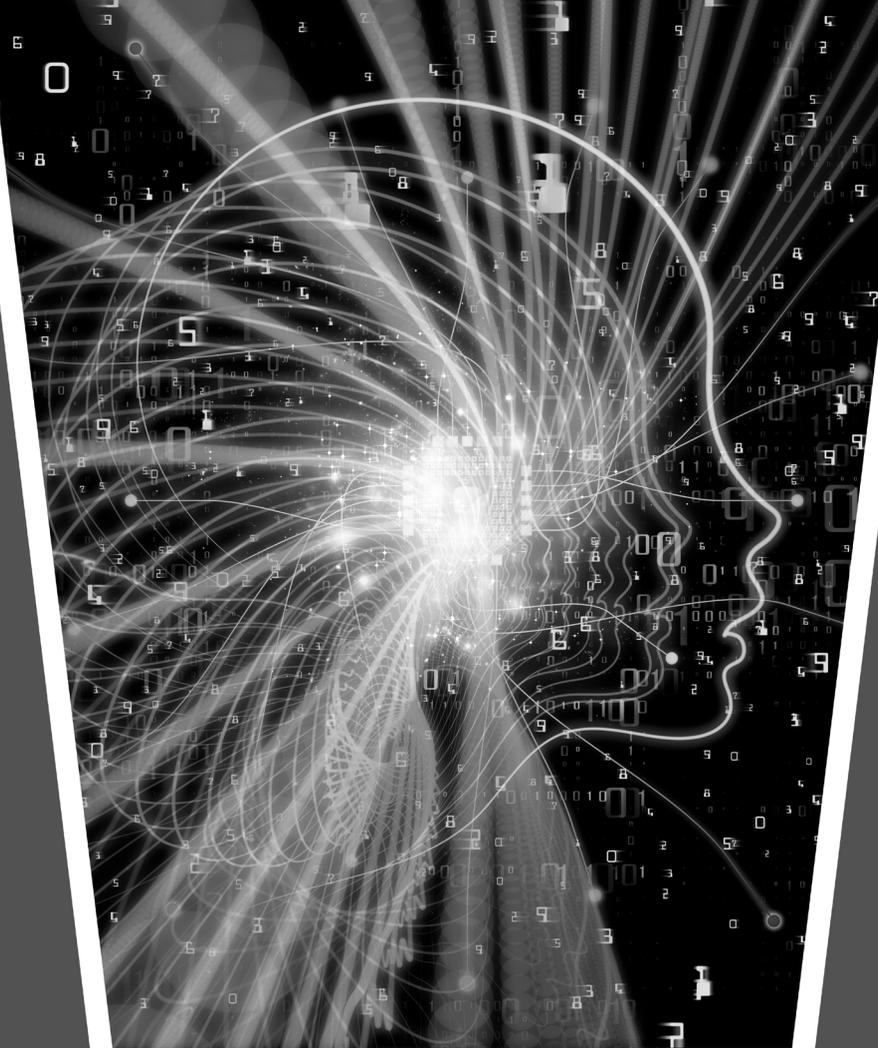


# Engenharia Moderna: Soluções para Problemas da Sociedade e da Indústria 2

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<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Cristina Gaio – Universidade de Lisboa  
Prof. Dr. Daniel Richard Sant’Ana – Universidade de Brasília  
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Dilma Antunes Silva – Universidade Federal de São Paulo  
Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá  
Prof. Dr. Elson Ferreira Costa – Universidade do Estado do Pará  
Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima  
Prof. Dr. Gustavo Henrique Cepolini Ferreira – Universidade Estadual de Montes Claros  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins  
Prof. Dr. Luis Ricardo Fernandes da Costa – Universidade Estadual de Montes Claros  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Pontifícia Universidade Católica de Campinas  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Maria Luzia da Silva Santana – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador  
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. 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<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia  
Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa  
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Fágner Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará  
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido

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

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

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

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas

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

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Débora Luana Ribeiro Pessoa – Universidade Federal do Maranhão

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

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

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Elizabeth Cordeiro Fernandes – Faculdade Integrada Medicina

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Eysler Gonçalves Maia Brasil – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira

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

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

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Gabriela Vieira do Amaral – Universidade de Vassouras

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

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

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Iara Lúcia Tescarollo – Universidade São Francisco

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

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

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

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

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

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

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande

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

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Maria Tatiane Gonçalves Sá – Universidade do Estado do Pará

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Natiéli Piovesan – Instituto 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<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Regiane Luz Carvalho – Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná

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

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

Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
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. 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  
Prof. Dr. Fabiano Tadeu Grazioli – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões  
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Profª Drª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná  
Profª Drª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará  
Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste  
Profª Drª Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia

