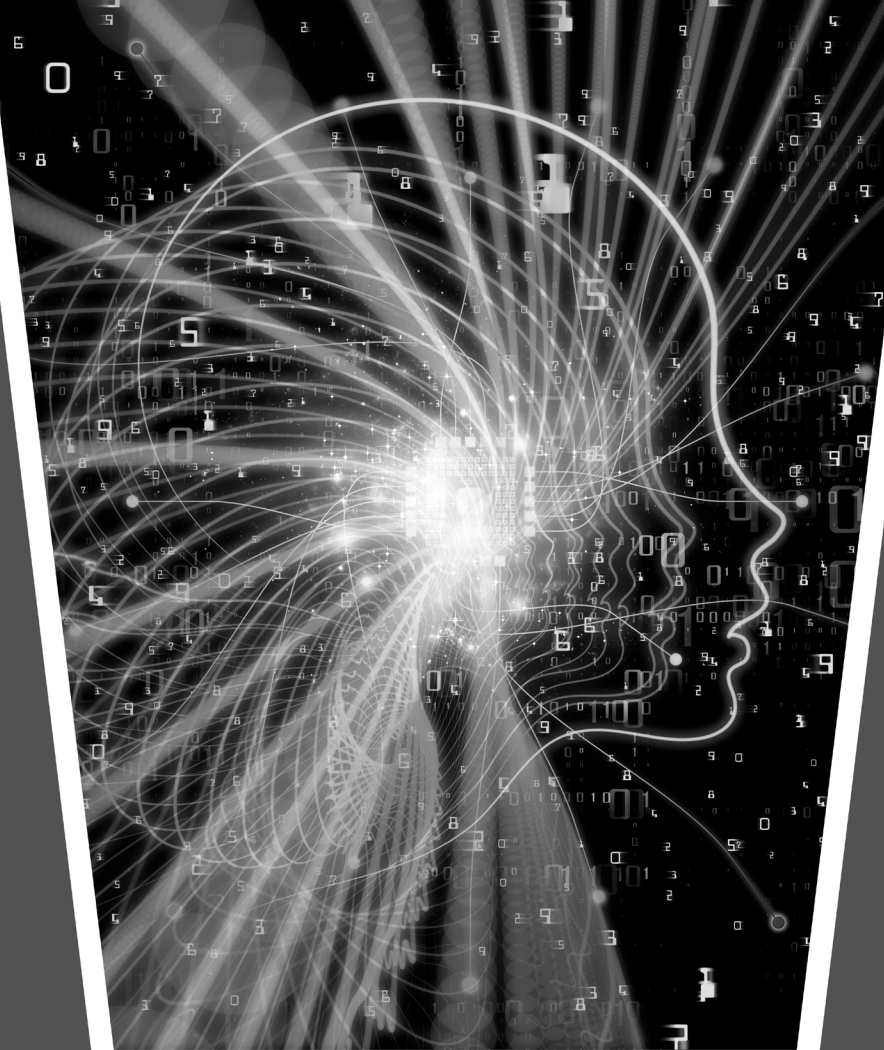


Engenharia Moderna: Soluções para Problemas da Sociedade e da Indústria 2

Filipe Alves Coelho
Monica Tais Siqueira D'Amelio Felipe
Vicente Idalberto Becerra Sablón
(Organizadores)

Atena
Editora

Ano 2021



Engenharia Moderna: Soluções para Problemas da Sociedade e da Indústria 2

Filipe Alves Coelho
Monica Tais Siqueira D'Amelio Felipe
Vicente Idalberto Becerra Sablón
(Organizadores)

Atena
Editora

Ano 2021

Editora Chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Assistentes Editoriais

Natalia Oliveira

Bruno Oliveira

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto Gráfico e Diagramação

Natália Sandrini de Azevedo

Camila Alves de Cremo

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

Imagens da Capa

Shutterstock

Edição de Arte

Luiza Alves Batista

Revisão

Os Autores

2021 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2021 Os autores

Copyright da Edição © 2021 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.



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

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

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

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

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

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

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

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

Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior – Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Carlos Antonio de Souza Moraes – Universidade Federal Fluminense
Prof. Dr. Crisóstomo Lima do Nascimento – Universidade Federal Fluminense
Prof^ª Dr^ª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Daniel Richard Sant’Ana – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia
Prof^ª Dr^ª Dilma Antunes Silva – Universidade Federal de São Paulo
Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá
Prof. Dr. Elson Ferreira Costa – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima
Prof. Dr. Gustavo Henrique Cepolini Ferreira – Universidade Estadual de Montes Claros
Prof^ª Dr^ª Ivone Goulart Lopes – Instituto Internazionele 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
Prof^ª Dr^ª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Prof. Dr. Luis Ricardo Fernandes da Costa – Universidade Estadual de Montes Claros
Prof^ª Dr^ª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Pontifícia Universidade Católica de Campinas
Prof^ª Dr^ª Maria Luzia da Silva Santana – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof^ª Dr^ª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof^ª Dr^ª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof^ª Dr^ª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
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^ª Dr^ª Carla Cristina Bauermann Brasil – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados
Prof^ª Dr^ª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof^ª Dr^ª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia
Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Fágner Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará
Prof^ª Dr^ª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Jael Soares Batista – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof^ª Dr^ª Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa
Prof^ª Dr^ª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof^ª Dr^ª Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido

Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfnas

Ciências Biológicas e da Saúde

Prof. Dr. André Ribeiro da Silva – Universidade de Brasília

Prof^ª Dr^ª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas

Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás

Prof^ª Dr^ª Débora Luana Ribeiro Pessoa – Universidade Federal do Maranhão

Prof. Dr. Douglas Siqueira de Almeida Chaves – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri

Prof^ª Dr^ª Elizabeth Cordeiro Fernandes – Faculdade Integrada Medicina

Prof^ª Dr^ª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília

Prof^ª Dr^ª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina

Prof^ª Dr^ª Eysler Gonçalves Maia Brasil – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira

Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia

Prof. Dr. Fernando Mendes – Instituto Politécnico de Coimbra – Escola Superior de Saúde de Coimbra

Prof^ª Dr^ª Gabriela Vieira do Amaral – Universidade de Vassouras

Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria

Prof. Dr. Helio Franklin Rodrigues de Almeida – Universidade Federal de Rondônia

Prof^ª Dr^ª Iara Lúcia Tescarollo – Universidade São Francisco

Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande

Prof. Dr. Jefferson Thiago Souza – Universidade Estadual do Ceará

Prof. Dr. Jesus Rodrigues Lemos – Universidade Federal do Piauí

Prof. Dr. Jônatas de França Barros – Universidade Federal do Rio Grande do Norte

Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará

Prof. Dr. Luís Paulo Souza e Souza – Universidade Federal do Amazonas

Prof^ª Dr^ª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande

Prof. Dr. Marcus Fernando da Silva Praxedes – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia

Prof^ª Dr^ª Maria Tatiane Gonçalves Sá – Universidade do Estado do Pará

Prof^ª Dr^ª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma

Prof^ª Dr^ª Natiéli Piovesan – Instituto Federaci do Rio Grande do Norte

Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá

Prof. Dr. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados

Prof^ª Dr^ª Regiane Luz Carvalho – Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino

Prof^ª Dr^ª Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof^ª Dr^ª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Prof^ª Dr^ª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto

Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás

Prof^ª Dr^ª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná

Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás

Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia

Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof^ª Dr^ª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Prof^ª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Prof^ª Dr^ª 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
Prof^ª Dr^ª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Prof^ª Dr^ª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof^ª Dr^ª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Linguística, Letras e Artes

