no robô.

Fonte: Autoria própria.

Por equilíbrio estático, tem-se que:  $P = mg = ZN$ , onde  $N$  são as forças normais à superfície. Considerando a massa ( $m$ ) igual a 4500 Kg (veículo + estrutura do robô) e aceleração da gravidade ( $g$ ) 9,81 m/s<sup>2</sup>, o peso será igual a 44145 N.

O torque exercido nas rodas motrizes tem que ser maior do que o torque gerado pela força de atrito estático. Sendo o coeficiente de atrito estático ( $\mu$ ) 0,8, tem-se que a força de atrito estático é dada por:

$$F_{at} = N \times \mu = 44145 \times 0,8 = 35316 \text{ N} \quad (8)$$

Considerando duas rodas motrizes, o valor da força de atrito total deverá ser dividido entre estas, ou seja, 17658 N, e o diâmetro da roda ( $d$ ) 0,15 m, tem-se que o torque é:

$$T = F_{at} / 2 \times d/2 = 17658 \times 0,075 = 1324 \text{ N.m} \quad (9)$$

### 3.3 Escolha do Motor

Conhecendo o torque necessário para se movimentar, pode-se determinar os outros parâmetros, como a rotação e a corrente, variáveis fundamentais para definir a redução e o driver no qual o motor estará ligado (PAIXÃO, 2009). É recomendado utilizar um motor que alcance um torque acima do calculado, com o intuito de garantir que o robô consiga de fato se locomover. Como tais parâmetros dependem do fabricante, não foi escolhido um motor específico, uma vez que inúmeros se adequariam ao projeto, desde que atendessem às especificações requeridas.

## 4 | SISTEMA ELETRÔNICO E DE CONTROLE

A escolha de um sistema eletrônico adequado para que se cumpram as tarefas estabelecidas ao robô está condicionada ao sistema de controle selecionado. Para tanto, esse tópico tem por objetivo apresentar a lógica de deslocamento e de execução de tarefas do robô, bem como a escolha dos componentes eletrônicos e a programação básica que melhor se adaptam a tal plano.

### 4.1 Lógica de Deslocamento

Para estacionar e devolver os carros, o robô deve ser capaz de identificar seu objeto, o carro, e seu destino, que é a área demarcada (a vaga ou o local de recolhimento/entrega do veículo). Uma vez identificados, deve se posicionar, acionar o atuador da rampa para projetá-la sob o veículo, travar as rodas e elevá-lo. Uma vez carregado, deve ainda mover-se até uma vaga livre e fazer o processo de descarga, inverso ao de carregamento. Finalmente, o autômato deve ser capaz de retornar ao ponto de início do percurso, para que assim esteja preparado para transportar ou recuperar outro veículo. O robô irá se deslocar na forma de “seguidor de linha”, um padrão de locomoção simples e muito eficaz em ambiente controlado.

Possuindo o mapa do estacionamento programado e diferentes padrões de comportamento das linhas, é possível o robô se guiar de forma confiável e ainda localizar o local exato de uma vaga, podendo assim estacionar o carro com segurança, iniciando uma sequência de ações pré-determinadas e baseadas nas medidas do estacionamento, já consideradas na programação, e nos dados recebidos por uma central, informando o local e disponibilidade das vagas. Na Figura 5 é apresentada a lógica de funcionamento do robô.

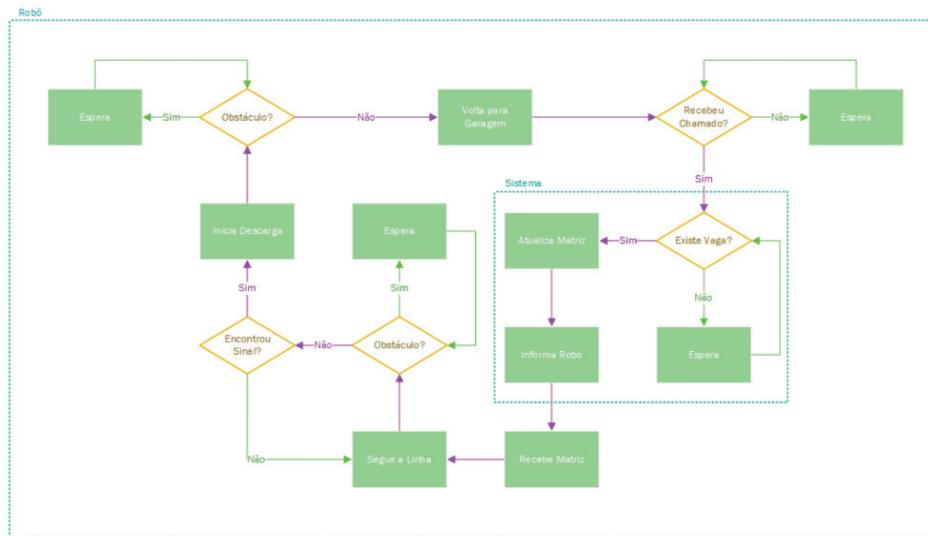


Figura 5. Fluxograma das operações do Robô.