### **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  
Profª Ma. Aline Ferreira Antunes – Universidade Federal de Goiás  
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. 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<sup>ª</sup> Ma. Lillian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Lilians Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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<sup>ª</sup> Ma. Luana Ferreira dos Santos – Universidade Estadual de Santa Cruz  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Luana Vieira Toledo – Universidade Federal de Viçosa  
Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados  
Prof<sup>ª</sup> 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<sup>ª</sup> Ma. Maria Elanny Damasceno Silva – Universidade Federal do Ceará  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri  
Prof. Me. Pedro Panhoca da Silva – Universidade Presbiteriana Mackenzie  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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<sup>ª</sup> 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<sup>ª</sup> Ma. Silene Ribeiro Miranda Barbosa – Consultoria Brasileira de Ensino, Pesquisa e Extensão  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Taiane Aparecida Ribeiro Nepomoceno – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Faculdade Regional Jaguaribana  
Prof<sup>ª</sup> 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 Cremo  
**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](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 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**

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

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

Data de aceite: 16/03/2021

Data de submissão: 15/01/2021

### Tadeu Henrique Aparecido da Silva

Universidade São Francisco  
Bragança Paulista - SP  
<http://lattes.cnpq.br/6033039791120888>

### Mateus Bueno Veris

Universidade São Francisco  
Bragança Paulista - SP

### Monica Tais Siqueira D'Amelio

Universidade São Francisco  
Bragança Paulista - SP  
<http://lattes.cnpq.br/0347184334616712>

**RESUMO:** Na engenharia química, uma das principais áreas da indústria são as operações unitárias e dentro destas, destacam-se a agitação e a mistura. Neste trabalho, através do estudo de impelidores de um agitador, impressos em impressora 3D, estudaram-se as correntes formadas por diferentes impelidores através do rastreamento de partículas pelo *software* Kinovea®. Os impelidores foram testados quanto à resistência, e apresentaram excelentes condições de uso. Foi possível visualizar as correntes tangencial, radial e axial no impelidor de pás retas, sendo a primeira, minimizadas pela inserção de chicanas. Nos impelidores tipo âncora foi identificada a corrente tangencial. O método se mostrou viável pela resistência do material e pela eficiente aplicação e identificação das correntes.

**PALAVRAS-CHAVE:** Agitação; mistura;

correntes; impressão 3D.

### USE OF ADDITIVE MANUFACTURING IN THE STIRRING AND MIXING PROCESSES

**ABSTRACT:** In Chemical Engineering, one of the main areas of the industry is unit operations, which includes agitation and mixing. In this work, the study of impellers of a stirrer, 3D printed, allowed the study of the currents formed by different impellers through the tracking of particles by the Kinovea® software. We tested impellers for resistance, and they presented excellent conditions of use. It was possible to visualize the tangential, radial and axial currents in the straight blade impeller. We minimized the first one by the insertion of baffles. In the anchor type impellers, we identified the tangential current. The method proved to be viable due to the material's resistance and the efficient application and identification of the currents.

**KEYWORDS:** Agitation; mixture; chains; 3D printing.

## 1 | INTRODUÇÃO

Na engenharia química há diversos segmentos em que o engenheiro pode atuar, desde a área de processos químicos até desenvolvimento de produtos. Área que fortemente deve ser compreendida por este engenheiro é a de operações unitárias, que são os meios pelos quais acontecem os processos industriais. Dentro das operações unitárias, a agitação e mistura se destacam pela sua diversidade industrial, e que devem promover perfeita homogeneização de materiais como em indústrias de cosméticos, de medicamentos e

aquelas que realizam reações heterogêneas.

Na engenharia química, projetos e construções de equipamentos estão em sua essência. Importante dizer que o domínio dos princípios físicos e químicos são de grande relevância quando se refere à fabricação. O êxito do empreendimento, não só depende do domínio dos princípios físicos e químicos, mas também do domínio dos desafios que a engenharia proporciona ao longo do projeto. O estudo de operações unitárias proporciona o conhecimento que definirá o alcance do objetivo desejado.

As operações unitárias são as etapas individuais de um processo, que visam ao tratamento, separação e o transporte físico de matéria e/ou energia (CREMASCO, 2014). Estão intimamente relacionadas com os princípios da termodinâmica e mecânica dos fluidos. Perry (2008) destaca os conceitos de cada operação unitária e aquelas que utilizam duas ciências é o processo de agitação e mistura que é possível atribuir o cálculo da potência do equipamento e a definição do tipo de impelidor para cada tipo de escoamento, de acordo com os componentes utilizados.