Prof^ª Dr^ª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins
Prof^ª Dr^ª Angeli Rose do Nascimento – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro
Prof^ª Dr^ª Carolina Fernandes da Silva Mandaji – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof^ª Dr^ª Denise Rocha – Universidade Federal do Ceará
Prof. Dr. Fabiano Tadeu Grazioli – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Prof^ª Dr^ª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná
Prof^ª Dr^ª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará
Prof^ª Dr^ª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste
Prof^ª Dr^ª 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
Prof. Dr. Alex Luis dos Santos – Universidade Federal de Minas Gerais
Prof. Me. Alexandro Teixeira Ribeiro – Centro Universitário Internacional
Prof^ª Ma. Aline Ferreira Antunes – Universidade Federal de Goiás
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Prof^ª Ma. Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa
Prof^ª Dr^ª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Prof^ª Dr^ª Andrezza Miguel da Silva – Faculdade da Amazônia
Prof^ª Ma. Anelisa Mota Gregoleti – Universidade Estadual de Maringá
Prof^ª 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
Prof^ª 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. Christopher Smith Bignardi Neves – Universidade Federal do Paraná
Prof. Ma. 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. 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
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/UFPA
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 Fenomenologia & Subjetividade/UFPR

Prof. Me. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof^ª Ma. Lillian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará
Prof^ª Ma. Lilians Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ
Prof^ª Dr^ª Lívia 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
Prof^ª Ma. Luana Ferreira dos Santos – Universidade Estadual de Santa Cruz
Prof^ª Ma. Luana Vieira Toledo – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados
Prof^ª 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
Prof^ª Ma. Maria Elanny Damasceno Silva – Universidade Federal do Ceará
Prof^ª Ma. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Prof. Me. Pedro Panhoca da Silva – Universidade Presbiteriana Mackenzie
Prof^ª Dr^ª Poliana Arruda Fajardo – Universidade Federal de São Carlos
Prof. Me. Ricardo Sérgio da Silva – Universidade Federal de Pernambuco
Prof. Me. Renato Faria da Gama – Instituto Gama – Medicina Personalizada e Integrativa
Prof^ª 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
Prof^ª Ma. Silene Ribeiro Miranda Barbosa – Consultoria Brasileira de Ensino, Pesquisa e Extensão
Prof^ª Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo
Prof^ª Ma. Taiane Aparecida Ribeiro Nepomoceno – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Faculdade Regional Jaguaribana
Prof^ª 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

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira
Bibliotecária: Janaina Ramos
Diagramação: Camila Alves de Cremona
Correção: Giovanna Sandrini de Azevedo
Edição de Arte: Luiza Alves Batista
Revisão: Os Autores
Organizadores: Filipe Alves Coelho
 Monica Tais Siqueira D'amelio Felipe
 Vicente Idalberto Becerra Sablón

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

E57 Engenharia moderna: soluções para problemas da sociedade e da indústria 2 / Organizadores Filipe Alves Coelho, Monica Tais Siqueira D'amelio Felipe, Vicente Idalberto Becerra Sablón. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2021.

Formato: PDF
 Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader
 Modo de acesso: World Wide Web
 Inclui bibliografia
 ISBN 978-65-5706-999-8
 DOI 10.22533/at.ed.998211304

1. Engenharia. I. I. Coelho, Filipe Alves (Organizador). II. Felipe, Monica Tais Siqueira D'amelio (Organizadora). III. Sablón, Vicente Idalberto Becerra (Organizador). IV. Título.
 CDD 620

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

Atena Editora
 Ponta Grossa – Paraná – Brasil
 Telefone: +55 (42) 3323-5493
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br

DECLARAÇÃO DOS AUTORES

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

APRESENTAÇÃO

A ciência tenta obter conhecimento sobre a estrutura fundamental do mundo utilizando observações sistemáticas e experimentais. A engenharia explora o campo do desconhecido procurando sistematicamente por novas soluções para problemas práticos. O GPS, a Internet, antibióticos, dentre outros, surgiram em meio às dificuldades das guerras. O Brasil, apesar de não estar envolvido em nenhuma, vive outras batalhas diárias.

No primeiro volume deste livro trouxemos um pouco da produção científica de um grupo de pesquisadores da região de Campinas e neste novo volume, não diferente, apresentamos mais engenharia e ciência aos serviços da sociedade e da indústria. Entretanto, desta vez a produção ocorreu durante um dos eventos de mudança mais rápida observada na sociedade recente: a quarentena imposta pela pandemia de COVID-19.

O ano de 2020 será lembrado por todos como o ano mais atípico das nossas vidas. O distanciamento social afastou pesquisadores do contato diário com colegas e de seus materiais de trabalho. Pesquisar de casa parecia impossível. Vimos ao longo de 2020 que nossos alunos conseguiam fazer pesquisa nas empresas que trabalhavam. Que, com os devidos cuidados, poderíamos usar os laboratórios. Que a internet aproximou os distantes grupos de pesquisa. Que ciência se faz com pessoas dedicadas e apaixonadas pelo trabalho.

Pesquisamos. E este livro é a amálgama do árduo trabalho de produzir ciência e tecnologia em 2020. É a flor do mandacaru: aos olhos de quem vê, surgiu no ambiente aparentemente improvável e inóspito. O ano que passou fortaleceu nosso grupo de pesquisa e parcerias foram criadas e/ou fortalecidas. Reforçamos, porém, que este livro está mais para um *tweet* diante do livro que foi 2020. Um ano longo, com muito aprendizado, muitas quebras de paradigmas e que de certa maneira, parece ainda insistir em estar entre nós. Este livro foi um recorte das nossas vidas acadêmicas, uma lembrança que será registrada nos anais da academia, mas com significado muito particular para cada um dos autores que aqui depositaram as lembranças do que melhor fizeram neste período.

O ano que se adentra rapidamente traz a esperança de renovação, de mudanças não mais tão bruscas e de um ano que se inicia em regime laminar. E nesta correnteza que é a vida, celebramos neste volume trabalhos que envolvem inteligência artificial aplicada (inclusive para a COVID-19), aplicação ou desenvolvimento de materiais, melhorias de processos industriais e da gestão de linhas de produção, geração de energia, dentre outros temas.

Finalmente, agradecemos a Editora Atena por abraçar esta iniciativa, abrindo as portas para a divulgação do conhecimento para a comunidade científica e a sociedade.

Filipe Alves Coelho

Monica Tais Siqueira D'Amelio

Vicente Idalberto Becerra Sablón

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

THE INFLUENCE OF MEDICAL IMAGE ANALYSIS FOR COVID-19 AS A TECHNOLOGICAL MECHANISM TO SUPPORT THE GLOBAL PANDEMIC

Ana Carolina Borges Monteiro
Reinaldo Padilha França
Rangel Arthur
Giulliano Paes Carnielli
Vicente Idalberto Becerra Sablón
Yuzo Iano

DOI 10.22533/at.ed.9982113041

CAPÍTULO 2..... 11

THE IMPACT OF COMPUTATIONAL INTELLIGENCE FOR COVID-19 AS A TECHNOLOGICAL RESOURCE TO SUPPORT THE GLOBAL PANDEMIC

Reinaldo Padilha França
Ana Carolina Borges Monteiro
Rangel Arthur
Andrea Coimbra Segatti
Vicente Idalberto Becerra Sablón
Yuzo Iano

DOI 10.22533/at.ed.9982113042

CAPÍTULO 3..... 21

***MACHINE LEARNING* PARA DELINEAMENTO EXPERIMENTAL EM ESTUDOS DA DOR - *IOT*, REDE NEURAL, *K-MEANS* E ÁRVORE DE DECISÃO**

Fábio Andrijauskas
Glaucilene Ferreira Catroli
Eduardo Keizo Horibe Junior
Matheus Gaboardi Tralli
Rafael Soares Torres
João Marcos Santos

DOI 10.22533/at.ed.9982113043

CAPÍTULO 4..... 33

RASTREX – SISTEMA DE RASTREAMENTO VEICULAR

Sergio Henrique Matukava
Vinicius Stanisoski Perassolli
Vicente Idalberto Becerra Sablón
Annete Silva Faesarella

