

**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 eletricitista 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>

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

Data de aceite: 01/05/2021

Data de submissão: 05/02/2021

### **Gabriel Silva de Marchi Benedito**

FHO | Fundação Hermínio Ometto  
Araras – São Paulo  
<http://lattes.cnpq.br/4874428781719969>

### **Daniel Augusto Pagi Ferreira**

FHO | Fundação Hermínio Ometto  
Araras – São Paulo  
<http://lattes.cnpq.br/1526589803122442>

**RESUMO:** A preocupação com as situações climáticas e a escassez do petróleo tem feito os veículos elétricos ocuparem um lugar cada vez mais expressivo no mercado automotivo, sendo alvo de muitos estudos e investimentos. Uma das tecnologias mais importantes neste contexto é o processo de frenagem regenerativa, pois promove um melhor aproveitamento energético do sistema e contribui para um aumento da autonomia. Dessa forma, este trabalho apresenta uma simulação computacional comparativa entre veículos elétricos que possuem essa tecnologia e aqueles que não possuem, de maneira a analisar o seu impacto na autonomia. Para a realização dos testes, foi elaborado um código no Octave capaz de simular o alcance de um veículo elétrico à bateria quando submetido em um ciclo de condução, baseando-se em modelos apresentados por Larminie e Lowry (2012) que descrevem o dimensionamento de veículos, baterias e motores. Os resultados

obtidos mostram que o emprego do processo de frenagem regenerativa permite um aumento de aproximadamente 9% na autonomia desses veículos. Observou-se que o seu comportamento sofre alterações conforme alguns parâmetros são modificados, possuindo melhores rendimentos quanto maiores são os valores de massa e número de baterias e quanto menores são os valores de coeficiente de arrasto aerodinâmico e área frontal do veículo. Além disso, vale ressaltar que nem sempre o cenário ideal para a frenagem regenerativa é o mesmo para a autonomia do veículo.

**PALAVRAS - CHAVE:** Veículos elétricos. Frenagem regenerativa. Autonomia veicular.

**ABSTRACT:** The concern with climatic issues and the scarcity of oil has made electric vehicles increasingly relevant in automotive industry, being the target of many studies and investments. One of the most important technologies in this context is the regenerative braking, as it promotes better energy use of the system and contributes to increase the vehicle range. Thus, this study presents a comparative computer simulation between electric vehicles that have this technology and those that do not, to analyze its impact on the vehicle range. An Octave code was developed to simulate the battery autonomy of an electric vehicle when submitted to two different driving cycles, based on models presented by Larminie and Lowry (2012) for vehicles, batteries and engines sizing. The results obtained shows that the use of the regenerative braking process increases the vehicle range approximately 9%. It was observed that their behavior changes as

some parameters are modified, having better range with the increase of the vehicle mass and the number of batteries, and reducing aerodynamic drag coefficient and frontal area of the vehicle. Moreover, it was observed that the ideal settings for regenerative braking and vehicle range are not necessarily the same.

**KEYWORDS:** Electric vehicle. Regenerative braking. Vehicle range.

## 1 | INTRODUÇÃO

Recentemente, discussões a respeito de fontes energéticas aumentaram principalmente pela exiguidade do petróleo e por problemas climáticos oriundos da queima de combustíveis fósseis, se tornaram uma preocupação mundial e ocasionaram uma busca por tecnologias mais sustentáveis (PACHECO, 2006).

Nesse contexto, os veículos elétricos (VE) vêm ganhando maior atenção no mercado atualmente. No Brasil há incentivos à pesquisa criados justamente para aprimoramento da tecnologia a fim de eliminar os problemas por ela enfrentados (PAREDES, 2013).

Os VEs são caracterizados por serem movidos integralmente por energia elétrica. Eles contribuem para uma redução do uso de combustíveis fósseis, eliminam as emissões de gases poluentes e se destacam por possuírem uma maior eficiência energética e uma menor frequência de manutenções quando comparados aos veículos convencionais (GONÇALVES, 2018). Contudo, VEs possuem baixa autonomia quando comparados aos veículos que utilizam motores a combustão interna (MCI). A Frenagem Regenerativa (FR) é uma tecnologia utilizada nos VEs que tem como objetivo amenizar os problemas relacionados à baixa autonomia, permitindo que parte da energia cinética disponível numa desaceleração possa ser armazenada e reutilizada (PAREDES, 2013).

O principal objetivo deste trabalho é apresentar um estudo comparativo de autonomia entre um veículo elétrico alimentado por baterias (VEB) com e sem FR em dois ciclos de condução diferentes. Para isso, foi feita uma revisão bibliográfica para compreender melhor o funcionamento e a modelagem do carro, da bateria, do motor e dos subsistemas da FR, que serão apresentados a seguir.

## 2 | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 A História dos Veículos Elétricos

Embora o uso de MCI como tecnologia de propulsão tenha predominância no mercado automobilístico global há muito tempo, os veículos movidos a motores elétricos sucederam a sua criação (SANTOS, 2009).

De acordo com Ehsani *et al.* (2004), o primeiro VE foi apresentado ao mundo por Gustave Trouvé em 1881. Apenas em 1886 que foi registrada a primeira patente de um veículo com MCI por Karl Friedrich Michael Benz e teve início um período de muita disputa entre os três motores existentes (a vapor, elétrico e a combustão interna), sendo um

marco representativo da Segunda Revolução Industrial (1870 – 1930) devido às inovações tecnológicas desenvolvidas e aplicadas pela indústria automobilística. Vale ressaltar que, em 1889, Ferdinand Porsche foi o responsável por desenvolver o primeiro veículo elétrico híbrido do mundo (BARASSA, 2015).

