

**Atena**  
Editora  
Ano 2021

# ENGENHARIA ELÉTRICA: O MUNDO SOB PERSPECTIVAS AVANÇADAS

João Dallamuta  
Henrique Ajuz Holzmann  
(Organizadores)



**Atena**  
Editora  
Ano 2021

# ENGENHARIA ELÉTRICA: O MUNDO SOB PERSPECTIVAS AVANÇADAS

João Dallamuta  
Henrique Ajuz Holzmann  
(Organizadores)



**Editora Chefe**

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Assistentes Editoriais**

Natalia Oliveira

Bruno Oliveira

Flávia Roberta Barão

**Bibliotecária**

Janaina Ramos

**Projeto Gráfico e Diagramação**

Natália Sandrini de Azevedo

Camila Alves de Cremo

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

**Imagens da Capa**

Shutterstock

**Edição de Arte**

Luiza Alves Batista

**Revisão**

Os Autores

2021 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2021 Os autores

Copyright da Edição © 2021 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

**Conselho Editorial**

**Ciências Humanas e Sociais Aplicadas**

Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná

Prof. Dr. Américo Junior Nunes da Silva – Universidade do Estado da Bahia

Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior – Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais

Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília

Prof. Dr. Carlos Antonio de Souza Moraes – Universidade Federal Fluminense  
Prof. Dr. Crisóstomo Lima do Nascimento – Universidade Federal Fluminense  
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa  
Prof. Dr. Daniel Richard Sant’Ana – Universidade de Brasília  
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia  
Profª Drª Dilma Antunes Silva – Universidade Federal de São Paulo  
Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá  
Prof. Dr. Elson Ferreira Costa – Universidade do Estado do Pará  
Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima  
Prof. Dr. Gustavo Henrique Cepolini Ferreira – Universidade Estadual de Montes Claros  
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionale delle Figlie de Maria Ausiliatrice  
Prof. Dr. Jadson Correia de Oliveira – Universidade Católica do Salvador  
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense  
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins  
Prof. Dr. Luis Ricardo Fernandes da Costa – Universidade Estadual de Montes Claros  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Pontifícia Universidade Católica de Campinas  
Profª Drª Maria Luzia da Silva Santana – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Pablo Ricardo de Lima Falcão – Universidade de Pernambuco  
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador  
Prof. Dr. Saulo Cerqueira de Aguiar Soares – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Vanessa Ribeiro Simon Cavalcanti – Universidade Católica do Salvador  
Prof. Dr. William Cleber Domingues Silva – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

#### **Ciências Agrárias e Multidisciplinar**

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano  
Prof. Dr. Arinaldo Pereira da Silva – Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará  
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás  
Profª Drª Carla Cristina Bauermann Brasil – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados  
Profª Drª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia  
Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa  
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Fágner Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará  
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof. Dr. Jael Soares Batista – Universidade Federal Rural do Semi-Árido  
Prof. Dr. Jayme Augusto Peres – Universidade Estadual do Centro-Oeste  
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Profª Drª Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará  
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa  
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Profª Drª Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido  
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

### **Ciências Biológicas e da Saúde**

Prof. Dr. André Ribeiro da Silva – Universidade de Brasília  
Profª Drª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás  
Profª Drª Daniela Reis Joaquim de Freitas – Universidade Federal do Piauí  
Profª Drª Débora Luana Ribeiro Pessoa – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Douglas Siqueira de Almeida Chaves – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri  
Profª Drª Elizabeth Cordeiro Fernandes – Faculdade Integrada Medicina  
Profª Drª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília  
Profª Drª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina  
Profª Drª Eysler Gonçalves Maia Brasil – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira  
Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Profª Drª Fernanda Miguel de Andrade – Universidade Federal de Pernambuco  
Prof. Dr. Fernando Mendes – Instituto Politécnico de Coimbra – Escola Superior de Saúde de Coimbra  
Profª Drª Gabriela Vieira do Amaral – Universidade de Vassouras  
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. Helio Franklin Rodrigues de Almeida – Universidade Federal de Rondônia  
Profª Drª Iara Lúcia Tescarollo – Universidade São Francisco  
Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. Jefferson Thiago Souza – Universidade Estadual do Ceará  
Prof. Dr. Jesus Rodrigues Lemos – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Dr. Jônatas de França Barros – Universidade Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Prof. Dr. Luís Paulo Souza e Souza – Universidade Federal do Amazonas  
Profª Drª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. Marcus Fernando da Silva Praxedes – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Profª Drª Maria Tatiane Gonçalves Sá – Universidade do Estado do Pará  
Profª Drª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federacl do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá  
Prof. Dr. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados  
Profª Drª Regiane Luz Carvalho – Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino  
Profª Drª Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora  
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Welma Emidio da Silva – Universidade Federal Rural de Pernambuco

### **Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto  
Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie  
Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás  
Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás  
Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará  
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho  
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande

Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá  
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora  
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Sidney Gonçalves de Lima – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

#### **Linguística, Letras e Artes**

Profª Drª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins  
Profª Drª Angeli Rose do Nascimento – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro  
Profª Drª Carolina Fernandes da Silva Mandaji – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Profª Drª Denise Rocha – Universidade Federal do Ceará  
Profª Drª Edna Alencar da Silva Rivera – Instituto Federal de São Paulo  
Profª Drª Fernanda Tonelli – Instituto Federal de São Paulo,  
Prof. Dr. Fabiano Tadeu Grazioli – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões  
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Profª Drª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná  
Profª Drª Miraniide Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará  
Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste  
Profª Drª Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia

#### **Conselho Técnico Científico**

Prof. Me. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo  
Prof. Me. Adalberto Zorzo – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza  
Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba  
Prof. Dr. Adilson Tadeu Basquerote Silva – Universidade para o Desenvolvimento do Alto Vale do Itajaí  
Profª Ma. Adriana Regina Vettorazzi Schmitt – Instituto Federal de Santa Catarina  
Prof. Dr. Alex Luis dos Santos – Universidade Federal de Minas Gerais  
Prof. Me. Alexsandro Teixeira Ribeiro – Centro Universitário Internacional  
Profª Ma. Aline Ferreira Antunes – Universidade Federal de Goiás  
Profª Drª Amanda Vasconcelos Guimarães – Universidade Federal de Lavras  
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão  
Profª Ma. Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa  
Profª Drª Andrezza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico  
Profª Drª Andrezza Miguel da Silva – Faculdade da Amazônia  
Profª Ma. Anelisa Mota Gregoleti – Universidade Estadual de Maringá  
Profª Ma. Anne Karynne da Silva Barbosa – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Antonio Hot Pereira de Faria – Polícia Militar de Minas Gerais  
Prof. Me. Armando Dias Duarte – Universidade Federal de Pernambuco  
Profª Ma. Bianca Camargo Martins – UniCesumar  
Profª Ma. Carolina Shimomura Nanya – Universidade Federal de São Carlos  
Prof. Me. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Me. Carlos Augusto Zilli – Instituto Federal de Santa Catarina  
Prof. Me. Christopher Smith Bignardi Neves – Universidade Federal do Paraná  
Profª Drª Cláudia de Araújo Marques – Faculdade de Música do Espírito Santo  
Profª Drª Cláudia Taís Siqueira Cagliari – Centro Universitário Dinâmica das Cataratas  
Prof. Me. Clécio Danilo Dias da Silva – Universidade Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Me. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará  
Profª Ma. Daniela da Silva Rodrigues – Universidade de Brasília  
Profª Ma. Daniela Remião de Macedo – Universidade de Lisboa