DOI 10.22533/at.ed.9982113044

CAPÍTULO 5..... 47

AMBIENTE DE APRENDIZADO PARA ESTUDO DE MÁQUINAS VIRTUAIS EM SISTEMA EMBARCADO

Renan Romão Oliveira
Regimar Francisco dos Santos
Glaucilene Ferreira Catroli
Fábio Andrijauskas

DOI 10.22533/at.ed.9982113045

CAPÍTULO 6..... 58

GERADOR DE ENERGIA PIEZOELÉTRICO: AQUISIÇÃO, MONITORAMENTO E CONDICIONAMENTO DO SINAL GERADO

Darilson Francisco das Dores Antunes
Vicente Idalberto Becerra Sablón

DOI 10.22533/at.ed.9982113046

CAPÍTULO 7..... 70

SUORTE PARA MÓDULO FOTOVOLTAICO COM INCLINAÇÃO VARIÁVEL

Felipe de Marco Costa
Rafael Aparecido Bragante
Annete Silva Faesarella
Filipe Alves Coelho

DOI 10.22533/at.ed.9982113047

CAPÍTULO 8..... 83

VIABILIZAÇÃO DO USO DE MANUFATURA ADITIVA NOS PROCESSOS DE AGITAÇÃO E MISTURA

Tadeu Henrique Aparecido da Silva
Mateus Bueno Veris
Monica Tais Siqueira D'Amelio

DOI 10.22533/at.ed.9982113048

CAPÍTULO 9..... 95

MODELAGEM E SIMULAÇÃO DO PROCESSO DE FERMENTAÇÃO CONTÍNUA EM MICRO BIORREATOR

João Paulo Fioritti Godoy
Guilherme Brandão Silva
Filipe Alves Coelho

DOI 10.22533/at.ed.9982113049

CAPÍTULO 10..... 107

CELULOSE NANOFIBRILADA: ESTUDO DA OBTENÇÃO E APLICAÇÃO NA INDÚSTRIA PAPELEIRA

Marcela Renata Zenni

Caroline Pereira dos Santos
Roberta Martins da Costa Bianchi

DOI 10.22533/at.ed.99821130410

CAPÍTULO 11..... 120

DESENVOLVIMENTO DE BIOPOLÍMERO A PARTIR DO AMIDO DE CHUCHU E AVALIAÇÃO DA INCORPORAÇÃO DO RESÍDUO DE CAFÉ E ÓLEO DE BURITI

Fernanda Andrade Tigre da Costa
Jairo Paschoal Júnior
Rosana Zanetti Baú

DOI 10.22533/at.ed.99821130411

CAPÍTULO 12..... 135

ROLHA DE RESÍDUO: A INOVAÇÃO A PARTIR DO DESCARTE DE *PALLETS*

Laura Bisetto Zanella
Liliani Alves da Silva
Tainah Cristina Cunha Muner
Monica Tais Siqueira D'Amelio

DOI 10.22533/at.ed.99821130412

CAPÍTULO 13..... 148

PRODUÇÃO DE COSMECÊUTICOS COM ÓLEO DE CAFÉ PARA PREVENÇÃO DO FOTOENVELHECIMENTO

Vanessa Cristina de Barros Mariano
Natália Cristina de Brito Lopes
Iara Lúcia Tescarollo

DOI 10.22533/at.ed.99821130413

CAPÍTULO 14..... 161

SMLP - SISTEMA DE MONITORAMENTO DE LINHA DE PRODUÇÃO

Igor Vieira Lima
Kaique Franco Jarussi
Annete Silva Faesarella
Vicente Idalberto Becerra Sablón

DOI 10.22533/at.ed.99821130414

CAPÍTULO 15..... 174

SISTEMA DE MICRODRENAGEM

Beatriz de Souza Elias
Luiz Henrique Mascaro de Mendonça
Cristina das Graças Fassina
Renata Lima Moretto

DOI 10.22533/at.ed.99821130415

CAPÍTULO 16	187
CASCA DE BANANA COMO BIOADSORVEDOR DE PIGMENTOS DE MEIO AQUOSO	
Gláucia Rodrigues	
Brenda Gabriela	
Monica Tais Siqueira D'Amelio Felipe	
DOI 10.22533/at.ed.99821130416	
CAPÍTULO 17	199
MINIMIZAÇÃO DE SOBRECARGA ESTRUTURAL NA BLINDAGEM DA RADIOATIVIDADE	
André Augusto Gutierrez Fernandes Beati	
Heitor Berger Campos	
Angela Aparecida Brandão	
Natália Ribeiro da Silva	
DOI 10.22533/at.ed.99821130417	
SOBRE OS ORGANIZADORES	220
ÍNDICE REMISSIVO	221

GERADOR DE ENERGIA PIEZOELÉTRICO: AQUISIÇÃO, MONITORAMENTO E CONDICIONAMENTO DO SINAL GERADO

Data de aceite: 16/03/2021

Data de submissão: 15/01/2021

Darilson Francisco das Dores Antunes

Laboratório de Eletrônica e Sistemas Digitais
Universidade Metodista de Piracicaba
(LESD/UNIMEP)
Santa Bárbara D'Oeste – São Paulo
<http://lattes.cnpq.br/2424351284075674>

Vicente Idalberto Becerra Sablón

Laboratório de Eletrônica e Sistemas Digitais
Universidade Metodista de Piracicaba
(LESD/UNIMEP)
Santa Bárbara D'Oeste – São Paulo
Universidade São Francisco
Itatiba – São Paulo
<http://lattes.cnpq.br/6350047853320576>

RESUMO: Nos últimos anos, os estudos na área de geração de energia alternativa têm sido de grande importância, sendo o foco de várias pesquisas. Entretanto, na última década, várias técnicas de geração de energia de baixa potência têm sido pesquisadas, com o objetivo de suprir a demanda de sistemas eletrônicos. Sistemas como telefones celulares, sensores sem fio, novos serviços na área de telemedicina, entre outros, que tem baixo consumo de energia, podem ser beneficiados. Dentro deste contexto, este artigo apresenta a o desenvolvimento e implementação de um sistema que permite a caracterização, aquisição, monitoramento e condicionamento do sinal produzido por um gerador piezoelétrico construído com materiais cerâmicos, implementado no Laboratório de Eletrônica

e Sistemas Digitais – LESD da Faculdade de Engenharia, Arquitetura e Urbanismo – FEAU da Universidade Metodista de Piracicaba – UNIMEP. O sistema proposto permite caracterizar a não linearidade inerente ao material piezoelétrico, a resposta em frequência do sistema, a potência elétrica gerada e a estabilidade do sistema em função da intensidade da força de excitação aplicada.

PALAVRAS-CHAVE: Piezoelétricos, gerador piezoelétrico, material piezoelétrico, geração de energia, energia alternativa.

PIEZOELECTRIC POWER GENERATOR: ACQUISITION, MONITORING AND SIGNAL CONDITIONING

ABSTRACT: In recent years, studies in the area of alternative energy generation have been of great importance, being the focus of several researches. However, in the last decade, several low power generation techniques have been researched, to supply the demand for electronic systems. Systems such as cell phones, wireless sensors, new services in the field of telemedicine, among others, which have low energy consumption, can benefit. Within this context, this project will allow the realization of a system that allows the characterization, acquisition, monitoring and conditioning of the signal produced by a piezoelectric generator, built with ceramic materials, implemented in the Electronics and Digital Systems Laboratory - LESD of the Faculty of Engineering, Architecture and Urbanism - FEAU of the Piracicaba Methodist University - UNIMEP. The proposed system will allow to characterize the non-linearity inherent to the piezoelectric material, the frequency response of the system, the electrical power generated and the stability of the system according to the

intensity of the applied excitation force.

KEYWORDS: Piezoelectric, piezoelectric generator, piezoelectric material, power generation, alternative energy.