Segundo Santini (2011), os trinta anos seguintes à década de 1880 ficaram conhecidos como a “Era de Ouro”, pois foi caracterizada por uma série de desenvolvimentos tecnológicos em prol dos VEs. A contribuição mais significativa e impactante aos VEs foi a invenção da FR realizada por M.A. Darracq em 1887, pois os tornaram mais competitivos no mercado graças ao aumento de autonomia alcançado (EHSANI *et al.*, 2004).

Apesar desses avanços, os VEs perderam o mercado para os MCI devido a uma série de fatores nos quais os mais relevantes foram os incentivos por parte dos produtores de petróleo no desenvolvimento dos motores a combustão e o barateamento desses veículos proporcionado pela produção em massa empregada por Henry Ford. Esses acontecimentos fizeram com que os problemas até então já enfrentados pelos VEs como a baixa autonomia e o alto custo de venda se tornassem ainda mais prejudiciais (MONTEIRO e MOTTA, 2015).

## **2.2 A Frenagem Regenerativa em Veículos Elétricos**

A FR consiste no reaproveitamento de parte da energia cinética produzida com o movimento de desaceleração do veículo. Essa energia, que em sistemas de freios convencionais é desperdiçada em forma de calor, pode ser armazenada em baterias ou supercapacitores e ficam disponíveis para uso (PAREDES, 2018).

De maneira sucinta, o sistema de propulsão de um VEB é composto de uma bateria, um motor elétrico, um conversor de energia para que sejam fornecidos valores de tensão e corrente adequados e um controlador que tem como função gerenciar o fornecimento de energia. Todo o sistema está interligado com o fluxo de energia e funciona de acordo com o modo de operação do veículo. Em casos de aceleração a bateria fornecerá energia ao motor para movimentar o veículo. Já quando há uma desaceleração, o motor elétrico passa a operar como um gerador e toda a energia recuperada durante a frenagem é enviada à bateria (CAPO, 2016).

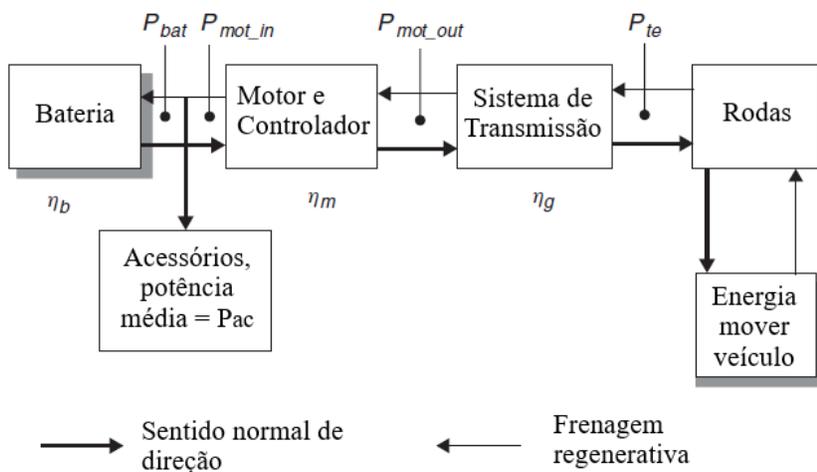


Figura 1 – Fluxo de energia em um veículo elétrico à bateria que possui a FR

Fonte: Adaptado de Larminie e Lowry (2012)

Como a frenagem é fundamental à segurança de um veículo, existem alguns fatores que devem ser levados em consideração quando a tecnologia de FR é adicionada ao processo. As forças de frenagens requeridas durante a desaceleração variam conforme a maneira em que o movimento ocorre, exigindo que elas respeitem determinada intensidade e que sejam distribuídas entre os eixos para que o veículo não perca sua condição de estabilidade (MONTEIRO e MOTTA, 2015). Além disso, em algumas situações o torque de frenagem poderá ser grande o suficiente para que haja uma sobrecarga na máquina elétrica e em todo o sistema eletrônico. Nestes casos, o uso combinado com o freio convencional mecânico é indicado a fim de evitar o mau funcionamento do sistema elétrico e, principalmente, manter a segurança durante a direção (PAREDES, 2013).

### 2.3 Sistemas de Armazenamento de Energia

Segundo Paredes (2013), o sistema de armazenamento de energia é composto por dispositivos capazes de armazenar e prover o fornecimento de energia como baterias, supercapacitores, entre outros. Uma estratégia que pode ser utilizada para melhorar tanto a eficiência quanto o desempenho do veículo é fazer o uso conjunto de duas ou mais fontes devido às vantagens que cada uma oferece. Por exemplo, o uso de supercapacitores em paralelo com um conjunto de baterias pode ser benéfico, pois será possível fornecer picos de potência de maneira satisfatória sem que haja um comprometimento da vida útil das baterias (FERREIRA et al, 2007).

### 2.3.1 Baterias

As baterias são dispositivos capazes de transformar a energia elétrica em energia química durante a carga e de convertê-la novamente em energia elétrica durante a descarga. Os tipos de bateria mais comumente utilizados nos VEs são de chumbo-ácido, níquel-hidreto metálico, íons de lítio, polímero de lítio, entre outros (CHAN, 2007).

Esse componente demanda um olhar criterioso por parte dos desenvolvedores por se tornar o item de maior importância de um VEB, pois são extremamente relevantes ao desempenho do veículo e exercem grande impacto em variáveis como custo, peso e volume (LARMINIE e LOWRY, 2012). Em consequência disso, os VEs possuem um sistema de monitoramento de bateria que tem como função melhorar o funcionamento e a sua vida útil (PAREDES, 2013).