Profª Ma. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco  
Prof. Me. Douglas Santos Mezacas – Universidade Estadual de Goiás  
Prof. Me. Edevaldo de Castro Monteiro – Embrapa Agrobiologia  
Prof. Me. Edson Ribeiro de Britto de Almeida Junior – Universidade Estadual de Maringá  
Prof. Me. Eduardo Gomes de Oliveira – Faculdades Unificadas Doctum de Cataguases  
Prof. Me. Eduardo Henrique Ferreira – Faculdade Pitágoras de Londrina  
Prof. Dr. Edwaldo Costa – Marinha do Brasil  
Prof. Me. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita  
Prof. Me. Ernane Rosa Martins – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás  
Prof. Me. Euvaldo de Sousa Costa Junior – Prefeitura Municipal de São João do Piauí  
Prof. Dr. Everaldo dos Santos Mendes – Instituto Edith Theresa Hedwing Stein  
Prof. Me. Ezequiel Martins Ferreira – Universidade Federal de Goiás  
Profª Ma. Fabiana Coelho Couto Rocha Corrêa – Centro Universitário Estácio Juiz de Fora  
Prof. Me. Fabiano Eloy Atilio Batista – Universidade Federal de Viçosa  
Prof. Me. Felipe da Costa Negrão – Universidade Federal do Amazonas  
Prof. Me. Francisco Odécio Sales – Instituto Federal do Ceará  
Prof. Me. Francisco Sérgio Lopes Vasconcelos Filho – Universidade Federal do Cariri  
Profª Drª Germana Ponce de Leon Ramírez – Centro Universitário Adventista de São Paulo  
Prof. Me. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária  
Prof. Me. Givanildo de Oliveira Santos – Secretaria da Educação de Goiás  
Prof. Dr. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Me. Gustavo Krahl – Universidade do Oeste de Santa Catarina  
Prof. Me. Helton Rangel Coutinho Junior – Tribunal de Justiça do Estado do Rio de Janeiro  
Profª Ma. Isabelle Cerqueira Sousa – Universidade de Fortaleza  
Profª Ma. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia  
Prof. Me. Javier Antonio Albornoz – University of Miami and Miami Dade College  
Prof. Me. Jhonatan da Silva Lima – Universidade Federal do Pará  
Prof. Dr. José Carlos da Silva Mendes – Instituto de Psicologia Cognitiva, Desenvolvimento Humano e Social  
Prof. Me. Jose Elyton Batista dos Santos – Universidade Federal de Sergipe  
Prof. Me. José Luiz Leonardo de Araujo Pimenta – Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria Uruguay  
Prof. Me. José Messias Ribeiro Júnior – Instituto Federal de Educação Tecnológica de Pernambuco  
Profª Drª Juliana Santana de Curcio – Universidade Federal de Goiás  
Profª Ma. Juliana Thaisa Rodrigues Pacheco – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Kamilly Souza do Vale – Núcleo de Pesquisas Fenomenológicas/UFGA  
Prof. Dr. Kárpio Márcio de Siqueira – Universidade do Estado da Bahia  
Profª Drª Karina de Araújo Dias – Prefeitura Municipal de Florianópolis  
Prof. Dr. Lázaro Castro Silva Nascimento – Laboratório de Fenomenología & Subjetividade/UFPR  
Prof. Me. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Ma. Lilian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará  
Profª Ma. Lilian de Souza – Faculdade de Tecnologia de Itu  
Profª Ma. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ  
Profª Drª Lúvia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás  
Prof. Dr. Lucio Marques Vieira Souza – Secretaria de Estado da Educação, do Esporte e da Cultura de Sergipe  
Prof. Dr. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual do Paraná  
Profª Ma. Luana Ferreira dos Santos – Universidade Estadual de Santa Cruz  
Profª Ma. Luana Vieira Toledo – Universidade Federal de Viçosa  
Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados  
Prof. Me. Luiz Renato da Silva Rocha – Faculdade de Música do Espírito Santo  
Profª Ma. Luma Sarai de Oliveira – Universidade Estadual de Campinas  
Prof. Dr. Michel da Costa – Universidade Metropolitana de Santos

Prof. Me. Marcelo da Fonseca Ferreira da Silva – Governo do Estado do Espírito Santo  
Prof. Dr. Marcelo Máximo Purificação – Fundação Integrada Municipal de Ensino Superior  
Prof. Me. Marcos Aurelio Alves e Silva – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo  
Profª Ma. Maria Elanny Damasceno Silva – Universidade Federal do Ceará  
Profª Ma. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri  
Prof. Dr. Pedro Henrique Abreu Moura – Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais  
Prof. Me. Pedro Panhoca da Silva – Universidade Presbiteriana Mackenzie  
Profª Drª Poliana Arruda Fajardo – Universidade Federal de São Carlos  
Prof. Me. Rafael Cunha Ferro – Universidade Anhembi Morumbi  
Prof. Me. Ricardo Sérgio da Silva – Universidade Federal de Pernambuco  
Prof. Me. Renan Monteiro do Nascimento – Universidade de Brasília  
Prof. Me. Renato Faria da Gama – Instituto Gama – Medicina Personalizada e Integrativa  
Profª Ma. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal  
Prof. Me. Robson Lucas Soares da Silva – Universidade Federal da Paraíba  
Prof. Me. Sebastião André Barbosa Junior – Universidade Federal Rural de Pernambuco  
Profª Ma. Silene Ribeiro Miranda Barbosa – Consultoria Brasileira de Ensino, Pesquisa e Extensão  
Profª Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo  
Profª Ma. Taiane Aparecida Ribeiro Nepomoceno – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Faculdade Regional Jaguaribana  
Profª Ma. Thatianny Jasmine Castro Martins de Carvalho – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Me. Tiago Silvio Dedoné – Colégio ECEL Positivo  
Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista



## Engenharia elétrica: o mundo sob perspectivas avançadas

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

### Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

E57 Engenharia elétrica: o mundo sob perspectivas avançadas / Organizadores João Dallamuta, Henrique Ajuz Holzmann. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2021.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5983-013-8

DOI 10.22533/at.ed.138211305

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

CDD 621.3

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](mailto:contato@atenaeditora.com.br)

## DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa.

## APRESENTAÇÃO

A engenharia elétrica tornou-se uma profissão há cerca de 130 anos, com o início da distribuição de eletricidade em caráter comercial e com a difusão acelerada do telégrafo em escala global no final do século XIX.

Na primeira metade do século XX a difusão da telefonia e da radiodifusão além do crescimento vigoroso dos sistemas elétricos de produção, transmissão e distribuição de eletricidade, deu os contornos definitivos para a carreira de engenheiro eletricista que na segunda metade do século, com a difusão dos semicondutores e da computação gerou variações de ênfase de formação como engenheiros eletrônicos, de telecomunicações, de controle e automação ou de computação.

Não há padrões de desempenho em engenharia elétrica que sejam duradouros. Desde que Gordon E. Moore fez a sua clássica profecia tecnológica, em meados dos anos 60, a qual o número de transistores em um chip dobraria a cada 18 meses - padrão este válido até hoje – muita coisa mudou. Permanece porém a certeza de que não há tecnologia na neste campo do conhecimento que não possa ser substituída a qualquer momento por uma nova, oriunda de pesquisa científica nesta área.

Produzir conhecimento em engenharia elétrica é, portanto, atuar em fronteiras de padrões e técnicas de engenharia. Algo desafiador para pesquisadores e engenheiros.

Neste livro temos uma diversidade de temas nas áreas níveis de profundidade e abordagens de pesquisa, envolvendo aspectos técnicos e científicos. Aos autores e editores, agradecemos pela confiança e espírito de parceria.

Boa leitura!