Fonte: Autoria própria.

Ao receber um chamado de coleta e estacionamento de um veículo, o robô requererá do sistema as informações pertinentes à existência e localização da vaga e iniciará o processo de percorrer a linha até o local de coleta. Uma vez já munido com o veículo, retornará para a linha e seguirá até o espaço designado, checando sempre pelo sinal programado (sequência de linhas perpendiculares a linha principal). Uma vez localizado o sinal, descarregará o veículo, voltará para garagem e irá aguardar o próximo chamado.

É interessante ressaltar que o robô tem como recurso de segurança a função de checagem de possíveis obstáculos no caminho (utilizando um sensor ultrassônico), além do comando de aguardar a liberação do caminho, em todos os casos que houver tal necessidade decorrente de algum tipo de obstrução.

Para localização de vagas disponíveis, o estacionamento seria traduzido em uma lista composta de “tuplas”, onde cada tupla refere-se a uma vaga e segue o formato: “DISPONIBILIDADE; LINHA\_PRIMARIA; LINHA\_SECUNDARIA”. Ou seja, o primeiro valor informa se a vaga está disponível, o segundo informa o corredor que o robô deve entrar, e

o terceiro informa qual ramificação desse corredor há vagâncias de lugar. Esse sistema pode ser expandido para quantas ramificações forem convenientes.

## 4.2 Sensores

Ao se locomover, o robô precisa lidar com as situações adversas do ambiente no qual operará e para tanto necessita captar informações do meio, processá-las e então executar ou não uma tarefa. A captação dessas informações fica a cargo dos sensores e para isso existe uma ampla gama, visando atender as mais específicas funções.

Para o presente projeto, alguns tipos de sensores se mostram mais eficazes como os do tipo ultrassônico e infravermelho, utilizados para a orientação do robô, e o sensor tátil, que tem grande utilidade na parte de travamento das rodas, onde o retorno desse sensor indicaria um contato da trava com a roda, acionando a rotina de travamento.

O sensor ultrassônico será usado para detecção de obstáculos, enquanto o sensor infravermelho será aplicado no sistema seguidor de linhas. Sabendo que a distância do sensor ao chão é fixa e que existe uma diferença de absorção de luz entre o preto e o branco, é possível identificar se o robô está sobre a linha, ao receber o retorno equivalente ao da cor preta, ou fora dela, com o retorno equivalente da cor branca, e assim realizar as correções necessárias para manter o robô no caminho certo. Ademais, através de uma sequência de brancos e pretos, é possível indicar posições ao robô, como por exemplo, o local de uma vaga.

## 4.3 Arduino

Em um produto final, a ser comercializado, o ideal é o desenvolvimento de uma placa proprietária que atenda melhor às necessidades do projeto, todavia, não sendo esse o foco atual, o Arduino será utilizado.

Souza *et al.* (2011) afirmam que a placa Arduino é baseada num microcontrolador muito versátil, que potencializa suas funções para além de uma simples interface passiva de aquisição de dados, podendo operar sozinha no controle de vários dispositivos e tendo assim aplicações em instrumentação embarcada e robótica. Todo o projeto eletrônico, incluindo a plataforma para o desenvolvimento dos programas de controle é de acesso público e gratuito.

Esta plataforma eletrônica se mostra bastante flexível e não requer um domínio profundo de eletrônica. Além disso, software, bibliotecas e hardware são *open-source*, ou seja, podem ser reproduzidos e usados sem a necessidade de pagamento de direitos autorais.

A placa Arduino, neste projeto, tem a função do “cérebro” do robô, sendo responsável por receber os dados dos sensores, processá-los, tomar decisões e enviar informações para executá-las.

O Arduino possui o que comumente se chama de Shields, que são placas que se

acoplam à placa original, agregando outras funcionalidades. Essa flexibilidade de funções foi um fator decisivo na escolha da plataforma para o projeto, junto com a acessibilidade a esses componentes e o preço.