Em sua definição, a agitação é um movimento circulatório induzido de maneira direta sobre um material dentro de um recipiente. Destaca-se que a agitação consiste numa operação com uma única fase (monofásico). A partir do momento que se adiciona uma segunda é denominada de mistura. Conforme sua definição, mistura é uma distribuição aleatória de duas ou mais fases que inicialmente estavam separadas e visa a homogeneização (MCCABE, 2005) Como exemplo, pode-se citar, a própria produção de bolo caseiro, no qual colocam-se vários ingredientes, por consequência, várias fases e a batedeira tem a função de homogeneizar em uma única fase.

As duas operações têm o mesmo princípio, mas como elas diferem em quantidade de fases e cada uma delas tem propriedades físico-químicas diferentes, elas podem até apresentar equipamentos com o mesmo princípio, porém seus impelidores são diferentes. Decorrente disso, identifica-se que o equipamento deve ser bem projetado, o qual deve-se aos diversos fatores que influenciam no sistema (PERRY, 2008).

McCabe (2005) descreve que o projeto de um agitador consiste em um tanque de fundo arredondado para que não haja formação de zonas mortas, com um eixo apoiado, no centro, com um motor acoplado nele e que gira os impelidores na outra ponta do eixo

A escolha do impelidor depende do sistema que irá recebê-lo e das correntes que se deseja obter. Isso faz-se necessário que haja misturadores com impelidores diferentes para que misturem conforme as correntes de fluxo. Existem três tipos de correntes: axial, radial e tangencial, podendo ser mistas (PERRY, 2008).

Cada impelidor gera diferentes tipos de correntes, as quais podem ser de três tipos. As correntes axiais são correntes geradas pelo impelidor que ocorrem paralelas ao seu eixo. Esse tipo de corrente acontece quando o fluxo sai de um propulsor de cerca de 45°. O padrão de circulação que ocorre é *de recirculação*. As correntes radiais são correntes geradas pelo impelidor que ocorrem paralelas às pás do próprio impelidor (PERRY, 2008). As correntes tangenciais ocorrem quando o impelidor gera um fluxo circular e impulsiona o meio em direção em torno da parede do tanque. O grande problema desta corrente é a formação de vórtices, o qual é prejudicial ao sistema (MCCABE, 2005). A formação do vórtice não é viável para o processo de agitação e mistura, pois a ação centrífuga que age

no líquido em rotação pode gerar estratificação permanente em vários níveis, mantendo substâncias sem se misturar, também o acúmulo de sólidos embaixo do agitador e, por fim, a não homogeneização da mistura, entre outras consequências (SABIONI, 2013).

Cada tipo de corrente gera vórtice e para evitar sua formação deve buscar soluções diferentes. Vórtices em correntes tangenciais comumente são evitados através de chicanas (ou defletores), colocando de dois a quatro geometricamente separados (PERRY, 2008). Para o vórtice criado em correntes axiais pode-se descentralizar o sistema eixo-impelidor, inclinándolo em 15° ou mantê-lo no centro e usar de um a três defletores em tanques pequenos e quatro em tanques grandes (SPOGIS, 2002). Spogis (2002), faz um estudo utilizando fluidodinâmica computacional (CFD, do inglês, *computational fluid dynamics*) no qual comprova que o uso de chicanas permite a formação de correntes sem influência do vórtice, nos casos de correntes radiais e correntes axiais. Em correntes tangenciais não há necessidade do uso de chicanas, pois o fluxo rotacional dos meios viscosos não forma vórtices.

Para determinar o impelidor do sistema, é preciso conhecer o produto a ser agitado, pois ele quem irá determinar o tipo de impelidor a ser usado. Para produtos líquidos e de baixa viscosidade é indicado impelidores do tipo propulsores, pás e o de turbina. Para produtos líquidos com alta viscosidade, é indicado impelidores do tipo hélice como o âncora. Outros tipos de impelidores são usadas para casos específicos como a tipo turbina que é semelhante ao tipo pás e é eficaz em uma grande variedade de viscosidade. Também existe impelidores do tipo Rushton, que é em formato de disco, ela é usada em misturas de líquidos imiscíveis e gases, única contrariedade é o alto consumo de potência (SPOGIS, 2002). Neste trabalho o foco são os impelidores tipos hélices e o do tipo âncora.

Tipo Âncora: normalmente são chamadas de raspadores por ter o diâmetro das pás, próximo ao do tanque, de acordo com McCabe (2005), 96% do diâmetro do tanque. Eles são usados para misturas de componentes muito viscosos em regime laminar, no qual só há movimentação circular (SABIONI, 2013).

Tipo Pás: normalmente contém de 2 a 6 pás retas, têm como características a formação de correntes paralelas, sendo correntes radiais se as pás estiverem a 90° na vertical e axiais se as pás estiverem inclinadas a 45°. Em sistemas que a velocidade de agitação é baixa não há necessidade do uso de chicanas, porém em baixas velocidades há presença de vórtice, movimento circular do líquido (SABIONI, 2013).