João Dallamuta  
Henrique Ajuz Holzmann

## SUMÁRIO

### **CAPÍTULO 1..... 1**

#### **FUSÃO DE SENSORES INERCIAIS BASEADA EM FILTRO DE KALMAN**

Carolina Barbosa Amaro Dias

**DOI 10.22533/at.ed.1382113051**

### **CAPÍTULO 2..... 14**

#### **TRANSIÇÃO ENERGÉTICA DO SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO: PRINCIPAIS DESAFIOS E OPORTUNIDADES**

Laura Vieira Maia de Sousa

Paula Meyer Soares

**DOI 10.22533/at.ed.1382113052**

### **CAPÍTULO 3..... 30**

#### **EFICIÊNCIA ENERGÉTICA, PESQUISA E DESENVOLVIMENTO E GERAÇÃO FOTOVOLTAICA NA UFAC (UNIVERSIDADE FEDERAL DO ACRE)**

Pedro Henrique Melo Costa

Thiago Melo de Lima

Antonio Carlos Alves de Farias

Rennard de Oliveira Brito

**DOI 10.22533/at.ed.1382113053**

### **CAPÍTULO 4..... 44**

#### **ANÁLISE DOS ASPECTOS SAZONAIS DA NEBULOSIDADE NO PROJETO DE INSTALAÇÕES FOTOVOLTAICAS FIXAS EM BRASÍLIA/DF**

Licinius Dimitri Sá de Alcantara

Mayara Soares Campos

**DOI 10.22533/at.ed.1382113054**

### **CAPÍTULO 5..... 57**

#### **TÉCNICA PREDITIVA DE SEGUIMENTO DO PONTO DE POTÊNCIA MÁXIMA GLOBAL DE ARRANJOS FV EM SOMBREAMENTO PARCIAL**

Paulo Robson Melo Costa

Lucas Taylan Ponte Medeiros

Isaac Rocha Machado

Marcus Rogério de Castro

**DOI 10.22533/at.ed.1382113055**

### **CAPÍTULO 6..... 76**

#### **ANÁLISE DE TOPOLOGIAS EM TRAÇADOR DE CURVA I-V APLICADOS EM MÓDULOS FOTOVOLTAICOS**

Ana Lyvia Pereira Lima de Araújo

Arthur Vinicius dos Santos Lopes

Adson Bezerra Moreira

**DOI 10.22533/at.ed.1382113056**

<b>CAPÍTULO 7</b> .....	<b>94</b>
<b>METODOLOGIA PARA GERENCIAMENTO E MANEJO DE CARGA APLICADA A CONSUMIDORES RESIDENCIAIS COM GERAÇÃO DISTRIBUÍDA</b>	
Andrei da Cunha Lima	
Laura Lisiane Callai dos Santos	
<b>DOI 10.22533/at.ed.1382113057</b>	
<b>CAPÍTULO 8</b> .....	<b>113</b>
<b>ESTUDO DO SISTEMA DE CONVERSÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA DE ÚNICO ESTÁGIO COM CONEXÃO DIRETA AO SISTEMA ELÉTRICO TRIFÁSICO</b>	
Lucas Taylan Ponte Medeiros	
Paulo Robson Melo de Costa	
Ângelo Marcilio Marques dos Santos	
Leonardo Pires de Sousa Silva	
Denisia de Vasconcelos Mota	
Adson B. Moreira	
<b>DOI 10.22533/at.ed.1382113058</b>	
<b>CAPÍTULO 9</b> .....	<b>129</b>
<b>ESTUDO PARA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA ATRAVÉS DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS</b>	
André Favetta	
Daniel Augusto Pagi Ferreira	
Maurício José Bordon	
<b>DOI 10.22533/at.ed.1382113059</b>	
<b>CAPÍTULO 10</b> .....	<b>142</b>
<b>ESTUDO DAS CAUSAS DE SNAIL TRAILS EM MÓDULOS FOTOVOLTAICOS DE SILÍCIO CRISTALINO: REVISÃO.</b>	
Neolmar de Matos Filho	
Dênio Alves Cassini	
Túlio Pinheiro Duarte	
Antônia Sônia Alves Cardoso Diniz	
<b>DOI 10.22533/at.ed.13821130510</b>	
<b>CAPÍTULO 11</b> .....	<b>156</b>
<b>THE IMPACT OF THE FREQUENCY DEPENDENCE OF SOIL ELECTRICAL PARAMETERS ON LIGHTNING OVERVOLTAGES DEVELOPED IN A 138 KV TRANSMISSION LINE</b>	
Felipe Mendes de Vasconcellos	
Fernando Augusto Moreira	
Rafael Silva Alípio	
<b>DOI 10.22533/at.ed.13821130511</b>	
<b>CAPÍTULO 12</b> .....	<b>170</b>
<b>A INFLUÊNCIA DO EFEITO DEPENDENTE DA FREQUÊNCIA DOS PARÂMETROS ELÉTRICOS DO SOLO SOBRE O DESEMPENHO DE LINHAS DE TRANSMISSÃO FRENTE A DESCARGAS ATMOSFÉRICAS</b>	
Felipe Mendes de Vasconcellos	

Fernando Augusto Moreira

Rafael Silva Alípio

**DOI 10.22533/at.ed.13821130512**

**CAPÍTULO 13..... 189**

**AVALIAÇÃO DO EFEITO DEPENDENTE DA FREQUÊNCIA DOS PARÂMETROS DO SOLO NA RESPOSTA IMPULSIVA DO ATERRAMENTO E NAS SOBRETENSÕES DE ORIGEM ATMOSFÉRICA EM LINHAS DE TRANSMISSÃO**

Felipe Mendes de Vasconcellos

Fernando Augusto Moreira

Rafael Silva Alípio

**DOI 10.22533/at.ed.13821130513**

**CAPÍTULO 14..... 207**

**CONVERSORES E INVERSORES PARA ACIONAMENTO E CONTROLE DE UM VEÍCULO ELÉTRICO HÍBRIDO**

Moisés de Mattos Dias

Niklaus Veit Lauxen

Marco Antônio Fröhlich

Claudionor Atílio Vingert

Giuseppe Guilherme Mergener Vingert

Luiz Carlos Gertz

Alessandro Sarmiento dos Santos

José Lesina Cezar

Patrice Monteiro de Aquim

Jonathan Moling

Gabriel Mateus Neumann

Nickolas Augusto Both

Monir Goethel Borba

Lirio Schaeffer

**DOI 10.22533/at.ed.13821130514**

**CAPÍTULO 15..... 221**

**ESTUDO DA TECNOLOGIA DE FRENAGEM REGENERATIVA E SEU IMPACTO NA AUTONOMIA DE VEÍCULOS ELÉTRICOS ALIMENTADOS POR BATERIAS**

Gabriel Silva de Marchi Benedito

Daniel Augusto Pagi Ferreira

**DOI 10.22533/at.ed.13821130515**

**CAPÍTULO 16..... 238**

**PATH PLANNING COLLISION AVOIDANCE USING REINFORCEMENT LEARNING**

Josias Guimarães Batista

Emerson Verar Aragão Dias

Felipe José de Sousa Vasconcelos

Kaio Martins Ramos

Darielson Araújo de Souza

José Leonardo Nunes da Silva

**DOI 10.22533/at.ed.13821130516**

<b>CAPÍTULO 17</b> .....	<b>252</b>
<b>CONTROLE DE PRECISÃO PARA PRÓTESES MECÂNICAS</b>	
Haniel Nunes Pereira Pinheiro	
Ronaldo Domingues Mansano	
<b>DOI 10.22533/at.ed.13821130517</b>	
<b>CAPÍTULO 18</b> .....	<b>266</b>
<b>ESTUDO DA VIABILIDADE DO MEDIDOR DE FREQUÊNCIA RESPIRATÓRIA FLOW™ E ADAPTAÇÃO PARA A IDENTIFICAÇÃO DE PATOLOGIAS</b>	
Camila de Souza Gomes	
Ana Carolina Silva de Aquino	
Gabriela Haydee Mayer de Figueiredo Barbosa	
Maria Eduarda Santos Amaro	
Sergio Murilo Castro Cravo de Oliveira	
Lilian Regina de Oliveira	
<b>DOI 10.22533/at.ed.13821130518</b>	
<b>CAPÍTULO 19</b> .....	<b>280</b>
<b>OTIMIZAÇÃO GEOMÉTRICA E AUTOMATIZAÇÃO PARA UM PASTEURIZADOR COM CONCENTRADOR CILÍNDRICO-PARABÓLICO</b>	
Gustavo Krause Vieira Garcia	
Antonio Lucas dos Santos Carlos	
Neemias Dantas Fernandes	
Taciano Amaral Sorrentino	
<b>DOI 10.22533/at.ed.13821130519</b>	
<b>CAPÍTULO 20</b> .....	<b>297</b>
<b>ESTUDO DA SECAGEM SOLAR DE BIOMASSA DE LARANJA COM CONVECÇÃO NATURAL E FORÇADA</b>	
Mariana de Miranda Oliveira	
Leandro Antônio Fonseca Domingues	
Andrea Lucia Teixeira Charbel	
<b>DOI 10.22533/at.ed.13821130520</b>	
<b>CAPÍTULO 21</b> .....	<b>307</b>
<b>ANÁLISE DA DISTRIBUIÇÃO DE TEMPERATURA NO CAPACITOR TÉRMICO DE UM SECADOR SOLAR DE EXPOSIÇÃO INDIRETA</b>	
Brenda Fernandes Ribeiro	
Antonio Gomes Nunes	
<b>DOI 10.22533/at.ed.13821130521</b>	
<b>CAPÍTULO 22</b> .....	<b>321</b>
<b>MODELAGEM E CONTROLE DE UMA PLATAFORMA EXPERIMENTAL DO TIPO GANGORRA DE EIXO ÚNICO</b>	
Reinel Beltrán Aguedo	
Ricardo José de Farias Silva	
Ania Lussón Cervantes	
<b>DOI 10.22533/at.ed.13821130522</b>	