1 | INTRODUÇÃO

O poder transformador que a inovação tecnológica detém, em termos de melhorias no estilo de vida, otimização de processos industriais e da globalização de informações, tem gerado uma crescente demanda por dispositivos portáteis com alto desempenho, eficiência energética e usabilidade e, dessa forma, abrindo cada vez mais espaços para os equipamentos baseados no conceito de energy harvesting (KONG *et al.*, 2014) onde grande parte possui dispositivos constituídos por materiais piezoelétricos, nos quais se pode obter energia elétrica de baixa potência a partir de sua exposição a uma tensão ou stress mecânico (PRYIA; INMAN, 2009).

É interessante perceber o desenfreado crescimento científico-tecnológico em função de uma dada característica de certos materiais com estudos existentes há mais de um século. A piezoelectricidade foi descoberta pelos irmãos Curie em 1880, porém naquele momento não houve tanta transformação de mercado em função desse feito, mesmo que, da perspectiva da física de estado sólido, os piezoelétricos – materiais cristalinos que se tornam eletricamente polarizados quando sujeitos a um esforço mecânico ou, de modo inverso, produzem mudanças em seu perfil físico sob a aplicação de um campo elétrico – certamente merecem estudos (HANEYWANG; WERSING, 2008).

Construir um gerador de energia piezoelétrico, bem como um sistema de aquisição e condicionamento de sinais, no entanto, demanda um conhecimento profundo das características dos materiais, como sua densidade de potência elétrica em função da força aplicada, considerando as possíveis perdas em conversão de sinal, deterioração do sistema de aplicação e do próprio material piezoelétrico em questão, estabilidade das características do material em função da temperatura do ambiente onde este será aplicado, reprodutibilidade, confiabilidade, custo de produção e custo-benefício sobre uma aplicação já existente (se for o caso) (HANEYWANG; WERSING, 2008).

Do ponto de vista funcional, uma vez que dispositivos eletromagnéticos possuem a capacidade de geração em função da alternância de seus dipolo magnéticos, os piezoelétricos desempenham tal função por meio de sua estrutura cristalina, segmentada por dipólos elétricos, que se reorientam a partir do esforço mecânico aplicado gerando um campo elétrico (ALIREZA; ONAR, 2010). Basta saber, dependendo do sistema ou produto demandado, qual método de geração atende aos requisitos de mercado, anteriormente citados, já visando uma produção em massa.

No caso de um gerador de energia piezoelétrico de baixa potência, inúmeras podem ser suas aplicações, principalmente quando conjugado com um sistema que possa armazenar essa energia (BOWEN; KIM, 2016), autonomizando o equipamento em toda sua estrutura. Porém o condicionamento de sinais necessita de uma modelagem do processo, possibilitando a transdução do sinal medido, obtendo dados em nível de interface, para, em função dessa modelagem, determinar um ponto fixo de esforço a ser repetidamente

aplicado, obtendo uma frequência a ser filtrada e conseqüentemente um limiar a ser seguido, podendo então dimensionar e otimizar a geração de energia.

Em função das necessidades específicas e detalhamento dos métodos de obtenção de energia em materiais piezoelétricos, objetivando ainda o desenvolvimento de uma plataforma completa de aquisição e monitoramento de dados, a bibliografia utilizada contempla uma literatura diversificada, revendo conceitos de eletrônica e microeletrônica, passando pela obtenção das características dos materiais, impondo conceitos de métodos e fatores de acoplamentos mecânicos e prospectando mercados de produtos similares.

1.1 Efeito piezoelétrico

O efeito piezoelétrico pode ser entendido como uma interação entre uma força mecânica aplicada em materiais cristalinos que se transforma em eletricidade, produzindo um campo elétrico considerável, capaz de provocar uma descarga elétrica se for o caso. É um processo reversível já que o processo inverso produz num cristal uma interação mecânica (FRANKLIN, 2014)(CHENG, 2012).

Consideram-se dois efeitos principais: efeito piezoelétrico direto e o efeito piezoelétrico inverso. O efeito direto corresponde à geração de energia como consequência da aplicação de uma força mecânica, enquanto o inverso corresponde a uma alteração mecânica sempre que o material é submetido a uma tensão elétrica.

O efeito direto foi descoberto pelos irmãos Pierre e Jacques Curie na França, em 1880, ao investigarem que a pressão mecânica exercida sobre um cristal de quartzo produzia um potencial elétrico. A palavra “*pieze*” vem do grego e significa pressão, (*πιεζειν* - *piezein*), que expressa a ideia de apertar/pressionar. Os irmãos Curie, no entanto, não previram o efeito piezoelétrico inverso. O efeito contrário foi matematicamente deduzido por Gabriel Lippmann em 1881. Os Curie imediatamente confirmaram a existência do efeito reverso, que evidenciou de forma quantitativa a reversibilidade completa do processo eletromecânico para as deformações em cristais piezoelétricos (HANEYWANG; WERSING, 2008).

Numerosos dados experimentais mostram que, apesar do caráter linear entre campos elétricos e mecânicos, a resposta piezoelétrica de uma amostra de cristal de quartzo - SC (utilizado nos experimentos dos Curie) - é muitas vezes intrincada devido a várias interconexões entre as propriedades piezoelétricas e outras como a elasticidade, o dielétrico (incluindo piro e ferroelétricas), propriedades magnéticas e térmicas. O efeito piezoelétrico em cerâmicas ferroelétricas polidas (FC) e amostras compostas com base em SCs ou FCs é ainda mais complexo em comparação com o efeito piezoelétrico em cristal de quartzo ferroelétricos devido à influência da microestrutura, orientações de domínio, contribuições intrínsecas e extrínsecas, estruturas heterofásicas etc. (BOWEN; KIM, 2016).

Os geradores piezoelétricos de baixa potência, conhecidos também como microgeradores, são desenvolvidos usando o efeito direto, no qual uma força mecânica externa é aplicada e uma parte da energia é armazenada em forma de energia potencial elástica e a outra é associada ao campo elétrico induzido (DAQAQ, 2012) (PINHEIRO, 2007).

2 I VISÃO GERAL DO SISTEMA PROPOSTO

Um sistema de aquisição de dados será acoplado ao gerador e fará a coleta do sinal gerado. Esses dados, que opcionalmente podem ser armazenados em um banco de dados local, serão enviados em pacotes para um banco de dados central. Cada pacote enviado ao servidor central é antes analisado por um aplicativo inteligente que tentará identificar padrões e anexará o resultado ao pacote.

Os sistemas essencialmente digitais dependem de um condicionador de sinais para a adequação dos sinais analógicos e de um conversor analógico/digital (A/D). A Figura 2.1 mostra a estrutura geral do sistema proposto:



Figura 2.1. Estrutura do Sistema de Aquisição de Dados

A estrutura de um sistema de aquisição de dados pode ser dividida em duas partes, sendo elas o Software e o Hardware, sendo que a última se divide em três: Sensor/Transdutor, Condicionador de Sinais, Conversor A/D e Controle.

Esse sistema contempla ainda:

- Sensores – são os elementos que captam as variações físicas;
- Transdutores – transformam uma variação física em sinais elétricos;
- Condicionador de sinais – são circuitos eletrônicos cuja finalidade é adequar os sinais analógicos para a conversão digital. Seus principais componentes são os amplificadores, filtros e isoladores;
- Conversor A/D e controles associados - é o elemento responsável por traduzir uma grandeza elétrica em uma representação numérica adequada ao tratamento digital do sinal adquirido;
- Programa Computacional - controla o sistema, permitindo ao usuário parametrizar, comandar, e monitorar o processo de aquisição. Ele armazena os sinais captados na forma de arquivos, que podem ser consultados posteriormente e possibilitam a visualização e tratamento dos dados adquiridos, bem como a geração de relatórios e outros (LAMBERTINI; DEMARTINI, 2003).