A viabilização do estudo de diferentes geometrias para impelidores depende fortemente de estudos experimentais. Infelizmente, a fabricação de impelidores é um processo caro em função da matéria prima e da dificuldade de construção. Em geral se utiliza metais obtidos por processos como fundição, soldagem e até fresagem. Esses processos são executados por empresas especializadas e os equipamentos empregados nestes processos são de alto custo. Assim, com os recentes avanços no campo de materiais, surgiu a oportunidade de empregar um novo método de fabricação: a manufatura aditiva.

A manufatura aditiva é um processo que permite a criação de formas geométricas por meio da adição de materiais, normalmente através de empilhamento de camadas do material. O princípio dessa tecnologia se baseia no fato de que qualquer objeto, teoricamente, pode ser fatiado em camadas e posteriormente ser reconstruído com elas,

independentemente de sua complexidade (GEBHARDT e HÖTTER, 2016).

Os equipamentos utilizados para fabricação por manufatura aditiva são chamados de impressoras 3D. Estes dispositivos podem trabalhar com uma grande diversidade de materiais, desde polímeros até metais, cerâmicas, vidros e, recentemente, células vivas (JANG et al 2018). Dada a gama de materiais e aplicações, os preços também podem variar entre US\$ 200,00 até mais de € 800.000,00 (LOCKER, 2019 e GEBHARDT e HÖTTER, 2016).

Devido à escala industrial ser de grandes dimensões, o engenheiro deve evitar desperdícios e erros que causem gastos incisivos na empresa. O estudo desta operação unitária requer a variação de muitos itens de operação, como velocidade de rotação, viscosidade do fluido, temperatura, tipo de impelidor, entre outros. Logo é necessário o estudo em pequenas escalas, na qual ele supõe o necessário reduzido e assim que pronto o projeto realiza-se o aumento de escala real.

O estudo em escala laboratorial permite que todas essas variáveis sejam ajustadas. Entretanto, seu custo também deve ser minimizado. Uma alternativa é a aplicação da manufatura aditiva para a fabricação dos impelidores, pois desta forma, é possível testar diversos tipos em diferentes dimensões. Utilizando a manufatura aditiva, podem-se projetar diversos impelidores para estudar as diferentes correntes formadas no meio.

Neste âmbito, visando a otimização de um processo de agitação e mistura, dimensionaram-se impelidores para impressão 3D utilizando manufatura aditiva e estudaram-se as correntes que eles geram através do acompanhamento de uma esfera no meio, além de verificar parâmetros de processo como tempo de mistura e cálculo de potência.

## 2 | METODOLOGIA

### 2.1 Impressão e Testes dos Impelidores

As dimensões dos impelidores tiveram como limite as dimensões permitidas na impressora. A partir desta condição de contorno, os impelidores foram desenhados e definiu-se um padrão para todos os impelidores em função dos limites da impressora.

Foi utilizado o Software AutoCAD® e a impressão dos impelidores foi realizada na Impressora 3D Zmorph 2.0 SX disponível no Campus Bragança Paulista da Universidade São Francisco.

O material utilizado para a impressão foi o ABS de alta densidade, devido à necessidade que ele fosse resistente a altas rotações e que resistisse às forças de arraste e centrífuga no agitador. A configuração de impressão foi máxima densidade, com preenchimento maior que 75%, o que os tornou bem mais resistentes.

Assim que impressos os impelidores, foi testada sua resistência em dois tipos de rotores: primeiro em um *mixer* utilizado para fabricação de cremes no laboratório de química da USF e depois em uma furadeira Tork devido à sua alta potência e torque. O segundo teste com a furadeira, também foi realizado em água para verificar sua resistência às forças contidas em um tanque com um meio aquoso.

## 2.2 Teste de Resistência do material

Para saber a resistência dos impelidores, foram impressos três corpos de prova, que foram tracionados na máquina de tração da Universidade São Francisco do campus de Itatiba.

A impressão de corpos de provas foi realizada com a mesma densidade, porcentagem de preenchimento da impressão dos impelidores e o mesmo material. O corpo de prova seguiu os parâmetros da norma ASTM D638 (padronização de métodos de testes para propriedades de tensão de plásticos), como pode ser observado na Figura 1 e na Tabela 1.



Figura 1. Desenho do corpo de prova.

Sigla	Significado	Dimensão (mm)
W	Largura da seção estreita	13
L	Comprimento da seção estreita	57
WO	Largura total	19
LO	Comprimento total	165
G	Comprimento da seção de ensaio	50
D	Distância entre as garras	115
R	Raio do arco	76
T	Espessura	7

Tabela 1. Dimensões da amostra.

Fonte: Adaptado de: ASTM, 2014.