#### 4.4 Programação

Tendo em mente que o robô precisa se manter dentro dos limites de uma trajetória pré-definida (isto é, ele deve respeitar o percurso em linha), o código principal deverá analisar as informações obtidas pelos sensores infravermelho e ultrassônico e a partir deles acionar os motores e, caso necessário, fazer correções de velocidade para se manter seguindo a linha.

A lógica de programação pode ser simplificada da seguinte maneira: os dois sensores IR, localizados na parte inferior da carroceria do robô, determinam a posição relativa dos lados esquerdo e direito do robô, em relação à linha no chão que serve como trajetória. Os sensores então transmitem essas informações para serem utilizadas pelo programa, que poderá tomar 3 decisões. Se ambos os sensores conseguirem detectar a linha, o programa fará os motores de cada roda se manterem numa velocidade constante, pois neste caso não é necessário fazer correções no percurso. Se somente o detector esquerdo for capaz de detectar a linha, o programa fará o robô realizar uma curva para a esquerda, aumentando a velocidade do motor da roda direita e reduzindo a velocidade do motor da roda esquerda. Por fim, se somente o sensor direito detectar a linha, o mesmo raciocínio será aplicado, sendo que neste caso aumentar-se-ia a velocidade do motor esquerdo e diminuir-se-ia a velocidade do motor direito.

Além dos dois sensores centrais, um par extra de sensores na extremidade servirá para detectar cruzamento e o sinal de alerta para uma vaga. Esses sensores laterais, quando o robô segue uma linha reta e sem avisos, se localizam fora da linha, dando apenas um retorno de branco, mas podem ser usados para detectar linhas transversais à linha principal e, assim, alertar o robô de um possível cruzamento ou do local exato de uma vaga.

O programa também está preparado para fazer com que o robô retorne para o estado em inércia. Através de sensores ultrassônicos nas partes dianteira e traseira da carroceria, o programa é capaz de detectar uma parede, indicando o final do percurso e assim podendo descarregar o veículo.

### 5 | CONCLUSÃO

Considerando a intenção de criar soluções para o problema de trânsito em centros urbanos, bem como a capacidade de operar em espaços reduzidos e de forma eficiente, pode-se dizer que o objetivo do projeto foi alcançado.

O robô proposto consegue transportar um veículo do ponto de partida até o de chegada, sem problemas e sem a necessidade de um operador humano fiscalizando o

serviço. Porém, o projeto pode evoluir utilizando-se de uma central que coordene diversos robôs do modelo proposto, possibilitando a realização de manobras mais complexas de forma eficiente.

Portanto, como consideração final, o projeto foi bem sucedido, mas ainda possui muito potencial para ser explorado em uma segunda etapa de desenvolvimento.

## AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Universidade Federal do Rio de Janeiro, por meio de seu Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC-UFRJ).

## REFERÊNCIAS

BARBOSA, L. L. **Trânsito como espaço social: personalidades e comportamentos**. Psicologia.pt, O portal dos psicólogos, 2017. Disponível em: <https://www.psicologia.pt/artigos/textos/A1185.pdf>. Acesso em: abr. 2021.

CASTRO, R. C., PEDROSA, S. M., ONETY, R. **Otimização de Vagas de Estacionamento: Um estudo de caso em uma instituição pública de ensino superior**. In: XXXVI Encontro Nacional de Engenharia de Produção, João Pessoa - PB, Brasil, outubro de 2016.

LOPES, L. G. **Controle a Estrutura Variável Aplicado a um Atuador Hidráulico**. Dissertação (Mestrado), Programa de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis - SC, 1997.

PAIXÃO, J. P. **Controle de velocidade de motores elétricos**. Monografia (Especialização), Departamento Acadêmico de Eletrônica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba - PR, 2009.

PARK, K., CHANG, M., JEON, D. **Precise Flowrate Control of Fluid Gear Pumps in Automated Painting Systems Using a Repetitive Controller**. Department of Mechanical Engineering, Sogang University, Coréia do Sul, 2019.

PEIXOTO, E. **Dimensionamento de um sistema hidráulico para uma mesa elevadora**. Projeto Final (Engenharia Mecânica), Faculdade Horizontina, Horizontina - RS, 2014.

SOUZA, A. R., UZÉDA, A. C., DIAS, D. D., DUARTE, S., AMORIM, H. S. **A placa Arduino: uma opção de baixo custo para experiências de física assistidas pelo PC**. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 33, n. 1, 2011.

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

COLEÇÃO

# DESAFIOS

DAS

# ENGENHARIAS:

## ENGENHARIA MECÂNICA

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