De acordo com Luna Filho (2017), os parâmetros de uma bateria mais relevantes aos sistemas elétricos são:

- a) Capacidade da bateria: é a capacidade de armazenamento de energia elétrica de uma bateria;
- b) Taxa de carga/descarga: representa a intensidade na qual a corrente é utilizada, sendo a razão entre a capacidade da bateria e o período de carga ou descarga;
- c) Estado de carga ou (*State of Charge*): é o percentual de energia armazenada em relação à bateria completamente carregada;
- d) Profundidade de descarga ou (*Depth of Discharge*): representa o percentual de energia que foi retirada em relação à bateria completamente carregada;
- e) Resistência interna: é a resistência elétrica que a corrente encontra no interior de uma bateria;
- f) Tensão de circuito aberto ( $V_{oc}$ ): é a tensão encontrada nos terminais da bateria.

A Lei de Peukert permite estimar o de uma bateria quando submetida a uma corrente de descarga constante através de uma relação entre a sua capacidade e taxa de descarga. Com esse modelo é possível estudar o comportamento da bateria, visto que quanto maior a velocidade de descarga, menor é a capacidade da bateria. Vale ressaltar que esta Lei não considera o efeito de recuperação de energia (DOERFFEL e SHARKH, 2006). De acordo com Larminie e Lowry (2012), a Capacidade de Peukert é dada pela equação:

$$C_p = I^k \times T \quad (1)$$

em que  $I$  é a corrente,  $k$  é o coeficiente de Peukert (dependente do tipo de bateria) e  $T$  é o tempo de duração da bateria. Rearranjando esta equação é possível encontrar o tempo de duração de uma bateria quando sujeita a qualquer corrente  $I$ .

### 2.3.2 Baterias de Chumbo-Ácido

As baterias de chumbo-ácido são compostas por células que são associadas para produzir a tensão desejada e são formadas por dois eletrodos – um ânodo (polo negativo) feito de chumbo esponjoso e um cátodo (polo positivo) feito de dióxido de chumbo – que ficam imersos em ácido sulfúrico diluído (ANTUNES, 2018).

Segundo Larminie e Lowry (2012), a  $V_{oc}$  destas baterias pode ser representada por:

$$E = n \times [2,15 - DoD \times (2,15 - 2,00)] \quad (2)$$

em que  $n$  representa o número de células e  $DoD$  a profundidade de descarga da bateria (0 para totalmente carregada e 1 para totalmente vazia); A descarga de energia constante de uma bateria pode ser descrita como:

$$I = \frac{E - \sqrt{E^2 - 4 \times R \times P}}{2 \times R} \quad (3)$$

em que  $R$  é a resistência interna da bateria e  $P$  é a potência da bateria.

## 2.4 Dinâmica Veicular

### 2.4.1 Esforço de Tração Total

É fundamental encontrar a força de tração de um veículo para modelar o seu desempenho, visto que ela corresponde à força propulsora do veículo e, portanto, é a responsável por movimentá-lo. Ela deve ser capaz de superar a todas as resistências e acelerar o veículo (TANAKA, 2013). Como aponta Larminie e Lowry (2012), o esforço de tração total pode ser obtido por:

$$F_{et} = F_r + F_w + F_{inc} + F_{al} + F_{a\omega} \quad (4)$$

em que  $F_r$  é a resistência ao rolamento,  $F_w$  é a resistência aerodinâmica,  $F_{inc}$  é a resistência à inclinação da pista,  $F_{al}$  é a força de aceleração linear e  $F_{a\omega}$  é a força de aceleração angular.

### 2.4.2 Resistência ao Rolamento

Segundo Ehsani *et al.* (2004), o atrito dos pneus com a superfície cria uma força de reação que atua no sentido oposto ao rolamento da roda, exigindo que o torque na roda do veículo seja maior do que a intensidade dessa força para que o veículo se movimente. A força equivalente a essa resistência ao rolamento é denominada por:

$$F_r = \mu_{rr} \times P \times \cos(\alpha) \quad (5)$$

em que  $\mu_r$  representa o coeficiente de resistência ao rolamento (em função de variáveis dos pneus), o ângulo de inclinação da pista e o peso do veículo.

### 2.4.3 Resistência Aerodinâmica

Quando o veículo se movimenta há o surgimento de forças aerodinâmicas contrárias ao seu movimento. Essas forças originam de duas fontes: o atrito viscoso, devido às colisões entre moléculas de ar que possuem diferentes velocidades ocasionadas pelo deslocamento da massa de ar próxima ao veículo e o gradiente de pressão em razão do formato do veículo, que produz uma zona de alta pressão na frente e uma zona de baixa pressão na traseira do veículo (SOUZA, 2010). Ainda em Souza (2010), a força de arrasto aerodinâmico pode ser descrita pela equação:

$$F_w = \frac{1}{2} \times \rho \times A \times C_d \times v^2 \quad (6)$$

em que  $C_d$  é o coeficiente de arrasto aerodinâmico (determinado de maneira empírica),  $A$  é a área frontal do veículo,  $\rho$  é a densidade do ar e  $v$  é a velocidade do veículo.

### 2.4.4 Resistência à inclinação da pista

De acordo com Ehsani *et al.* (2004), quando existe uma inclinação na pista de rodagem, o próprio peso do veículo produz uma força que tende a dificultar, caso seja positiva (aclive), ou ajudar, quando negativa (declive), o seu movimento.