## 2.3 Determinação das Correntes

Para a identificação das correntes foram definidas algumas formas de acompanhamento das correntes, como o uso de pigmentos e objetos que assim carregados pelo fluxo auxiliam na sua identificação. Para caracterizar as correntes utilizado o *software* Kinovea®, que tem o código aberto, não é comercial, e é disponível para Windows®. Ele consegue seguir um ponto e, assim, traçar a trajetória deste.

O teste foi realizado em pequena escala. Para tal, foi utilizado um béquere de 5 litros com o impelidor fixado em um *mixer* de bancada e depois em um *mixer* manual, com

controle de velocidade. Como o béquer possui paredes transparentes, foi possível realizar as gravações para o *software* Kinovea® poder rastrear as partículas. Para os testes foram utilizados água como líquido menos viscoso e um amaciante de roupas da marca Downey, como líquido viscoso.

Para a visualização das correntes foram realizados seis testes, três com cada misturador, devido ao *mixer* de bancada ter velocidade inicial de 400 RPM, e o *mixer* manual possuir 3 velocidades: 100 RPM, 250 RPM e 400 RPM. O carvão ativado foi utilizado como partículas de rastreamento e o uso de chicanas, devido à velocidade e à força de arraste.

No meio aquoso foram utilizados os impelidores do tipo pá reta e partículas de carvão ativado para o rastreamento. E no amaciante, foram utilizados os impelidores do tipo âncora. A identificação dos testes está apresentada na Tabela 3.

Teste	Impelidor	Corrente Visualizada	Chicana	Mixer	Meio	Partícula
1	Pá Reta 90°	Radial	Não	Bancada	Água	Carvão Ativado
2	Pá Reta 90°	Radial	Sim	Manual	Água	Carvão Ativado
3	Pá Reta 45°	Axial	Não	Bancada	Água	Carvão Ativado
4	Pá Reta 45°	Axial	Sim	Manual	Água	Carvão Ativado
5	Âncora Chapada	Tangencial	Não	Bancada	Amaciante	Corante
6	Âncora Cruzada	Tangencial	Não	Manual	Amaciante	Corante

Tabela 3. Parâmetros dos Testes de Visualização das Correntes

Fonte: Próprio autor.

## 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1 Impressão e Testes dos impelidores

Foram escolhidos quatro tipos de impelidores para o estudo: dois do tipo pá reta, um com pá 90° e um com pá 45°, para a realização de testes com baixa viscosidade, e dois do tipo âncora, um chapado e outro cruzado, para líquidos com alta viscosidade. A impressora utilizada possui limite de altura da peça de 15 cm. A partir desta condição, os impelidores foram desenhados. Também se definiu um padrão para todos os impelidores em função da altura: o diâmetro do eixo deveria ter 1 cm, a pá deveria ter espessura de 0,3 cm e 5 cm de comprimento e o impelidor todo deveria ter largura máxima de 11 cm.

Para manter as dimensões padrões propostas, foram realizadas algumas adaptações como, por exemplo, no impelidor pá 45° foi necessário desenhar uma base quadrada para que fosse possível colocar o ângulo proposto no eixo. No impelidor âncora, foi colocada uma haste de suporte. Os impelidores impressos estão apresentados na Figura 2.

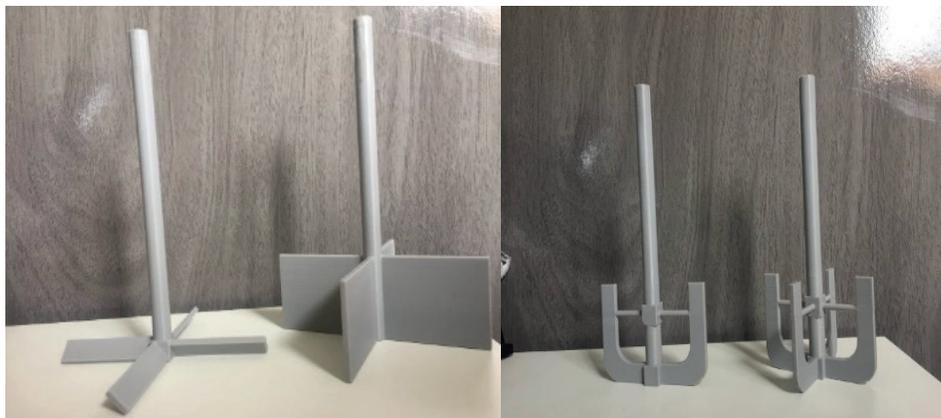


Figura 2. a) Impelidores impressos do tipo pá reta 45° e 90°. b) Impelidores impressos do tipo âncora.