**CAPÍTULO 23.....335**

**DESSALINIZADOR SOLAR PORTÁTIL PARA APLICAÇÃO EM COMUNIDADES RURAIS NO RIO GRANDE DO NORTE**

Paulo Vinícius de Souza Oliveira  
Fabiana Karla de Oliveira Martins Varella Guerra  
Luiz José de Bessa Neto  
Vitória Caroline Carvalho do Nascimento

**DOI 10.22533/at.ed.13821130523**

**CAPÍTULO 24.....350**

**IMPLEMENTAÇÃO DE UMA PLATAFORMA DIDÁTICA COMPUTACIONAL APLICADA À ANÁLISE DE CIRCUITOS ELÉTRICOS EM UM AMBIENTE DE CÓDIGO ABERTO - SCIENTIFIC LABORATORY (SCILAB)**

Matheus Silva Pestana  
Danúbia Soares Pires  
Orlando Donato Rocha Filho

**DOI 10.22533/at.ed.13821130524**

**CAPÍTULO 25.....363**

**AVALIAÇÃO ENERGÉTICA DO CICLO DE VIDA: ESTUDO DE CASO APLICADO A CONSTRUÇÃO CIVIL**

Mauricio Andrade Nascimento  
Ednildo Andrade Torres

**DOI 10.22533/at.ed.13821130525**

**CAPÍTULO 26.....391**

**MONITORAÇÃO REMOTA DE RESERVATÓRIOS LÍQUIDOS UTILIZANDO O MÓDULO ESP32-LoRa**

Maria Eduarda Aparecida Gil  
Thiago Timoteo Henrique  
Getúlio Teruo Tateoki

**DOI 10.22533/at.ed.13821130526**

**CAPÍTULO 27.....397**

**S.A.C SISTEMA DE ASSISTÊNCIA AO CICLISTA**

Ricardo Bussons da Silva  
Alexandre Henrique Ferreira Rodrigues  
Deivid Roberto Almeida Vasconcellos  
Rian Guilherma Braga de Lima  
San-Cleir Neto Silva Orlanlandes  
Victor Manoel Rosa de Moraes

**DOI 10.22533/at.ed.13821130527**

**CAPÍTULO 28.....402**

**UMA ABORDAGEM BASEADA EM APRENDIZADO DE MÁQUINA E DESCRITORES ESTATÍSTICOS PARA O DIAGNÓSTICO DE FALHAS EM ROLAMENTOS DE MÁQUINAS ROTATIVAS**

Lucas de Oliveira Soares



Luiz Alberto Pinto  
Diego Assereuy Lobão

**DOI 10.22533/at.ed.13821130528**

<b>SOBRE OS ORGANIZADORES .....</b>	<b>415</b>
<b>ÍNDICE REMISSIVO.....</b>	<b>416</b>

## PATH PLANNING COLLISION AVOIDANCE USING REINFORCEMENT LEARNING

Data de aceite: 01/05/2021

Data da submissão: 28/01/2021

### Josias Guimarães Batista

IFCE - Instituto Federal de Educação Ciência e  
Tecnologia do Ceará  
- Fortaleza, CE  
<http://lattes.cnpq.br/6944387012287863>

### Emerson Verar Aragão Dias

IFCE - Instituto Federal de Educação Ciência e  
Tecnologia do Ceará  
- Fortaleza, CE  
<http://lattes.cnpq.br/9745410450918258>

### Felipe José de Sousa Vasconcelos

UFC - Universidade Federal do Ceará -  
Fortaleza, CE

### Kaio Martins Ramos

UFC - Universidade Federal do Ceará -  
Fortaleza, CE  
<http://lattes.cnpq.br/0726258678682283>

### Darielson Araújo de Souza

UFC - Universidade Federal do Ceará -  
Fortaleza, CE  
<http://lattes.cnpq.br/0544245068917092>

### José Leonardo Nunes da Silva

IFCE - Instituto Federal de Educação Ciência e  
Tecnologia do Ceará  
- Fortaleza, CE  
<http://lattes.cnpq.br/8003929415977802>

**ABSTRACT:** Industrial robots have grown over the years making production systems more and more efficient, requiring the need for efficient

trajectory generation algorithms that optimize and, if possible, generate collision-free trajectories without interrupting the production process. In this work is presented the use of Reinforcement Learning (RL), based on the Q-Learning algorithm, in the trajectory generation of a robotic manipulator and also a comparison of its use with and without constraints of the manipulator kinematics, in order to generate collision free trajectories. The results of the simulations are presented with respect to the efficiency of the algorithm and its use in trajectory generation, a comparison of the computational cost for the use of constraints is also presented.

**KEYWORDS:** Path Planning, Collision Avoidance, Reinforcement Learning, Robotic Manipulator, Trajectory Generation.

### PLANEJAMENTO DE TRAJETÓRIA LIVRE DE COLISÃO UTILIZANDO APRENDIZAGEM POR REFORÇO

**RESUMO:** Os robôs industriais têm crescido ao longo dos anos tornando os sistemas de produção cada vez mais eficientes, exigindo a necessidade de algoritmos de geração de trajetórias eficientes que otimizem e, se possível, gerem trajetórias livres de colisão sem interromper o processo de produção. Neste trabalho é apresentado o uso da Aprendizagem por Reforço (AR), baseado no algoritmo *Q-Learning*, na geração de trajetórias de um manipulador robótico e também uma comparação de seu uso com e sem restrições da cinemática do manipulador, a fim de gerar trajetórias livres de colisão. Os resultados das simulações são apresentados com relação

à eficiência do algoritmo e seu uso na geração de trajetórias, uma comparação do custo computacional para o uso de restrições também é apresentada.

**PALAVRAS - CHAVE:** Planejamento de Caminho, Prevenção de Colisão, Aprendizagem por Reforço, Manipulador Robótico, Geração de Trajetória.

## 1 | INTRODUCTION

The industry has found in automation an important ally for the modernization and growth of its activities. The use of robots has increased exponentially in order to perform tasks. In fact, the use of robots with manipulation functions has shown significant growth in the context of industrial production. The aforementioned diffusion of robots in an industrial environment has provided, over the years, that several methods were developed in order to monitor and to control mobile or manipulator robots, giving them the ability to operate in environments that are dangerous to humans (Pinto et al., 2014).

In this sense, optimization becomes a key part, since it is necessary to complete tasks with some desired characteristics, such as minimum time, shorter trajectory, minimal wear of the mechanical parts, among others. Thus, the trajectory performed by the robot is extremely important. In most cases, the cost functions, which are minimized during the optimization process, will have some kind of robot model as a component. This makes them applicable only for a given robot model and sometimes does not apply to be developed and implemented in other robot models (Csiszar, 2016).