2.1 Dados de aplicabilidade

Nos dias de hoje as inovações em aplicação de materiais piezoelétricos, nos mais variados segmentos, podem ser vistas na Tabela 2.1:

Campo de Inovação	Materiais e Perfis	Aplicação Principal
Frequência/ Padrões de Tempo	Placas de Cristal de Quartzo	Controle Preciso de Frequência
Filtros de Frequência Mecânica	Placas Cerâmicas de PZT sob Medida	Controle e Filtragem de Frequência a custo reduzido
Dispositivos de Superfície de Onda Acústica (SAW – Surface Acoustic Wave)	LiNbO ₃ , LiTaO ₃ , Substratos de Cristal de Quartzo	Processamento de Sinal Passivo para Comunicação via Wireless, Identificação, Sensoriamento etc.
Dispositivos de Ondas Acústicas em Massa (BAW – Bulk Acoustic Wave)	Placas Cerâmicas de PZT duro, AlN, Filmes de ZnO	Processamento de Sinal Passivo para Comunicação via Wireless, Identificação, Sensoriamento etc.
Buzinas	Fitas Cerâmicas de PZT Macio	Alertas Sônicos
Microfones e Alto-falantes	Fitas de PZT Macio, Filmes Finos de PZT	Telefone, Pressão Sanguínea
Imagem Ultrassônica	Placas em Tiras de PZT Macio ou de Cristais de PZNT, Filmes Finos de PZT	Diagnóstico Médico
Hidrofonia	PZT Duro de Vários Perfis, Compósitos de PZT Macio	Fonte e Detectores para Localização de Som
Transdutores de alta potência e geração de onda de choque	Discos Cerâmicos de PZT Duro	Usinagem, Limpeza Ultrassônica (US Cleaning), Litotricia
Atomizador	Discos Cerâmicos de PZT Duro	Atomizadores de Óleo, Umidificadores, Aerossóis
Ultrassom aéreo	Discos Cerâmicos de PZT Duro	Medidores de Distância, Alarmes de Intrusão
Impressoras	Cerâmicas Multicamadas de PZT Macio	Unidades de Jato de Tinta e Agulha
Motores e Transformadores	Anéis de Filmes Finos de PZT, Placas de PZT Duro, PZT Macio	Motores e Transformadores Compactos, Miniaturizados
Atuadores Bimorfos	Cerâmicas Multicamadas de PZT	Pneumática, Microbombas, Braille para Cegos
Atuadores Multicamadas	Pilhas com Multicamadas de PZT Macio	Ótica e Posicionamento Fino
Sistemas de Injeção	Pilhas com Multicamadas de PZT Macio	Válvulas de Combustível Automotivo
Sensores de Aceleração	Anéis e Placas de PZT Macio	Ramos: Automotivo, Automação e Médico
Sensores de Pressão e Onda de Choque, Sensores de Vazão, Sensores de Massa	Substratos de LiNbO ₃ , Folhas de PVDF, Discos de PZT Macio, Discos de Quartzo, Substratos de ZnO, Filmes Finos de AlN	Ramos: Automotivo, Automação e Médico

Ignição	Cilindros de PZT Duro	Ignição de Gás e Combustíveis
Dispositivos adaptativos	Vários Perfis de PZT Macio, Pilhas com Multicamadas de PZT Macio	Ruídos Ativos e Supressão de Vibração, Controle Adaptativo, Filtragem de controle de posicionamento de Aeronaves Cauda

Tabela 2.1 Piezoelectricidade, Campos de Inovação e Aplicações Importantes (HANEYWANG; WERSING, 2008)

A Tabela 2.1 mostra o grande número de aplicações atualmente existentes para os dispositivos piezoelétricos, tendo em vista o campo de inovação e até mesmo o perfil do material piezoelétrico acoplado ao sistema.

Sabendo-se que as aplicações são inúmeras e tendem a aumentar substancialmente, deve-se levar em conta questões sobre como a captação da energia do meio deve ser realizada (baseando-se em vibração, conversão de energia térmica, conversão de energia sonora, luz solar, energia mecânica proveniente da força do vento ou das ondas do mar). Em relação a essa estrutura de captação de energia do meio, temos uma representação gráfica na Figura 2.2 a seguir:

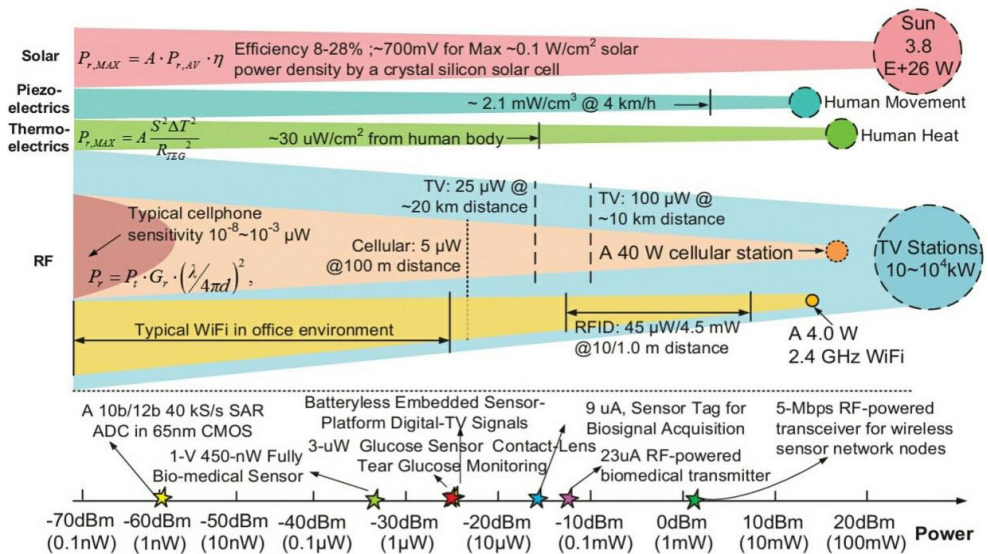


Figura 2.2. Estrutura do Sistema de Energy Harvesting (KONG et al, 2014)

A Figura 2.2 mostra a distribuição dos meios de captação de energia do meio, com seus níveis de densidade superficial de potência, e em função das informações obtidas nela, podemos determinar de melhor forma a abordagem de elemento primário de contato, ou base da excitação do material piezoelétrico.

3 | MATERIAIS E MÉTODOS

A consulta de artigos e livros acadêmicos atualizados e direcionados aos conceitos em foco, assim como a interface com o orientador quanto à abordagem científica e viabilidade constituem a metodologia empregada nesta pesquisa, assim como as vias de uso acadêmico como os sites do IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) e *Google Academic* constituem os materiais empregados nesta pesquisa.

Foi realizada uma pesquisa com objetivo de caracterizar e quantificar o sinal gerado. Em paralelo, realizou-se um estudo visando conhecer os equipamentos, sensores e as padronizações existentes, com o objetivo de definir os critérios para o desenvolvimento e dominar os elementos tecnológicos necessários.

Definidos os critérios, utilizou-se softwares de simulação como *COMSOL Multiphysics*, *Simulation X* e *MATLAB* para verificar o comportamento de um material específico (PZT) de modo não empírico. Os resultados do estudo serão publicados em veículos de divulgação nacionais, apresentados em congressos e registrados através de relatórios de pesquisa, disponíveis para consulta.

4 | DISCUSSÃO E RESULTADOS

O estudo do sistema de aquisição e condicionamento de sinais tornou-se possível utilizando métodos de simulação de um sistema de *energy harvesting* genérico, encontrando seu comportamento e gerando um software de condicionamento e monitoramento dos dados. Toda a simulação foi realizada sobre uma base já existente de dados, um modelo mecânico estrutural contemplando um dos materiais piezoelétricos mais utilizados em captação de energia para MEMS (Micro Electro Mechanical Systems): o PZT.

Desta forma, tem-se como resultado a construção da UI (*User Interface*) sobre o software *COMSOL Multiphysics 5.3 Windows Based* (versão de avaliação) e os resultados em transformadas de Fourier, em função do estudo aplicado ao comportamento da função no domínio da frequência/tempo, comuns na maioria das modelagens.