A Figura 2 exemplifica o comportamento das forças num plano inclinado, e a força de resistência à inclinação da pista pode ser escrita como:

$$F_{inc} = M \times g \times \sin(\alpha) \quad (7)$$

em que  $M$  é a massa do veículo,  $g$  é a força gravitacional e  $\alpha$  é o ângulo de inclinação da pista.

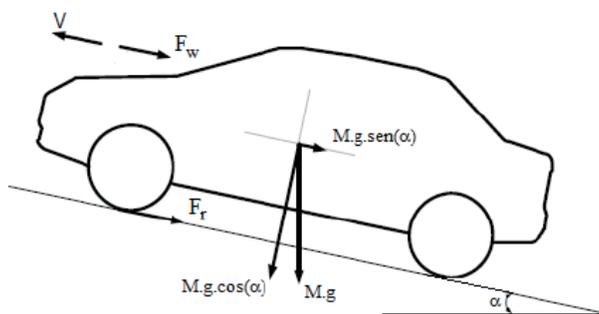


Figura 2 – Atuação de forças em um veículo

Fonte: Adaptado de Tanaka (2013)

### 2.4.5 Forças de Aceleração Linear e Angular

Como aponta Larminie e Lowry (2012), uma força deverá ser aplicada para que a aceleração linear do veículo aconteça devido à constante mudança de velocidade do veículo. No entanto, devem-se considerar as forças necessárias ao movimento rápido das partes giratórias para melhorar a precisão dos cálculos. O componente mais relevante desse aspecto é o motor elétrico, justamente por causa das altas velocidades angulares. A equação que define essa força de aceleração angular é:

$$F_{a\omega} = \frac{I \times G^2 \times a}{\eta_g \times r^2} \quad (8)$$

em que  $I$  representa o momento de inércia do rotor do motor,  $G$  a razão de engrenamento do sistema motor-eixo,  $a$  a aceleração linear,  $\eta_g$  a eficiência do sistema de transmissão e  $r$  o raio do pneu. Porém, como forma de simplificação satisfatória, é razoável desconsiderar o termo  $F_{a\omega}$  da equação do esforço de tração total e realizar um aumento de 5% na massa do veículo.

## 2.5 Motores Elétricos DC e Sua Eficiência

De acordo com Larminie e Lowry (2012), os VEs podem utilizar diferentes tipos de motores elétricos. No entanto, a maioria das perdas em motores elétricos de corrente contínua podem ser calculadas da mesma maneira independentemente do modelo escolhido e são divididas em quatro principais tipos:

a) Perdas no cobre: causadas pela resistência elétrica dos fios do motor. Sendo  $K_c$  uma constante que depende da resistência das escovas, da bobina e do fluxo magnético e  $T$  o torque fornecido pelo motor, elas são descritas por:

$$\text{Perdas no cobre} = k_c T^2 \quad (9)$$

b) Perdas no ferro: ocasionadas por efeitos magnéticos que acontecem principalmente no rotor do motor devido às mudanças dos campos magnéticos necessárias para a sua rotação. Com  $K_f$  sendo um coeficiente dependente de fatores relacionados à intensidade do campo magnético e  $\omega$  a velocidade angular do motor, essas perdas podem ser representadas por:

$$\text{Perdas no ferro} = k_f \omega \quad (10)$$

c) Perdas por vento: provocada pela resistência aerodinâmica encontrada pelo rotor, na qual  $K_v$  é uma constante que depende do seu tamanho e formato.

$$\text{Perdas por vento} = k_v \omega^3 \quad (11)$$

d) Demais perdas: são aquelas relacionadas ao próprio funcionamento do sistema. Faz referência, por exemplo, à corrente requerida para manter o campo magnético

ou à energia necessária para manter os circuitos eletrônicos em operação. Elas são representadas por uma constante 'C'.

Todas as principais perdas de motores elétricos devem ser consideradas no cálculo de sua eficiência, podendo ser encontrada através da seguinte equação:

$$\eta_m = \frac{T\omega}{T\omega + k_c T^2 + k_f \omega + k_v \omega^3 + C} \quad (12)$$

## 2.6 Ciclos de Condução (*driving cycles*)

Driving cycles são criados para auxiliar o desenvolvimento de novos veículos e contribuem para a verificação de inúmeros aspectos como consumo de energia e emissão de poluentes. Este instrumento é composto por uma série de dados que representam a velocidade do veículo no tempo, agindo como um modelo de representatividade da via (PFRIEM e GAUTERIN, 2016).

A sua principal utilização está nas simulações de veículos, nas quais seus sistemas de propulsão podem ser reproduzidos de maneira a permitir um estudo e previsão do desempenho de motores, transmissões, baterias, entre outros. Além disso, o uso de ciclos de condução tem como benefício à redução dos custos de testes de rua e de seu tempo de execução (MONTEIRO e MOTTA, 2015).

## 3 | METODOLOGIA

O impacto na autonomia obtido com o emprego da FR será analisado por meio de simulações computacionais comparativas entre veículos que utilizam e que não a utilizam em sua construção. Além disso, será verificado o seu comportamento conforme algumas das variáveis da simulação como massa, coeficiente de arrasto aerodinâmico, área frontal do veículo e número de baterias são alteradas. A partir das equações que descrevem o dimensionamento de veículos, baterias e motores apresentadas por Larminie e Lowry (2012), foi desenvolvido um código no Octave capaz de simular o alcance de um VEB quando submetido a um ciclo de condução.