Os testes dos impelidores consistiram em visualizar a capacidade do impelidor se manter estável sobre pressão, força de arraste e sob variação de temperatura. Primeiramente, os impelidores foram testados com dois tipos de rotores. O primeiro, com baixa rotação e o segundo, uma furadeira (Figura 3), com o objetivo de verificar a estabilidade da estrutura dos impelidores. Todos os impelidores apresentaram boas características para as situações.



Figura 3. Teste do impelidor do tipo âncora em recipiente translúcido.

Em seguida, os impelidores foram testados a velocidades elevadas, nos testes no *mixer* de bancada. Ao alcançar velocidade maiores que 600 RPM, elevou-se a temperatura no impelidor, e assim observou-se deformação nos impelidores de pá reta, devido ao ponto de fusão do material ser baixo e ao material ser dúctil. Já nos testes dos impelidores âncora

apresentaram vibrações após a velocidade de 300 RPM, apresentando instabilidade.

Isso demonstrou que o material tem suas limitações de rotação e assim definiu-se os limites de velocidade, a partir do momento de percepção da deformação e das vibrações, da seguinte forma:

- O impelidor de pás retas 90° apresentou deformação a 650 RPM;
- O impelidor de pás retas 45° apresentou deformação a 800 RPM;
- O impelidor âncora de 4 pás apresentou forte vibração a 300 RPM;
- O impelidor âncora de 2 pás apresentou forte vibração a 400 RPM.

Quando essas velocidades são comparadas com as velocidades características de cada um deles percebe-se a extrema resistência dos impelidores impressos com ABS, mesmo o material sendo passivo à deformação, esta ocorreu apenas nos impelidores de pá reta, a partir de uma velocidade seis vezes maior que a referente. Na literatura de Penny (1970), encontramos as velocidades características de cada impelidor, assim como mostra a Figura 4.

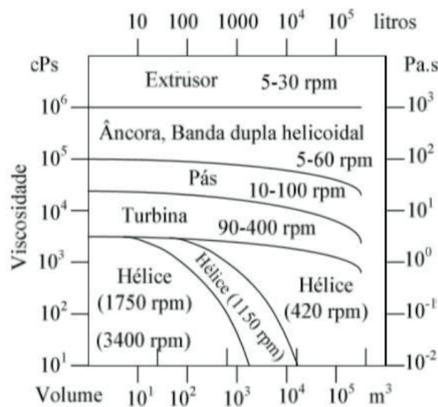


Figura 4. Ábaco com o tipo de agitador em função da viscosidade do fluido e do volume a ser agitado. (Adaptado de: PENNY, 1970).

Os testes de resistência mecânica mostraram uma curva de deformação com uma inclinação menor e alta deformação (Figura 5), devido aos valores de seu eixo x se prolongarem, enquanto aos valores do eixo y não. Assim, nos mostra a ductilidade do material, representando que o material ele é resistente, não se quebra facilmente, mas pode sofrer deformações de acordo com a pressão exercida nele, pelo tempo de uso, ou seja, quanto maior a velocidade, maior a força de arraste gerada e maior a tensão de cisalhamento sobre ele, causando deformações.

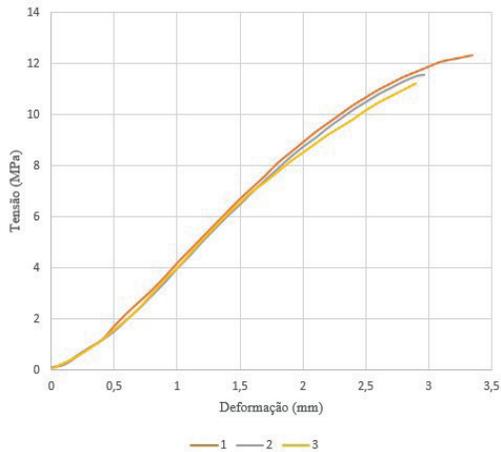


Figura 5. Curva de deformação do material.

### 3.2 Determinação das correntes

Para a determinação das correntes foi utilizado o *mixer* manual o qual permitiu o ajuste da velocidade próxima da ideal. Nos primeiros testes, foi observada a presença de vórtices (Figura 6). Para solucionar esse problema, foi introduzida uma chicana para eliminar (Figura 7).



Figura 6. A) Vórtice no sistema. b) Vórtice sequenciado pelo Software Kinovea®.



Figura 7. Sequenciamento da Trajetória da Corrente Axial.

Com o auxílio da chicana e da utilização de uma quantidade maior de partículas, foi possível observar a corrente, no qual fazia a circulação do carvão ativado em paralelo ao eixo (Figura 8).

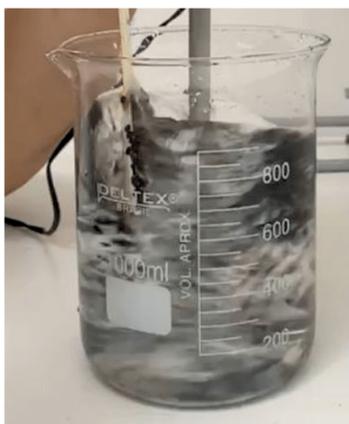


Figura 8. Corrente Axial visualizada lateralmente.