4.1 Sistema de aquisição e monitoramento

Foi construído um sistema de aquisição e monitoramento de dados (SCADA), referenciado na aplicação "*Piezoelectric Energy Harvester*" da Biblioteca MEMS do *COMSOL Multiphysics 5.3*. Esse sistema foi construído para uma verificação do comportamento de uma malha com material piezoelétrico em função da requisição de dados, ou seja, o monitoramento não é em tempo real e sim em função da demanda de verificação ou da geração de relatórios de comportamento.

4.2 Funções

O SCADA construído tem as funções de geração e monitoramento de gráficos e relatórios de: Stress, Potencial Elétrico, Resposta em Frequência, verificação da dependência de tensão e potência elétrica para com a carga resistiva de entrada global e verificação da dependência de tensão e potência elétrica para com a aceleração da oscilação, que também é uma variável de entrada global. A figura a seguir mostra como o

sistema relacional foi construído:

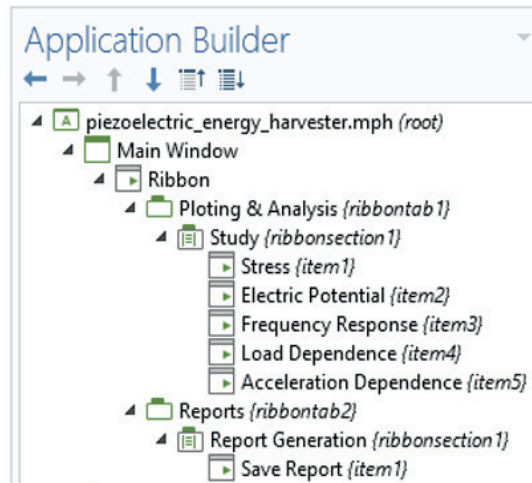


Figura 4.1. Topologia de Telas e Menus de Função do Sistema SCADA

4.3 Stress

Tela construída para monitorar e analisar graficamente a deformação em duas dimensões, em função da frequência instantânea e mostrando a variação desse stress em N/m^2 . A interface de usuário da tela “Stress” é vista na figura a seguir:

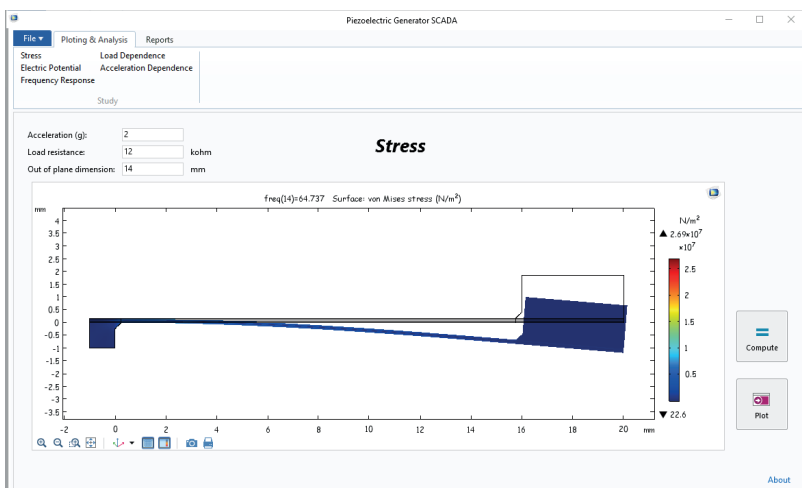


Figura 4.2. “Stress”

É possível ainda ampliar o gráfico, fazer uma imagem instantânea para arquivamento, imprimir o gráfico e ainda alterar variáveis de entrada e gerar um novo comportamento pressionando “*Compute*”.

4.4 Electric potential

Tela construída para monitorar e analisar graficamente a deformação em duas dimensões, em função da frequência instantânea e mostrando a variação do potencial elétrico em V. A interface de usuário da tela “*Electric Potential*” é vista na figura a seguir:

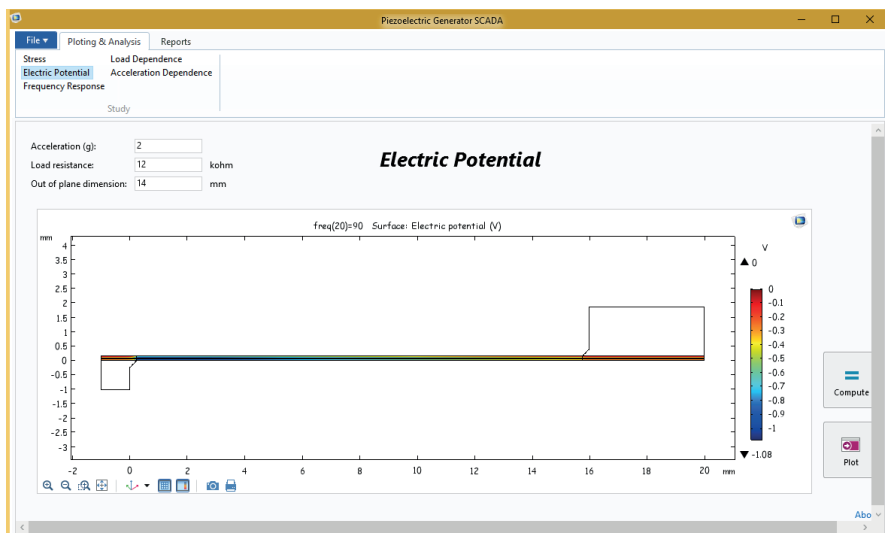


Figura 4.3. “*Electric Potential*”

É possível ainda ampliar o gráfico, fazer uma imagem instantânea para arquivamento, imprimir o gráfico e ainda alterar variáveis de entrada e gerar um novo comportamento pressionando “*Compute*”.

4.5 Frequency response

Tela construída para monitorar e analisar graficamente a variação de tensão e potência elétrica, num intervalo de frequência para uma dada potência mecânica inserida. A interface de usuário da tela “*Frequency Response*” é vista na figura a seguir:

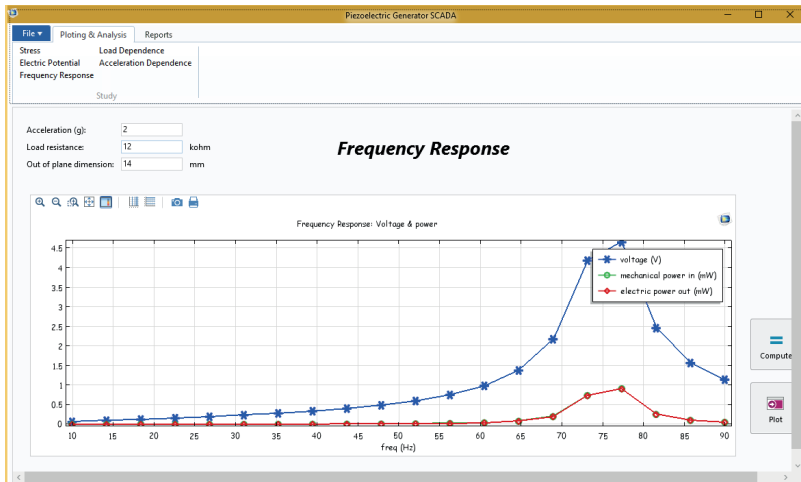


Figura 4.4. “Frequency Response”

É possível ainda ampliar o gráfico, fazer uma imagem instantânea para arquivamento, imprimir o gráfico, mudar os eixos para escala logarítmica e ainda alterar variáveis de entrada e gerar um novo comportamento pressionando “Compute”.