O veículo utilizado nos testes foi o EV1 da GM que possui um motor elétrico de indução trifásico de 102kW alimentado por um *pack* de 26 baterias de chumbo-ácido de 18,7kWh, sendo capaz de atingir uma velocidade máxima de 128 km/h. Alguns parâmetros relevantes e que foram utilizados durante as simulações estão organizados na Tabela 1.

Item	Valor	Item	Valor
Massa [kg]	1500	Número de células da bateria	156
Área frontal [m <sup>2</sup> ]	1,8	Capacidade da bateria [Ah]	60
Coefficiente de resistência ao rolamento	0,0048	Resistência interna da bateria	0,022
Coefficiente de arrasto aerodinâmico	0,19	Coefficiente de Peukert	1,12
Eficiência da transmissão mecânica	0,95	$k_c$	0,3
Relação de engrenagem	11:1	$k_f$	0,01
Raio do pneu [m]	0,3	$k_v$	$5,0 \times 10^{-6}$
		C	600

Tabela 1 – Parâmetros do GM EV1

Fonte: Elaborado pelo autor extraído de Larminie e Lowry (2012)

Durante as simulações foram utilizados dois ciclos de condução: o adotado pela Norma brasileira ABNT/NBR 6601, FTP-75 e o Fleet-BEV, o qual foi desenvolvido exclusivamente para VEB, cujas principais características são apresentadas na Tabela 2.

Ciclo de condução	Distância [m]	Duração [s]	Velocidade média [km/h]	Velocidade máxima [km/h]
FTP-75	17767	1874	34,12	91,25
Fleet-BEV	5828	783	26,7	78

Tabela 2 – Características relevantes dos ciclos de condução

Fonte: Adaptado do site *Environmental Protection Agency* (EPA) e PFRIM e GAUTERIN (2016)

Para encontrar a autonomia do veículo o programa calcula os valores de  $S_oC$  e de distância percorrida até que o  $S_oC$  atinja um nível crítico de 20%. Primeiramente carregam-se todos os parâmetros e, então, o veículo é posto em um ciclo de condução. A partir disso o código segue o fluxograma da Figura 3.

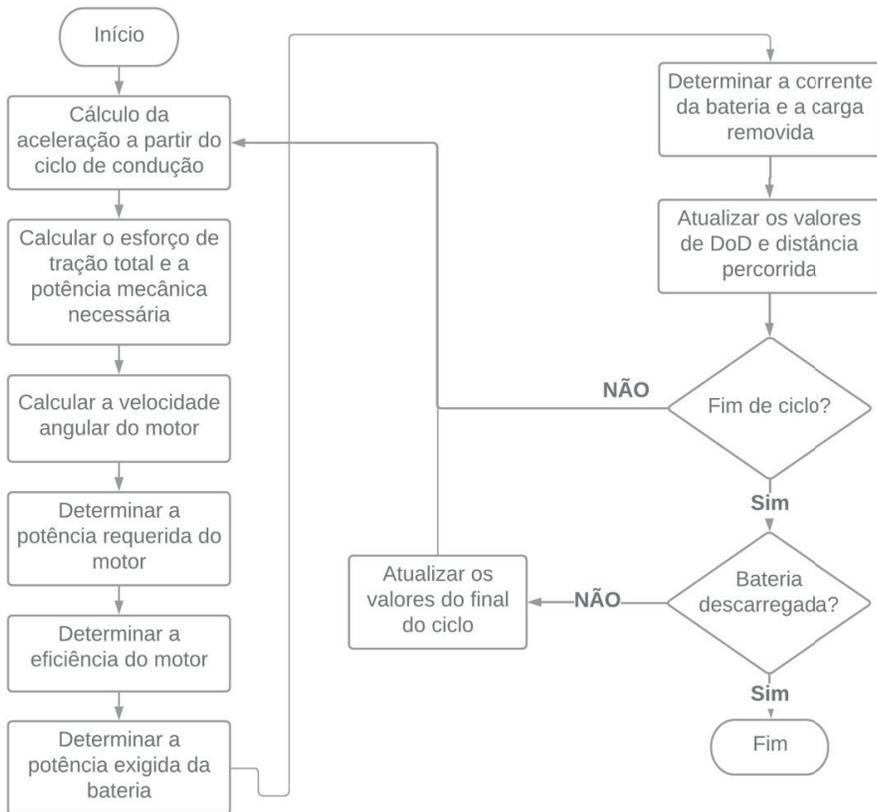


Figura 3 – Fluxograma do teste de autonomia  
 Fonte: Adaptado de Larminie e Lowry (2012)

Como forma de simplificação adotaram-se uma potência média dos acessórios constante e igual a 250W e a inclinação de superfície da pista como igual a 0°. Foi adotada uma taxa de recuperação de energia de 50%, na qual, segundo Larminie e Lowry (2012), é o máximo possível pela FR na prática.

#### 4 | RESULTADOS

O primeiro teste, apresentado na Figura 4, analisa o comportamento do EV1 e da FR em diferentes ciclos de condução. O alcance obtido para o ciclo Fleet-BEV (Figura 4<sup>a</sup>) sem o uso da FR foi de 128,59km e, com uso, de 140,44km, enquanto no ciclo FTP-75 (Figura 4b) a autonomia foi de 136,92 para 149,29 km.