The trajectory generation refers to a point in the workspace of the manipulator that can be translated into suitable conditions for a point in the joint space. The problem is to take the manipulator to the specified position, regardless of the initial position and the environment variables. This problem is more generally defined as robot navigation (Sciavicco et al., 1997). Trajectory planning consists of determining a curve in the workspace, connecting the desired, initial and final position of the actuator, avoiding any obstacle. The union of positions in the Cartesian space defines two types of profiles for linear and circular displacements (Khatib, 1986), (Batista et al., 2020b), (Batista et al., 2018).

Based on these concepts, the present work aims to generate the trajectory of a robotic manipulator using Reinforcement Learning (RL), the learning algorithm used is *QLearning*. The algorithm is used to generate trajectory in an environment where some obstacles are considered and the trajectories generated must be collision free.

This paper is organized as follows. Section 2 provides some information about the robotic manipulator and presents the model of the forward and inverse kinematics of the same. Section 3 presents the use of RL and the Q-Learning algorithm used. The algorithm simulation is presented in Section 4. Finally, the conclusions and future work are mentioned in Section 5.

## 2 | LITERATURE REVIEW

The Q-Learning algorithm is a popular method of RL, and is used for collision prevention where an optimal action-state policy is calculated based on the Markov Decision Process (MDP). The Q-Learning is used to train robots to reach a certain target point, moving through obstacles and avoiding collisions with them. The actions considered are discrete and correspond to moving and rotating in different directions. However, the movement of the robot does not seem natural due to discrete control actions. In addition, a simplistic reward function that depends only on actions taken and collision events should be used (Shim and Li, 2017).

RL is a popular area of research, widely used in several areas such as manufacturing technology, multi-agent technology or computer vision. Robotics RL is often applied to wheel control mobile robots, manipulating robots, or humanoid robots. The Q-Learning algorithm was used as a trajectory generator to reach a target and implemented in an industrial manipulator robot (Miljković et al., 2013).

In Park et al. (2007), real-time path planning is proposed, combining Probabilistic Roadmap (PRM) and RL to deal with uncertain dynamic environments and similar environments. A series of experiments demonstrate that the proposed hybrid path planning can generate a collision-free path even for dynamic environments in which objects block the pre-planned global path. It is also shown that hybrid path planning can adapt to similar environments previously learned without significant additional learning.

In Gu et al. (2017) it was presented that a recent RL algorithm based on training off-policy of Q functions can switch to complex 3D manipulation tasks and learn deep neural network policies with sufficient efficiency to train in physical robots real. It was shown that training times can be further reduced by parallelizing the algorithm on several robots that group their policy updates asynchronously. The paper presents an experimental evaluation and shows that the method can learn a variety of 3D manipulation skills in simulation and a complex door opening skill in real robots.

In the work from Nair and Supriya (2018), an approach called Modified Temporal Difference Learning for path planning and obstacle avoidance was proposed for static obstacles. The algorithm was developed in MATLAB software and path planning was implemented in a  $4 \times 4$  grid environment. A GUI for the same is created, which access the user inputs like obstacle number, positions and type. The developed algorithm was compared with the conventional path planning Dijkstra's algorithm in the same environment. It was observed that computational complexity was less in the proposed approach compared to the conventional method.

In Jing et al. (2018) was propose a novel computational framework to automatically generate efficient robotic path online for surface/shape inspection application. Within the computational framework, a MDP formulation was proposed for the coverage planning

problem in the industrial surface inspection with a robotic manipulator. A reinforcement learning-based search algorithm was proposed in the computational framework to generate planning policy online with the MDP formulation of the robotic inspection problem for robotic inspection applications. It was observed that the proposed method could automatically generate the inspection path online for different target objects to meet the coverage requirement, with the presence of pose variation of the target object.

### 3 | ROBOTIC MANIPULATOR

The manipulator used in this work is called *Selective Compliance Assembly Robot Arm* (SCARA). He is a robot that has four degrees of freedom (DOF). Considering the first two joints from the base, it is noted that its workspace is the horizontal type (XY). As the joints revolve around vertical axes in a rotational manner it possible to make an analogy to planar robots of two DOF. Therefore, for this study only two DOF are needed. Figure 1 shows an image of the robot.

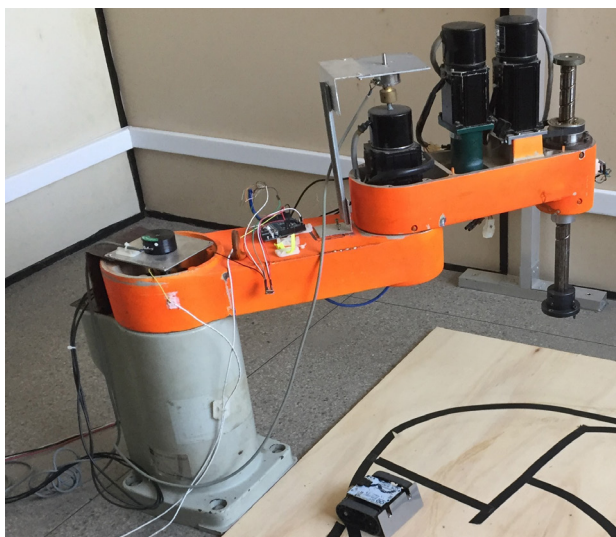


Figure 1. SCARA robotic manipulator.

#### 3.1 Kinematics Model

The robot kinematics is defined as the study of its movement in relation to a reference system. Thus, it is about the analytical description of the robot spatial movement as a function of time, and in particular of the relationships between the position and orientation of its tool with the values that make its articular coordinates. The problem of direct kinematics

is to determine the position and orientation of the manipulator actuator, in relation to a fixed reference coordinate system, known the joint values; the problem of inverse kinematics solves the configuration that the robot must adopt for a position and orientation of the known extreme (Romano, 2002).

### 3.2 Forward kinematics

In order to define the forward kinematics model, the Denavit-Hartenberg (DH) convention and the coordinator system of the manipulator, which are shown in Figure 2, are used. Thus, the needed parameters of angle and size can be selected (Hartenberg and Denavit, 1964).

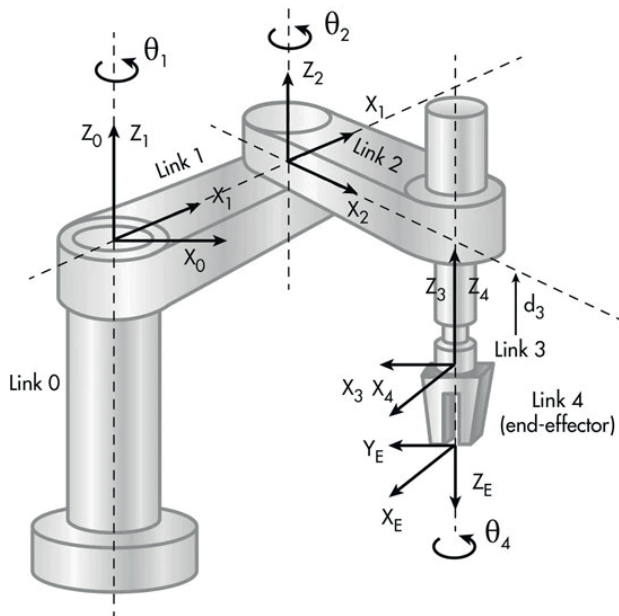


Figure 2. Robot joint coordinate systems SCARA Gonzalez (2017).

From the DH parameters the homogeneous transformation matrices of the coordinate systems are formed. These matrices are used in conjunction with the comparison of the geometric shape of the robot in order to determine the position of its end-effector in the workspace through the coordinates in the joint space as described by the equations

$$P_x = 0.35 \cos(\theta_1) + 0.30\cos(\theta_1 + \theta_2) \tag{1}$$

$$P_y = 0.35 \sin(\theta_1) + 0.30\sin(\theta_1 + \theta_2) \tag{2}$$

The equations (1) and (2) represent the solution to the problem of forward kinematics for the SCARA manipulator.