4.6 Load dependence

Tela construída para monitorar e analisar graficamente a variação de tensão e potência elétrica, em função da carga resistiva de simulação para uma dada potência mecânica inserida. A interface de usuário da tela “Load Dependence” é vista na figura a seguir:

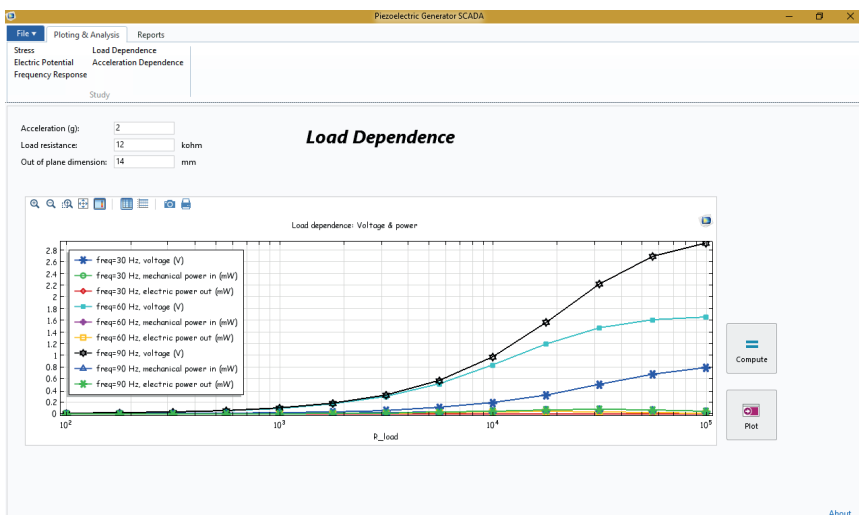


Figura 4.5. “Load Dependence”

É possível ainda ampliar o gráfico, fazer uma imagem instantânea para arquivamento, imprimir o gráfico, mudar os eixos para escala logarítmica e ainda alterar variáveis de entrada e gerar um novo comportamento pressionando “Compute”.

5 | CONCLUSÃO

Com o estudo realizado é possível inferir que aplicações que exploram o efeito piezoelétrico nascem diariamente no campo de pesquisas, por conta da possibilidade de construção de sistemas autoalimentados (que contemplam a geração de energia a ser consumida pelo sistema como foco da concepção do projeto) e da necessidade de compactação e criação de dispositivos eletrônicos autônomos de baixa potência, com aplicações, por exemplo, em *IoT* (Internet das Coisas).

Um gerador de energia piezoelétrico vem como ponte para o vasto número de sistemas que necessitam de autonomia, uma vez que a energia mecânica necessária para seu funcionamento está presente em abundância no ambiente, remetendo ao conceito de captação de energia “normalmente” não aproveitada (*energy harvesting*), caracterizando esse equipamento como renovável em níveis energéticos.

Construir um sistema SCADA para adquirir dados de um sistema a fim de constituir uma malha de controle de um gerador piezoelétrico com um nível de informação minucioso, irá tomar um grau de dificuldade imprevisível se a modelagem realizada empiricamente, já que todo comportamento já determinado pelas bibliografias é posto à prova em atividades experimentais, e todo experimentos tem sua margem de erro. Porém, a melhor forma de constatar a existência de um fenômeno é testando e esse estudo mostra quão vasta é a possibilidade de conhecimento e inovação nessa área, além de permitir prospectar que a existência de materiais piezoelétricos no nosso dia a dia tende a crescer de forma relativamente rápida e intensa.

REFERÊNCIAS

ALIREZA, K.; ONAR, C. **Energy Harvesting - Solar, Wind, and Ocean Energy Conversion Systems**, Estados Unidos, 2010. p287-301.

BOWEN, C.; TOPOLOV.; KIM, H. **Modern Piezoelectric Energy-Harvesting Materials**, Suíça, 2016. p3-40.

CHENG, B. “**Study of Piezoelectric Switch Circuit for Energy Harvesting with Bistable Broadband Technique by Work-Cycle Analysis**”, *Journal of intelligent Material and structure*, vol.24 no 2, pp. 180-193. 2012

DAQAQ, A. “**Transduction of a Bistable Inductive Generator Driven by White Exponential Correlated Gaussian Noise**”, *Journal of Sound and Vibrations*. vol. 330. p2554 – 2564. 2012

FRANKLIN, R. “**Caracterização De Uma Célula Tubular Piezoelétrica Para A Geração De Energia**”, Tese (Doutorado). UFPB. Brasil. 2014

HANEYWANG, W.; LUBITZ, K.; WERSING, W. **Piezoelectricity – Evolution and Future of a Technology**, Alemanha, 2008. p1-5.

KONG, L.B.; LI, T.; HNG, H. H.; BOEY, F.; ZHANG, T.; LI, S. **Waste Energy Harvesting - Mechanical and Thermal Energies**, S.I., 2014. p21-29.

LAMBERTINI, F.; DEMARTINI, C. “**Low-Cost Home Monitoring Using A Java-Based Embedded Computer**”, Proceedings of 4th International IEEE Engineering in Medicine and Biology Society Special Topic Conference on Information Technology Applications in Biomedicine, p. 342 - 345, 24 - 26 April. 2003.

PINHEIRO, L. “**Automação De Dados De Medidores De Deslocamento E Aceleração**”, Tese (Doutorado). UFOP. Brasil. 2007

PRYIA, S.; INMAN, D. **Energy Harvesting Technologies**, New York [Estados Unidos], 2009. p9-14.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Análises 21, 22, 24, 26, 30, 122, 125, 126, 127, 129, 130, 131, 132, 133, 161, 191, 204, 207, 208, 217

Antioxidante 122, 156, 157

Aplicação 22, 28, 30, 47, 48, 50, 51, 54, 57, 59, 60, 62, 64, 81, 83, 86, 107, 109, 110, 114, 115, 119, 131, 133, 134, 135, 142, 148, 149, 156, 170, 171, 172, 187, 188, 190, 211, 217

Aquisição 31, 33, 47, 58, 59, 60, 61, 64

B

Bioplástico 122

C

Casca de banana 187, 188, 189, 191, 192, 193, 194, 197, 198

Celulose 107, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 121, 122, 155

Ciclo de vida 136, 146

Computador 48, 54

Corantes 187, 189, 193, 195, 196, 197, 198

Cosméticos 83, 148, 149, 151, 152, 158, 159, 187, 188

D

Dados 21, 22, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 33, 35, 36, 38, 41, 42, 43, 44, 45, 49, 50, 51, 59, 60, 61, 62, 64, 68, 69, 71, 73, 74, 75, 76, 77, 95, 98, 99, 100, 101, 103, 104, 105, 122, 131, 145, 146, 151, 163, 167, 168, 170, 174, 181, 183, 190, 191, 193, 194, 214, 218

defletores 85

Desenvolvimento 21, 23, 24, 30, 31, 33, 37, 38, 39, 42, 47, 48, 49, 50, 54, 57, 58, 60, 64, 76, 81, 83, 95, 98, 108, 119, 120, 122, 132, 145, 148, 149, 150, 151, 152, 155, 157, 158, 159, 160, 162, 174, 175, 185, 188, 199, 200, 203, 206, 207, 218, 220

Dimensionamento 80, 81, 177, 178

E

Eficiência 21, 49, 59, 70, 71, 72, 74, 75, 76, 78, 80, 81, 97, 100, 109, 114, 161, 162, 164, 173, 188, 213, 219, 220

Efluentes industriais 187, 198

Energia 48, 58, 59, 60, 63, 64, 68, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 78, 80, 81, 82, 84, 95, 121, 135, 136, 137, 177, 189, 199, 200, 201, 202, 203, 204, 205, 206, 207, 208, 217, 219

Energia Solar 70, 71, 72, 73, 82

G

Géis 151, 155, 157

GPS 4, 33, 34, 36, 37, 38, 44, 46

I

Impelidores 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 93, 94

Indústria 4.0 30, 162, 163, 165, 173

Informação 23, 26, 27, 36, 37, 57, 68, 162, 169, 181, 218

Inteligência artificial 220

IoT 21, 22, 30, 38, 49, 68, 162, 163

I-Pai Wu 177

K

K-means 28, 29

L

Linha de produção 161, 162, 164, 165, 166, 167, 170, 171

M

Microcontrolador 30, 31, 37, 38, 39, 40, 47, 49, 57, 168

Microdrenagem 7, 174, 175, 177, 179, 184, 185

Modelagem 34, 59, 68, 82, 95, 98, 100, 105, 220

Modelo matemático 95, 98, 101, 105

Monitoramento 19, 33, 34, 49, 58, 60, 64, 161, 162, 163, 167, 169, 170, 171, 173, 175