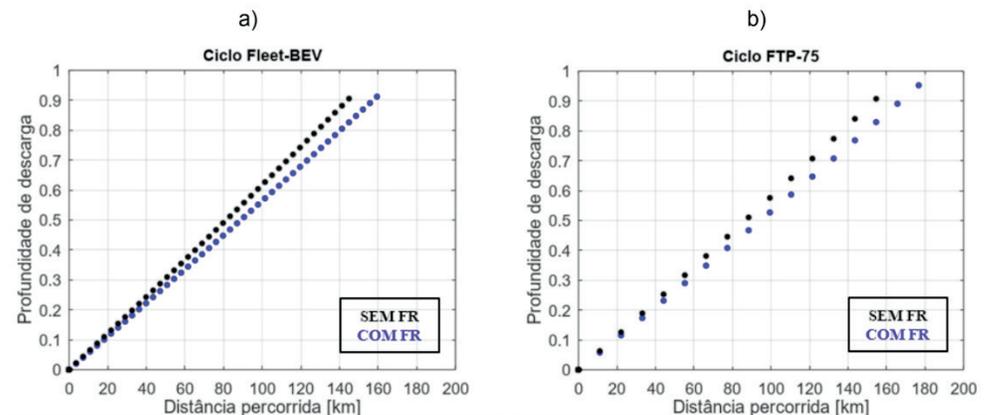


Figura 4 – Autonomia do veículo nos ciclos A e B

Fonte: O Autor

Posteriormente, como mostra a Figura 5, foi feita uma variação nos valores de massa do veículo para verificar o impacto do peso. Observou-se que alterando os valores de massa do veículo (de 1000 a 2000 kg) é possível melhorar o desempenho da FR em até 3,82%, podendo ganhar até 86,34km de autonomia.

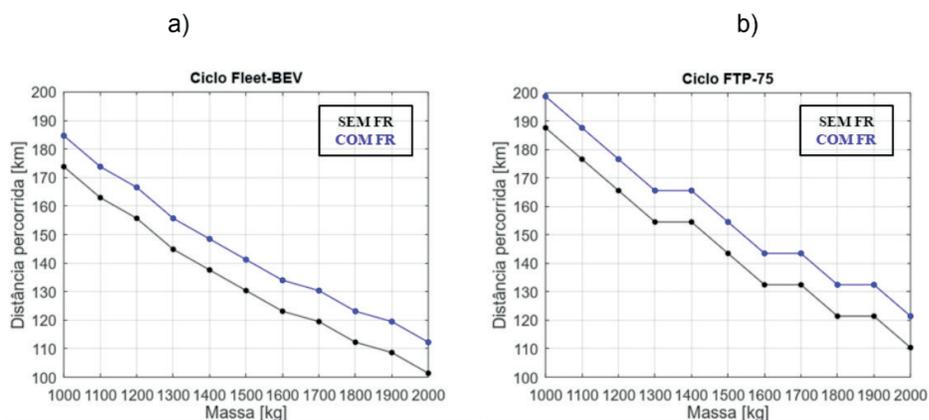


Figura 5 – Autonomia com a variação da massa do veículo nos ciclos A e B

Fonte: O Autor

A análise da resposta do veículo quando submetido a diferentes áreas frontais é mostrado na Figura 6. Viu-se que a autonomia diminui conforme a área se torna maior. Porém, ao contrário da massa, o rendimento da FR é maior quanto menor for esse

parâmetro, possibilitando um ganho de até 9,43% de autonomia.

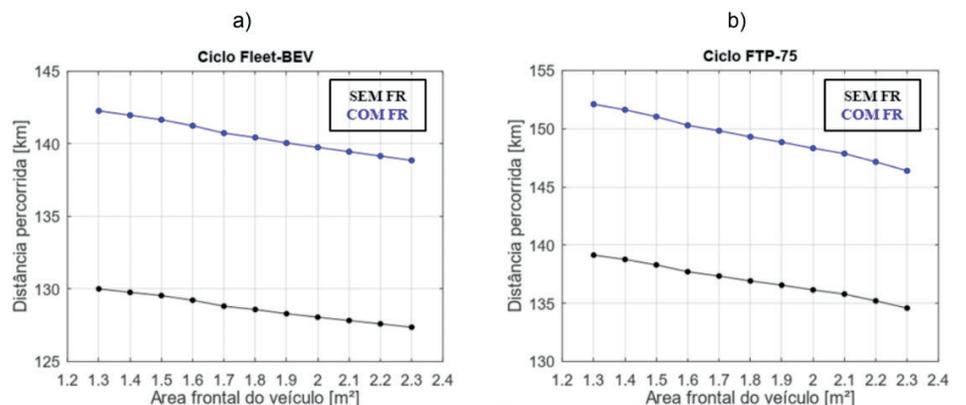


Figura 6 – Autonomia modificando a área frontal do veículo nos ciclos A e B

Fonte: O Autor

A Figura 7 revela o comportamento da autonomia quando são feitas alterações no coeficiente de arrasto aerodinâmico. É possível ver que em ambos os ciclos a resposta é bem similar, diminuindo o seu alcance conforme o coeficiente aumenta. Assim como na simulação anterior, o desempenho da FR é melhor quanto menor for esse coeficiente, sendo possível percorrer até 17,12km a mais com o seu uso.