Já nos testes com o impelidor pá reta  $90^\circ$ , foi visualizada a corrente radial (Figura 9). Foi perceptível a movimentação das partículas em paralelo às pás acima delas. Com isso, pode-se concluir que é necessário diminuir a alturas das pás do impelidor de pá reta  $45^\circ$ , que são de 1 cm.

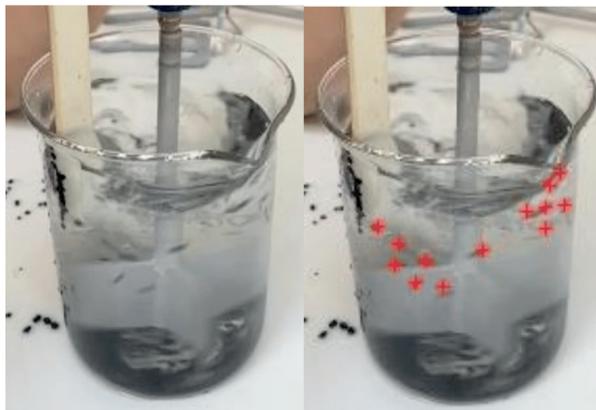


Figura 9. Sequenciamento da Trajetória da Corrente Radial.

Nos testes com os impelidores do tipo âncora, a visualização da corrente tangencial foi percebida sem adição de partículas (Figura 10).

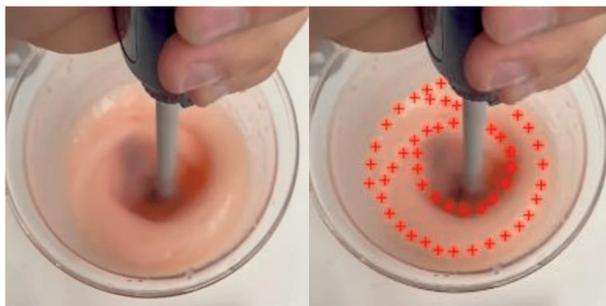


Figura 10. Sequenciamento da Trajetória da Corrente Tangencial.

Após a realização dos testes com cada um dos impelidores, observou-se que mesmo visualizando parcialmente as correntes axiais e radiais e totalmente a tangencial, as correntes são formadas como na teoria ilustrada por McCabe (2005) e Perry (2008). Assim, demonstra-se que o software é capaz de visualizar as correntes em certas situações.

## 4 | CONCLUSÕES

A impressão de impelidores por manufatura aditiva demonstrou eficácia na fabricação dos impelidores. Por serem impressos camada por camada, mantêm boa qualidade em partes complicadas de serem usinadas, como partes com ângulo de  $90^\circ$ . Assim, observou-se qualidade e rapidez na fabricação de impelidores.

Quanto ao material, o ABS, mesmo apresentando certa ductilidade, também demonstrou ótima resistência, suportando velocidades de cinco a seis vezes maiores que

sua velocidade característica. Isso nos permite concluir o quão adequado é o material para a impressão de impelidores e seu uso, mesmo excedendo sua velocidade.

No quesito de visualização das correntes foi possível observar parcialmente a formação das correntes axiais e radiais, nos quais as partículas se movimentavam paralelas às suas referências, mas precisando de maior quantidade de partículas para ser visualizada, que impediram o sequenciamento de sua trajetória, e totalmente na tangencial, que foi perceptível, mesmo sem o uso do corante. Assim, pode-se dizer que o *software* Kinovea® se demonstrou eficiente para a visualização das correntes.

Com base no demonstrado, conclui-se que há viabilidade no uso de impelidores impressos por manufatura aditiva, pois podem reproduzir às correntes referentes a eles, mostrando que são eficazes e podem ser utilizados em diversas áreas, desde as industriais até as laboratoriais. Pode-se sugerir o uso deles em sistemas em menor escala, como em testes específicos, que proporcionalmente, reproduzem a fabricação de alguma mistura, não havendo a necessidade de encomenda de um impelidor de material metálico que será usado em pequenas quantidades, economizando valores e tempo de produção.

## REFERÊNCIAS

ASTM, AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D638 – 14: Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics**: ASTM-International, U.S.A. 15 dez. 2014.

CREMASCO, Marcos A. **Operações Unitárias em Sistemas Particulados e Fluido mecânicos**. 2. Ed. São Paulo: Blucher, 2014.

GEBHARDT, A.; HÖTTER, J.S. **Additive Manufacturing: 3D Printing for Prototyping and Manufacturing**, Munique: Carl HanserVerlag, 2016.