N

Nanotecnologia 108

O

Óleo de café 148, 151, 154, 155, 157, 160

P

Papel 107, 108, 109, 110, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 151, 189, 202

Piezoelétrico 58, 59, 60, 63, 64, 68

Programação 38, 40, 41, 47, 48, 49, 54, 55, 57, 100, 101, 173

R

Rastreamento 33, 34, 39, 45, 83, 88

Rastreamento de partículas 83

Reator 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 103, 104, 105, 204

Rede neural 21, 24, 25

Rendimento 82, 97, 98, 99, 100, 120, 121, 123, 126, 131, 164, 192, 197

Rolhas de pallets 139

S

Saúde 203, 208, 217, 219

Simulação 34, 39, 64, 67, 75, 76, 77, 95, 100, 104, 105, 145, 171, 220

Solubilidade 120, 123, 126, 131, 132, 210

T

Testes comportamentais 21, 24

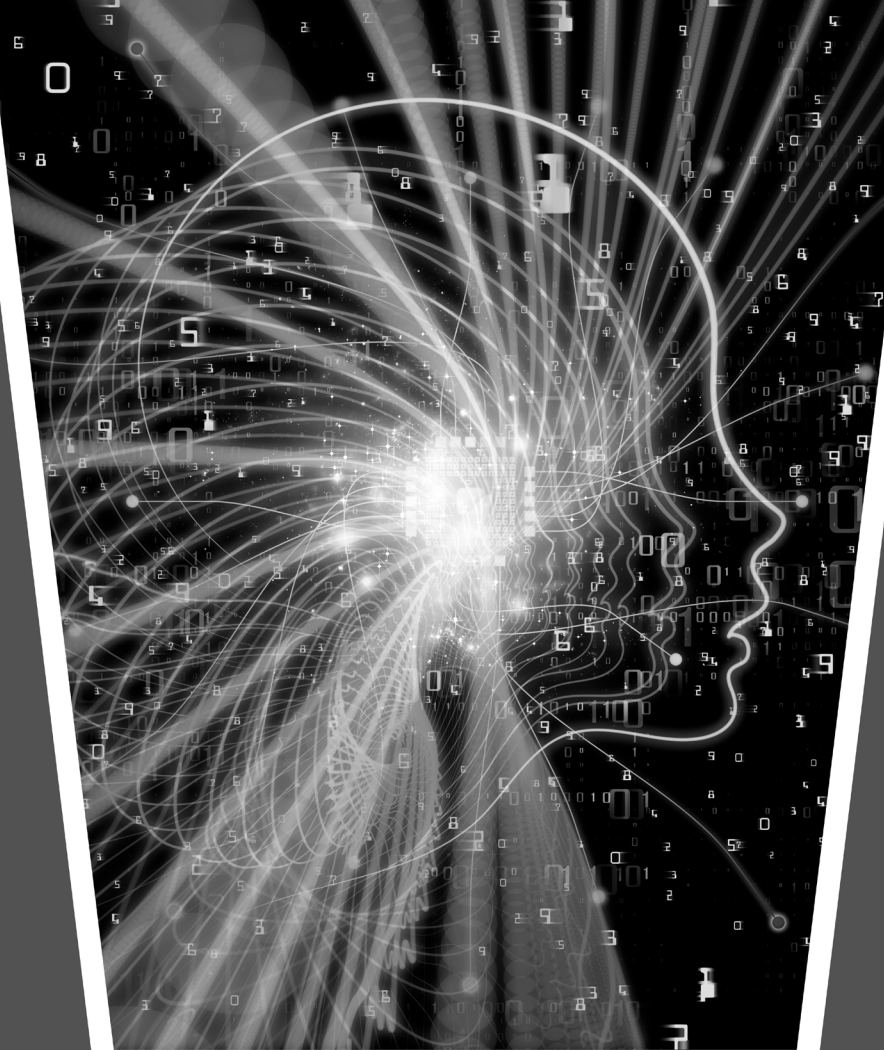
Transformação digital 163

V

Veículos 33, 34, 64

Virtual 12, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57

Vórtices 84, 85, 91



Engenharia Moderna: Soluções para Problemas da Sociedade e da Indústria 2



www.atenaeditora.com.br



contato@atenaeditora.com.br



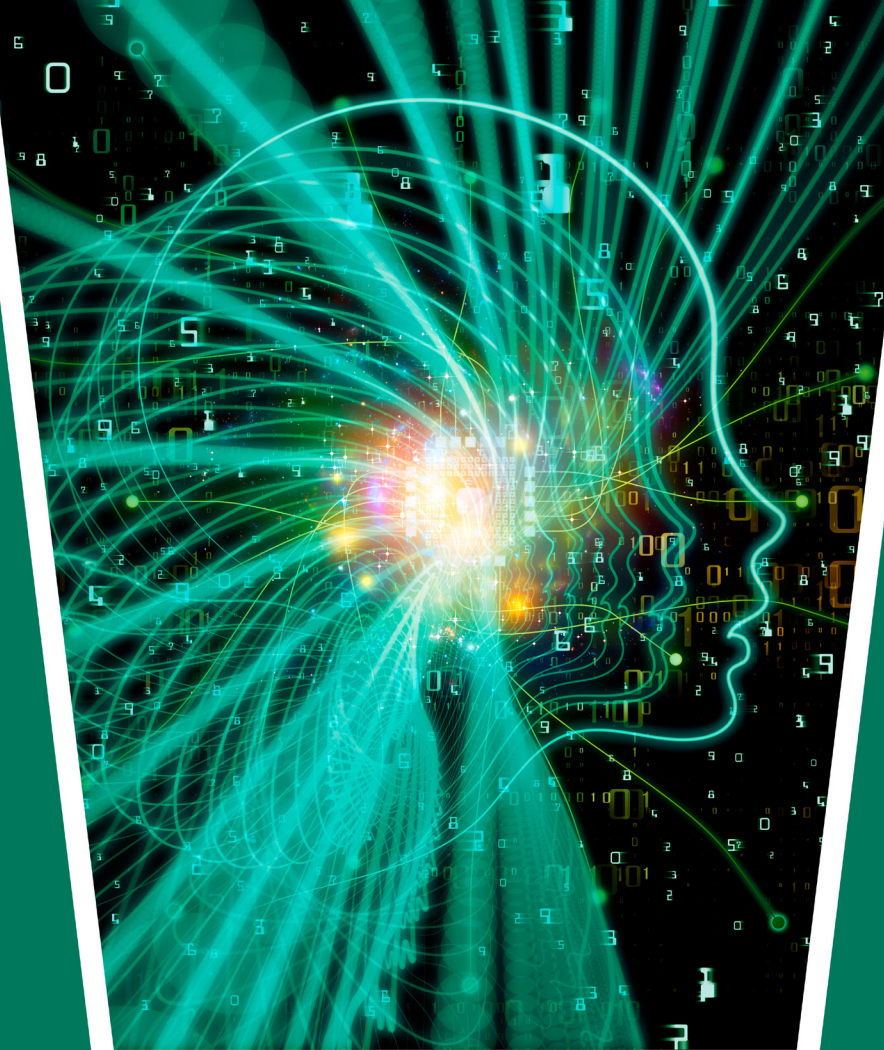
[@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)



www.facebook.com/atenaeditora.com.br

Atena
Editora

Ano 2021



Engenharia Moderna: Soluções para Problemas da Sociedade e da Indústria 2

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

**Atena**
Editora
Ano 2021