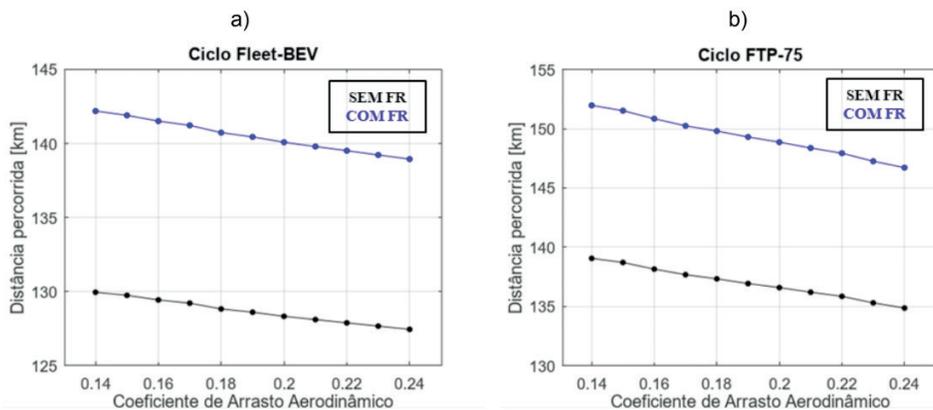


Figura 7 – Autonomia em relação ao coeficiente de arrasto aerodinâmico nos ciclos A e B

Fonte: O Autor

Outro parâmetro analisado foi o número de baterias. Vale ressaltar que a massa do veículo também se altera conforme o número de baterias aumenta. O resultado é apresentado a seguir e mostra que, mesmo com o aumento relativo da massa, a autonomia do veículo projeta um crescimento bastante expressivo, sendo possível percorrer até 265km com essas mudanças. A FR também apresentou melhor desempenho quanto maior o número de baterias.

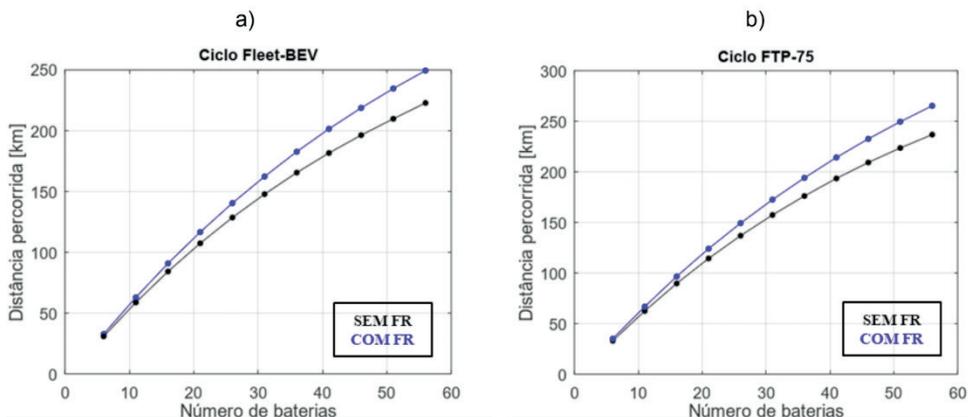


Figura 8 – Autonomia variando o número de baterias nos ciclos A e B

Fonte: O Autor

## 5 | DISCUSSÕES

Uma análise comparativa foi desenvolvida após a obtenção dos resultados das simulações e as tabelas a seguir mostram um resumo das respostas do processo de FR e do veículo em relação às diversas variações em alguns de seus parâmetros.

É possível observar na Tabela 3 que a escolha do ciclo de condução praticamente não afeta o comportamento da FR, apesar de influenciar na autonomia do veículo dada às próprias características do ciclo que o torna mais, ou menos, agressivo.

Analisando a Tabela 4 e a Tabela 5 é notável que, de todas as alterações, os parâmetros que mais impactaram nos resultados foram os relacionados ao aumento de massa e do número de baterias do veículo, no qual o desempenho da FR pode ser praticamente dobrado, de 6,11 para 12,03 %, assim como a autonomia do veículo que foi de 149,29 (original) para 265,35 km (aumento de baterias).

Ciclo de condução	Parâmetro alterado	Autonomia (km)		Aumento com a FR (%)	Ganho autonomia máximo (km)	Máximo desempenho da FR (%)
		Sem FR	Com FR			
FTP-75	Original	136,92	149,29	9,03	12,37	0,18
Fleet-BEV	Original	128,59	140,44	9,22	11,85	

Tabela 3 – Comparativo entre os ciclos de condução

Fonte: O Autor

Parâmetro alterado	Autonomia (km)		Aumento com a FR (%)	Ganho autonomia máximo (km)	Máximo desempenho da FR (%)
	Sem FR	Com FR			
Massa (1000 kg)	182,12	194,54	6,82	86,34	3,66
Massa (2000 kg)	108,2	119,54	10,48		
Área (1,3 m <sup>2</sup> )	139,14	152,1	9,31	17,51	0,55
Área (2,3 m <sup>2</sup> )	134,59	146,38	8,76		
$C_d$ (0,14)	139,05	151,97	9,29	17,12	0,50
$C_d$ (0,24)	134,85	146,71	8,79		
Número de baterias (6)	33,07	35,09	6,11	232,28	5,92
Número de baterias (56)	236,86	265,35	12,03		

Tabela 4 – Resultados obtidos no ciclo FTP-75

Fonte: O Autor

Parâmetro alterado	Autonomia (km)		Aumento com a FR (%)	Ganho autonomia máximo (km)	Máximo desempenho da FR (%)
	Sem FR	Com FR			
Massa (1000 kg)	172,32	184,22	6,91	82,94	3,82
Massa (2000 kg)	101,28	112,14	10,72		
Área (1,3 m <sup>2</sup> )	130,01	142,27	9,43	14,90	0,41
Área (2,3 m <sup>2</sup> )	127,37	138,86	9,02		
$C_d$ (0,14)	129,94	142,19	9,43	14,76	0,40
$C_d$ (0,24)	127,43	138,94	9,03		
Número de baterias (6)	30,86	32,69	5,93	218,62	6,02
Número de baterias (56)	222,85	249,48	11,95		