### 3.3 Inverse kinematics

The inverse kinematics is intended to solve a configuration that the robot must adopt in relation to the position and orientation of a known point. A simple way to solve this problem is to use the geometric method where is possible to determine the value of the joint angle, in order to correctly position the manipulator so that the trajectories in the joint space can be generated (Batista et al., 2020a).

From the direct kinematics equations (1) and (2) and applying some trigonometric transformations, one may find the inverse kinematics equations given by:

$$\theta_1 = \tan^{-1} \left[ \frac{P_y(L_1 + L_2 \cos(\theta_2)) - P_x L_2 \sin(\theta_2)}{P_x(L_1 + L_2 \cos(\theta_2)) - P_y L_2 \sin(\theta_2)} \right], \quad (3)$$

$$\theta_2 = \cos^{-1} \left( \frac{P_x^2 + P_y^2 - L_1^2 - L_2^2}{2L_1 L_2} \right), \quad (4)$$

where  $L_1 = 0.35$  m and  $L_2 = 0.30$  m are the values of the lengths of each joint of the manipulator as shown in Figure 2.

The equations (3) and (4) are the solutions to the SCARA manipulator inverse kinematics problem and are used to generate its trajectory.

## 4 | USING OF RL IN THE GENERATION OF TRAJECTORIES

The RL is an approach that can be used to learn the robots movements, based on feedback received from the environment. The basic idea is inspired by natural learning, the way animals (including humans) learn. This technique involves several different attempts to solve a problem for later verification. When good results occur, the tendency is to repeat the behavior; if the resulting responses are not satisfactory, the direction to be followed is to avoid them (Sutton and Barto, 1998). In RL, the robot tries different actions (in fact, all the actions at its disposal) in all states in which it enters. For each action, there is continuous monitoring, so that all information is stored in some type of representation (usually, some type of table or matrix).

The RL theory is based on Markovian decision-making processes, although its ideas and methods can be extended and applied to more general applications and processes. An environment satisfies Markov property if its state summarizes the past compactly, without losing the ability to predict the future. That is, one can predict what the next state and the

next expected reward will be, given the current state and action (Sutton and Barto, 1998). A Markov process is a sequence of states, with the property that any future state value prediction will depend only on the current state and action, and not on the sequence of past states.

A Markovian decision process is defined by a set  $\{S, A, P, R\}$ , in which one have: the finite set of states  $S$  of the system, the finite number of actions  $A$ , and a  $P$  state transition model, which maps the state-action pairs into a probability distribution over the set of states, and finally, a  $R$  reward function, which specifies the reinforcement. The agent receives for choosing a particular action  $a \in A$  in the state  $s \in S$ . The state  $s$  and  $a$  are the current actions that determine (i) the next state  $s^0$  according to the probability  $P(s^0|s, a)$ , and (ii) the reward  $r(s, a)$  associated. Figure 3 shows the generic structure of the RL.

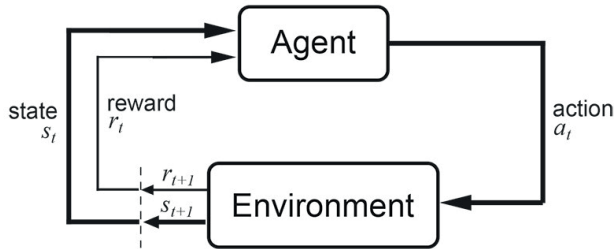


Figure 3. Generic structure of the RL Sutton and Barto (1998).

#### 4.1 Q-Learning

In the RL algorithm used here, the robot and the environment interact in a discrete sequence of steps in time.

The state and the action at a given moment determine the probability distribution for the state  $s_{t+1}$  and the reinforcement  $r_t$ . The purpose of the robot is usually to choose actions in order to maximize a discounted sum of subsequent reinforcements:

$$r_t = \sum_{k=0}^T \gamma^k r_{t+k} \quad (5)$$

The actions are selected by the robot from a function state (control policy)  $\pi : S \rightarrow A$ . The value of utility of a state, given a policy is the expected reinforcement starting from the following state and following the policy:

$$V^\pi(s) = E_\pi(R_t | s_t = s) \quad (6)$$

and the optimal policy of actions is that sequence that maximizes the value of the state:



$$V^*(s) = \max_{\pi} V^{\pi}(s) \quad (7)$$

There is always at least one optimal policy that produces the maximum utility value in all states  $s \in S$ . Alongside these two state value functions, there are two share value functions:

$$Q^{\pi}(s, a) = E_{\pi}(R_t | s_t = s, a_t = a) \quad (8)$$

and

$$Q^*(s, a) = \max_{\pi} Q^{\pi}(s, a) \quad (9)$$

From  $Q^*$ , you can determine an optimal policy by making

$$\pi^*(S_t) = \operatorname{argmax}_a Q^{\pi}(s, a) \quad (10)$$

Therefore, Q-Learning is an algorithm that allows one to automatically establish an action policy in a interactive. The algorithm converges to an optimal control procedure, when the  $Q$  state-action pair learning hypothesis is represented by a complete table containing the information value of each pair (Sutton and Barto, 1998). Convergence occurs both in deterministic and non-deterministic MDP. The Q-learning algorithm learns an optimal assessment function over the entire state-action pair space  $S \times A$  (Ribeiro, 2002).

The function  $Q(s, a)$  rewards the future action by choosing the action  $a$  in the state  $s$ , and is learned through trial and error according to the following equation

$$Q_{t+1}(s_t, a_t) = Q_t(s_t, a_t) + \alpha[r_t + \gamma V_t(s_{t+1}) - Q_{t+1}(s_t, a_t)] \quad (11)$$

where  $\alpha$  is the learning fee,  $r$  is the reward, or punishment, resulting from taking action in the  $s$  state,  $\gamma$  is the discount factor and the term  $V_t(s_{t+1}) = \max_a Q(s_{t+1}, a)$  is the utility of the state  $s$  resulting from the action, obtained using the function  $Q$  that has been learned to date.

The  $Q$  function represents the discounted reward expected when taking a action when visiting the  $s$  state, and following an optimal policy since then. The generic *QLearning* algorithm is shown in Algorithm 1.

---

**Algorithm 1** Pseudocode for Q-Learning

---

```
1: for every  $s \in S, a \in A$  do  
2:   initializes table  $Q(s,a)$   
3: end for  
4:   generates an initial state  
5: repeat  
6:   selects an action  $a$  and runs  
7:   receives reward  $r = r(s,a)$   
8:   observe the new state  $s^0$   
9:   update table  $Q(s,a)$  as follows:  
10:   $Q(s,a) \leftarrow r + \gamma \max_{a^0} Q(s^0, a^0)$   
11:   $s \leftarrow s^0$   
12: until  $s$  be terminal
```

---

Until the stopping criterion is reached which can be a maximum number of episodes, or the shortest state sequence to achieve the task objective.

## 5 | RESULTS

In this section, the results and simulations for the *QLearning* algorithm are presented.

### 5.1 Simulations

To perform the computer simulation, a space is created that corresponds to the manipulator workspace, shown in Figure 4. In this space, it is considered a starting point (SP), where the robot starts its movement to perform the trajectory, and a final point (FP), which refers to the target point, where the robot must arrive to complete the trajectory. The gray squares found in the workspace are considered obstacles, and the robot must deflect them to avoid collision.

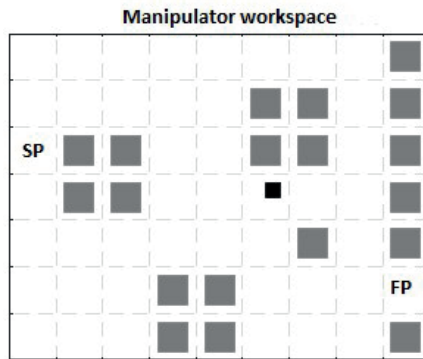


Figure 4. Workspace of the manipulator.

The actions that can be performed are shown in the tables below, and are performed at a constant speed and within a discrete time interval that is also constant. Table 1 shows the actions for the robot kinematic without constrains. Table 2 shows the possible actions for the constrained robot. The change in the direction of rotation of the joint is made so that the robot can avoid the obstacles and make the shortest path.

In Table 2, the third column represents the rotation movement of the manipulator joints, which can rotate 90°,

Action performed	Motion
A1	Forward
A2	Back
A3	To the left
A4	On the right

Table 1. Unconstrained actions.

Action performed	Motion	Rotation angle (°)
A1	Forward	0
A2	Back	0
A3	Rotation from the left	-90
A4	Rotation to the left	-90
A5	Right from the right	90
A6	Rotation back to the right	90

Table 2. Constrained actions.

considering a reference point 0 (zero) to the left or to the right.

Simulations are performed with and without constraints on the manipulator kinematics for 100 episodes and the following values are used:

- Maximum number of steps per episode = 2000
- Learning rate,  $\alpha = 0.1$
- Discount factor,  $\gamma = 0.95$
- Probability of random selection,  $\epsilon = 0.1$
- Eligibility trace,  $\lambda = 0.5$

## 5.2 Results

The results of the simulations are presented by means of the figures 5 and 6 that show the learning curves during each training of the algorithm in the generation of the manipulator's trajectory.

### Episode: 100 alpha:0.1 gamma:0.95 lambda:0.5 epsilon:0.1

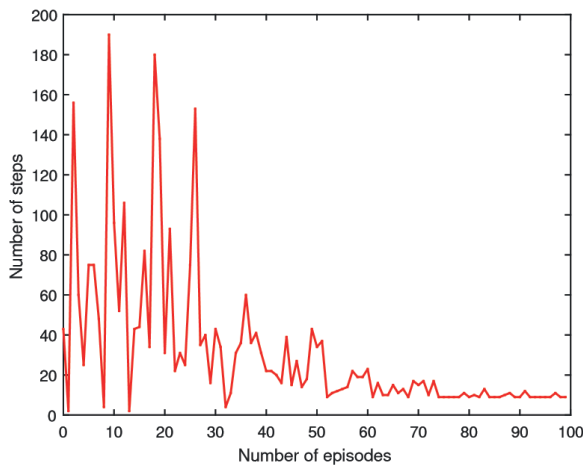


Figure 5. Algorithm without kinematic constraints.

Also extracted are the sequences of states that define the optimal policy, that is the optimum trajectory performed by the robot, which is 13 steps for the algorithm unconstrained and 8 steps for algorithm with constraints. The figures 7 and 8, below show the trajectories generated by the algorithm.

Episode:100 alpha: 0.1 gamma: 0.95 lambda: 0.5 epsilon: 0.1

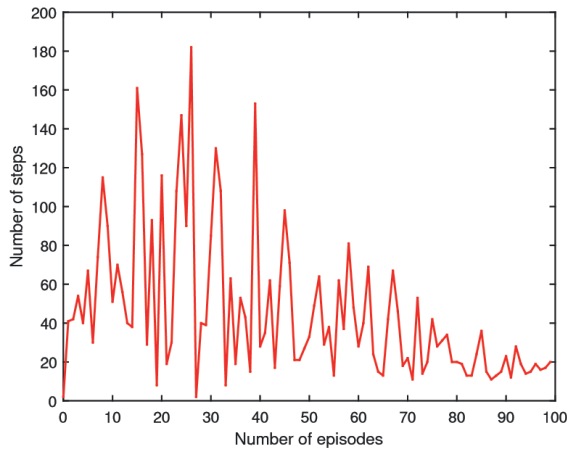


Figure 6. Algorithm with kinematic restrictions.

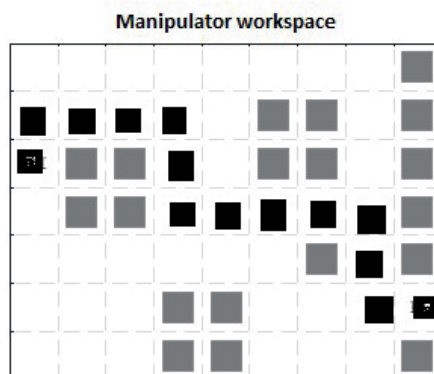


Figure 7. 13-step trajectory (algorithm without restriction).

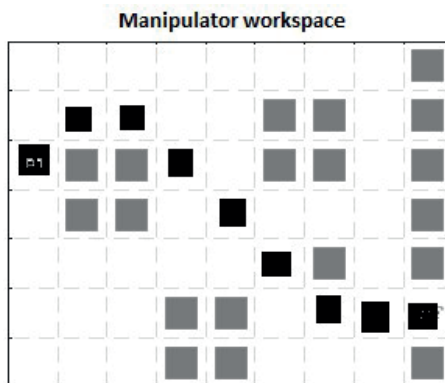


Figure 8. 8-step trajectory (restricted algorithm).

### 5.3 Discussions

A comparison was made between the Q-learning algorithm with and without constrains. The computational cost was verified and showed in Table 3.

Algorithm	Comp. cost [s]
Without restriction	121.780873
With restriction	169.463518

Table 3. Computational cost.

The RL Q-learning algorithm also functioned as collision-free trajectory generator of obstacles placed in the manipulator workspace. The simulations showed and compared the two forms of the algorithm used, where the algorithm with the kinematics constrained presented a better result, as shown in the previous section. The same algorithm also showed a better performance in the generation of the trajectory, that is, the trajectory had a smaller number of steps.

## 6 | CONCLUSION

This work presented simulations using RL in order to generate trajectories of a robot. The algorithm used was *Q-Learning*, where a comparison was made between the algorithm with and without kinematic constrains. It can be extracted, as the main conclusion of this work, that an RL can be used efficiently in the generation of trajectories of manipulators. It can also be concluded that either the algorithm shows satisfactory results and can also be used to generate collision-free trajectories.

The authors are researching other ways to improve the algorithm, such as: considering all kinematic restrictions, such as the length of links; integration the *Q-Learning* algorithm with *Robotics System Toolbox*; comparison *Q-Learning* with other collision-free trajectory generation algorithms, such as artificially obtained fields; and to perform an implementation of the *Q-Learning* algorithm in the robotic manipulator.

## REFERENCES

Batista, J., Souza, D., dos Reis, L., Barbosa, A., and Araújo, R. (2020a). Dynamic model and inverse kinematic identification of a 3-dof manipulator using rlspso. *Sensors*, 20(2), 416.

Batista, J., Souza, D., Silva, J., Ramos, K., Costa, J., dos Reis, L., and Braga, A. (2020b). Trajectory planning using artificial potential fields with metaheuristics. *IEEE Latin America Transactions*, 18(05), 914–922.