Tabela 5 – Resultados obtidos no ciclo Fleet-BEV

Fonte: O Autor

## 6 | CONCLUSÕES

Conclui-se que o emprego da frenagem regenerativa, por si só, permitiu um aumento de aproximadamente 9% na autonomia de um VEB. Além disso, a tecnologia apresentou maior rendimento quando os valores de área frontal e coeficiente de arrasto aerodinâmico do veículo foram diminuídos e quando os valores de massa e número de baterias foram aumentados. As alterações que obtiveram melhores resultados foram às relacionadas ao peso do veículo, isso porque quanto maior a massa, maior a energia cinética produzida no movimento e maior a energia recuperada na desaceleração. Também foi visto que a escolha do ciclo de condução, apesar de influenciar nos valores obtidos, não trouxe diferenças significativas nos resultados.

Algo interessante de analisar é que o cenário ideal para a FR nem sempre é o melhor quando se busca aumentar o alcance do veículo. Isso porque, em algumas condições, como é o caso do aumento da massa, as forças necessárias para o movimento do veículo aumentam consideravelmente e exigem maiores potências, aumentando a solicitação da bateria. O melhor resultado para a autonomia do veículo foi obtido com o aumento do número de baterias, revelando o impacto que a escolha e o dimensionamento da bateria têm no desenvolvimento dos VEB.

## REFERÊNCIAS

ANTUNES, P. D. R. **Veículos elétricos, funcionamento e seus benefícios**. 2018. 73 p. Monografia (Bacharelado em Engenharia Elétrica) - Centro Universitário UNIFACVEST, Lages, SC.

BARASSA, E. **Trajatória tecnológica do veículo elétrico: atores, políticas e esforços tecnológicos no Brasil**. 2015. 105 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências, Campinas, SP.

CAPO, P. I. M. **Modelagem matemática e simulação de um veículo elétrico movido a células de combustível**. 2016. 53 p. Monografia (Bacharelado em Engenharia de Energia) - Universidade Federal de Santa Catarina, Araranguá, SC.

CHAN, C. C. The State of the Art of Electric, Hybrid, and Fuel Cell Vehicles. **Proceedings of the IEEE**. v. 95, n. 4, p. 704-718, abr. 2007.

DOERFFEL, D.; SHARKH, S. A. A critical review of using the Peukert equation for determining the remaining capacity of lead-acid and lithium-ion batteries. **Journal of power sources**, v. 155, n. 2, p. 395-400, jun. 2006.

EHSANI, M.; GAO, Y.; GAY, S. E.; EMADI, A. **Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles: Fundamentals, Theory, and Design**. 1ª. ed. Boca Raton, FL: CRC Press, ISBN: 0-8493-3154-4, 2004.

FERREIRA, A. A.; POMILIO, J. A.; DA SILVA, E. P.; CAMBRA, D. V. P. **Metodologia para dimensionar múltiplas fontes de suprimento de energia de veículos elétricos**. In: VE 2007 - 5º Seminário e Exposição de Veículos Elétricos. 2007.

GONÇALVES, C. C. **Veículos Híbridos: desempenho, eficiência energética e dinâmica veicular**. 2018. 20 p. Monografia (Bacharelado em Engenharia Mecânica) - Centro Universitário Hermínio Ometto, Araras, SP.

LARMINIE, J.; LOWRY, J. **Electric Vehicle Technology Explained**. 2. ed. John Wiley & Sons, ISBN 978-1-119-94273-3, 2012.

LUNA FILHO, G. J. **Previsão da autonomia de baterias de chumbo-ácido aplicadas a sistemas híbridos de geração de energia utilizando o método KiBaM**. 2017. 68p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco, Faculdade de Engenharia Elétrica, Recife, PE.

MONTEIRO, B. C. R.; MOTTA, L. P. **Frenagem Regenerativa**. 2015. 110 p. Monografia (Bacharelado em Engenharia Elétrica) – Universidade de Brasília, Brasília, DF.

PACHECO, F. Economia em destaque: energias renováveis: breves conceitos. **Conjuntura e Planejamento**: SEI, Salvador, v. 149, n. 1, p. 4-11, out. 2006.

PAREDES, M. G. S. P. **Frenagem Regenerativa em Veículo Elétrico Acionado por Motor de Indução: Estudo, Simulação e Verificação Experimental**. 2013. 115 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação, Campinas, SP.

PAREDES, M. G. S. P. **Study of electric vehicle modeling and strategy of torque control for regenerative and anti-lock braking systems**. 2018. 111 p. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação, Campinas, SP.

PFRIEM, M; GAUTERIN, F. Development of real-world driving cycles for battery electric vehicles. **World Electric Vehicle Journal**, v. 8, n. 1, p. 14-24, jun. 2016.

SANTINI, D. J. Electric Vehicle Waves of History: Lessons Learned about Market Deployment of Electric Vehicles, **Electric Vehicles: The Benefits and Barriers**, Dr. Seref Soylu (Ed.), ISBN: 978-953-307-287-6, InTech. 2011.

SANTOS, A. H. C. **Uma contribuição ao estudo dos freios de atrito para aplicação em frenagem regenerativa**. 2009. 173 p. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, Campinas, SP.

SOUZA, R. B. **Uma visão sobre o balanço de energia e desempenho em veículos híbridos**. 2010. 124 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, Campinas, SP.

TANAKA, C. N. **Metodologia do dimensionamento do sistema de tração para veículos elétricos**. 2013. 106 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo, Faculdade de Ciências, São Paulo, SP.

## 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)