- Batista, J.G., da Silva, J.L., and Thé, G.A. (2018). Can artificial potentials suit for collision avoidance in factory floor?
- Csiszar, A. (2016). A combinatorial approach to the automated generation of inverse kinematics equations for robot arms. In *Automation Science and Engineering (CASE), 2016 IEEE International Conference on*, 984–989. IEEE.
- Gonzalez, C. (2017). What's the difference between industrial robots? URL <https://www.machinedesign.com/robotics/what-s-difference-between-industrial-robots>.
- Gu, S., Holly, E., Lillicrap, T., and Levine, S. (2017). Deep reinforcement learning for robotic manipulation with asynchronous off-policy updates. In *2017 IEEE international conference on robotics and automation (ICRA)*, 3389–3396. IEEE.
- Hartenberg, R.S. and Denavit, J. (1964). *Kinematic synthesis of linkages*. McGraw-Hill.
- Jing, W., Goh, C.F., Rajaraman, M., Gao, F., Park, S., Liu, Y., and Shimada, K. (2018). A computational framework for automatic online path generation of robotic inspection tasks via coverage planning and reinforcement learning. *IEEE Access*, 6, 54854–54864.
- Khatib, O. (1986). Real-time obstacle avoidance for manipulators and mobile robots. *The international journal of robotics research*, 5(1), 90–98.
- Miljkovic, Z., Mitic, M., Lazarevic, M., and Babic, B. (2013). Neural network reinforcement learning for visual control of robot manipulators. *Expert Systems with Applications*, 40(5), 1721–1736.
- Nair, D.S. and Supriya, P. (2018). Comparison of temporal difference learning algorithm and dijkstra's algorithm for robotic path planning. In *2018 Second International Conference on Intelligent Computing and Control Systems (ICICCS)*, 1619–1624. IEEE.
- Park, J.J., Kim, J.H., and Song, J.B. (2007). Path planning for a robot manipulator based on probabilistic roadmap and reinforcement learning. *International Journal of Control, Automation, and Systems*, 5(6), 674–680.
- Pinto, M.F., Mendonça, T.R., Olivi, L.R., Costa, E.B., and Marcato, A.L. (2014). Modified approach using variable charges to solve inherent limitations of potential fields method. In *Industry Applications (INDUSCON), 2014 11th IEEE/IAS International Conference on*, 1–6. IEEE.
- Ribeiro, C.H.C. (2002). *Estudo de Desempenho de Algoritmos de Aprendizagem sob Condições de Ambiguidade Sensorial*. Ph.D. thesis, Instituto Tecnológico de Aeronáutica.
- Romano, V.F. (2002). *Robótica industrial. São Paulo: Edgard Blucher* .
- Sciavicco, L., Siciliano, B., and Dawson, D. (1997). Modeling and control of robot manipulators. *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, 13(2), 315.
- Shim, M.S. and Li, P. (2017). Biologically inspired reinforcement learning for mobile robot collision avoidance. In *Neural Networks (IJCNN), 2017 International Joint Conference on*, 3098–3105. IEEE.
- Sutton, R.S. and Barto, A.G. (1998). *Reinforcement learning: An introduction*, volume 1. MIT press Cambridge.

## ÍNDICE REMISSIVO

### A

Aprendizagem 33, 238, 239, 251, 332, 350, 351, 352, 357, 359, 361, 362

ATP 156, 157, 158, 159, 170, 171, 173, 176, 177, 179, 189, 191, 192, 195, 196, 198, 255

Autonomia veicular 221

### B

*Backflashover* 157, 163, 169, 170, 171, 172, 181, 182, 183, 184, 185, 190

### C

Cargas Variáveis 76, 92

Célula fotovoltaica 61, 115, 116, 129, 145

Confiabilidade 2, 142, 143, 145, 151, 152

Conversores 8, 58, 59, 85, 86, 207, 208, 214, 216, 219

### D

Dados Meteorológicos 38, 42, 44, 54

Descarbonização 14, 16, 17, 18, 23

Descargas Atmosféricas 156, 157, 170, 171, 174, 176, 183, 185, 189, 191, 193, 195, 204

Desempenho 5, 7, 6, 7, 47, 54, 76, 77, 78, 80, 86, 91, 92, 113, 117, 125, 127, 142, 145, 147, 151, 153, 157, 170, 171, 172, 176, 178, 185, 190, 197, 208, 212, 219, 224, 225, 226, 229, 232, 233, 234, 237, 251, 320, 321, 322, 323, 332, 348, 349, 395, 400, 402, 404, 405, 406, 407, 408, 409, 410, 411, 413

*Desenvolvimento* 6, 1, 2, 15, 16, 17, 23, 24, 25, 28, 30, 31, 37, 38, 42, 45, 51, 76, 94, 111, 114, 130, 143, 153, 208, 209, 212, 213, 219, 220, 223, 229, 236, 252, 258, 263, 264, 268, 269, 275, 277, 282, 289, 296, 307, 308, 320, 322, 323, 333, 334, 348, 351, 352, 357, 361, 364, 365, 367, 368, 370, 372, 374, 376, 388, 389, 391, 398, 400, 404

### E

*Eficiência Energética* 6, 16, 25, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 35, 36, 37, 38, 41, 42, 43, 45, 209, 219, 222, 237, 363, 365, 367, 374, 378, 380, 387, 390

Energia fotovoltaica 7, 40, 77, 96, 113, 129, 130, 131, 135, 137, 374

*Energia Solar* 16, 30, 33, 34, 44, 45, 46, 47, 49, 51, 55, 56, 77, 78, 95, 130, 133, 138, 140, 141, 143, 152, 208, 219, 287, 294, 297, 298, 301, 308, 320, 335, 336, 337, 341, 344

### F

Fontes Renováveis 14, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 26, 77, 115, 131, 143

Frenagem Regenerativa 8, 221, 222, 223, 236, 237



## **G**

Geração de Trajetória 239

*GMPPT* 57, 58, 75

## **I**

Inversores 8, 136, 138, 207, 208, 210

Irradiação Incidente 44, 55

## **M**

Manipulador Robótico 238, 239

Módulo fotovoltaico 62, 76, 77, 78, 84, 90, 91, 117, 119, 129, 131, 145, 146, 150, 151, 290

Módulos Fotovoltaicos 7, 33, 34, 61, 62, 63, 76, 77, 79, 83, 92, 99, 107, 110, 117, 122, 124, 130, 131, 135, 142, 143, 145, 146, 147, 149, 151, 152, 153

## **P**

Painéis Fotovoltaicos 7, 44, 47, 51, 55, 76, 77, 83, 97, 129, 131, 132, 133, 134, 135, 139, 140

Parâmetros elétricos do solo 156, 170, 171, 172, 180, 181, 182, 184, 185, 191, 198, 200, 201, 203

Permissividade do solo 157, 171, 178, 185, 189, 190, 197, 203

*Pesquisa* 5, 6, 23, 25, 29, 30, 31, 34, 37, 40, 41, 42, 43, 56, 96, 132, 143, 152, 222, 266, 268, 276, 277, 278, 298, 305, 350, 352, 362, 371, 372, 375, 379, 381, 382, 398, 400, 404

Planejamento de Caminho 239

Prevenção de Colisão 239

## **Q**

*Qualidade de Energia* 41, 113

## **R**

Reforço 238, 239, 361

Resistividade do solo 156, 157, 170, 171, 172, 173, 177, 181, 182, 183, 184, 185, 189, 190, 191, 192, 193, 196, 198, 200, 203, 204

Robótica 1, 251

## **S**

Sensores 6, 1, 2, 3, 4, 5, 8, 10, 11, 12, 39, 40, 58, 59, 66, 80, 104, 105, 119, 208, 287, 288, 289, 290, 300, 396, 403

Setor Elétrico 6, 14, 24, 25, 26, 27, 37

Sinais 1, 2, 6, 8, 9, 10, 11, 12, 28, 105, 213, 215, 216, 254, 256, 259, 266, 267, 271, 275,

279, 402, 403, 404, 405, 406, 407, 408, 409, 412

Sistemas de aterramento 157, 170, 171, 177, 190, 191, 196, 198, 203

*Sistema Solar Fotovoltaico (FV)* 113

*Sombreamento Parcial* 6, 57, 58, 60, 62, 64, 65, 74, 84

*SPPMG* 57, 58, 59, 60, 63, 70, 71, 72, 73, 74

## **T**

*Topologia de Estágio Único* 113, 122, 126

Traçador de curva I-V 6, 76, 77

Transição Energética 6, 14, 15, 16, 17, 18, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 28, 29


Trilhas de Caracol 142, 143, 144, 145, 146, 147, 148, 149, 150, 151, 152, 153

## **V**

Veículo Elétrico 8, 207, 208, 209, 210, 212, 217, 219, 221, 222, 223, 224, 236, 237

# ENGENHARIA ELÉTRICA: O MUNDO SOB PERSPECTIVAS AVANÇADAS

 [www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)

 [contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)

 @atenaeditora

 [www.facebook.com/atenaeditora.com.br](http://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)

# ENGENHARIA ELÉTRICA: O MUNDO SOB PERSPECTIVAS AVANÇADAS

 [www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)

 [contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)

 @atenaeditora

 [www.facebook.com/atenaeditora.com.br](http://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)