JANG, J.; PARK, J.Y.; GAO, G.; CHO, D.W. **Biomaterials-based 3D cell printing for next-generation therapeutics and diagnostics**. *Biomaterials*, v. 156, p. 88-106, 2018.

LOCKER, A. **Best Cheap 3D Printer Priced Under \$200/300/500/1000**. Disponível em: <<https://all3dp.com/1/best-cheap-budget-3d-printer-affordable-under-500-1000/>>. Acesso em 10 de março de 2019.

MCCABE, WARREN L. SMITH, J.C. HARRIOT, P. **Unit Operations of Chemical Engineering**. 5. ed. McGraw-Hill, Inc., 2005.

PENNY, W.R. **Guide to trouble free mixers**. *Chem. Eng.*, Vol.77, No.12, 1970, p.171.

PERRY, ROBERT H. **Perry's chemical engineers' handbook**. 7. Ed. McGraw-Hill, Inc. 2008.

SABIONI, L.C. SILVA, E.C. **Sistemas de Agitação e Mistura** (Trabalho de Conclusão de Curso – Técnico em Mecatrônica Industrial). Garça, SP: [s.n.], 2013.

SPOGIS N. **“Metodologia para determinação de curvas de potência e Fluxos característicos para impelidores axiais, radiais e Tangenciais utilizando a fluidodinâmica computacional”**. (Dissertação de Mestrado – Faculdade de Engenharia Química). UNICAMP. Campinas, SP: [S.N.], 2002.

TADINI, Carmen C. **Operações unitárias na indústria de alimentos**. 1. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2018.

# 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

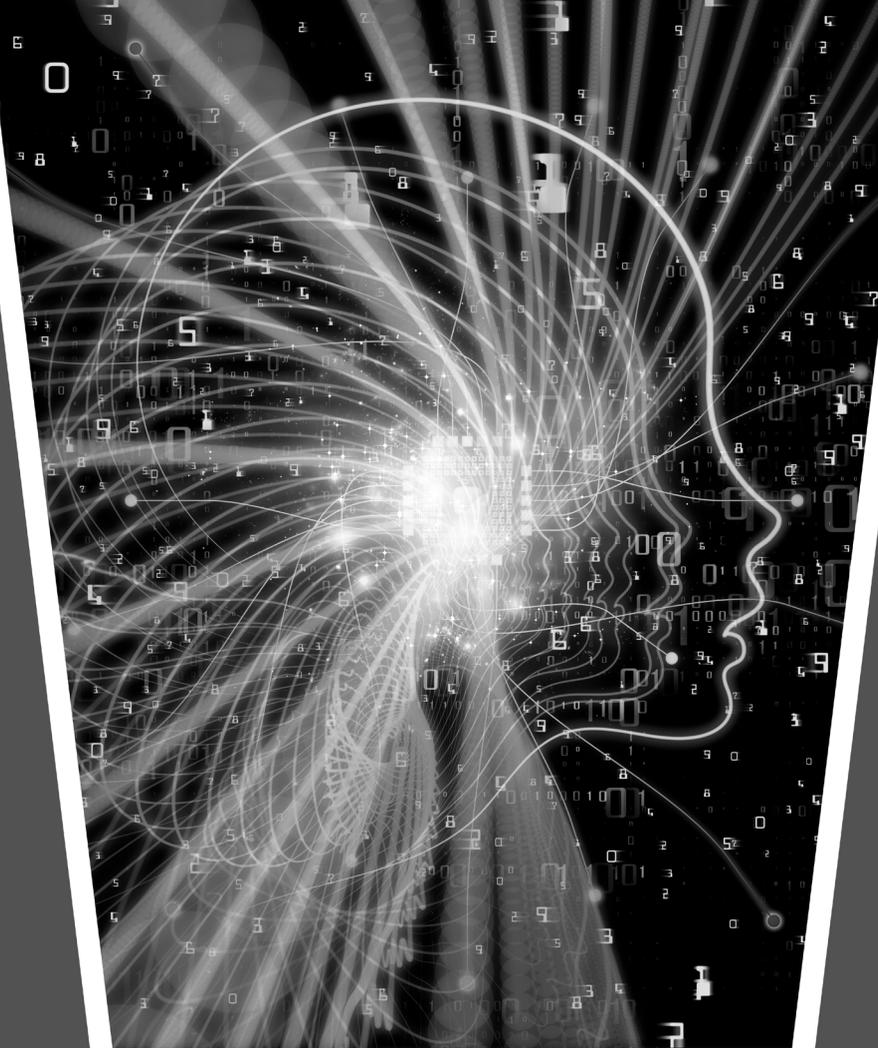
Transformação digital 163

## **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](http://www.atenaeditora.com.br)



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



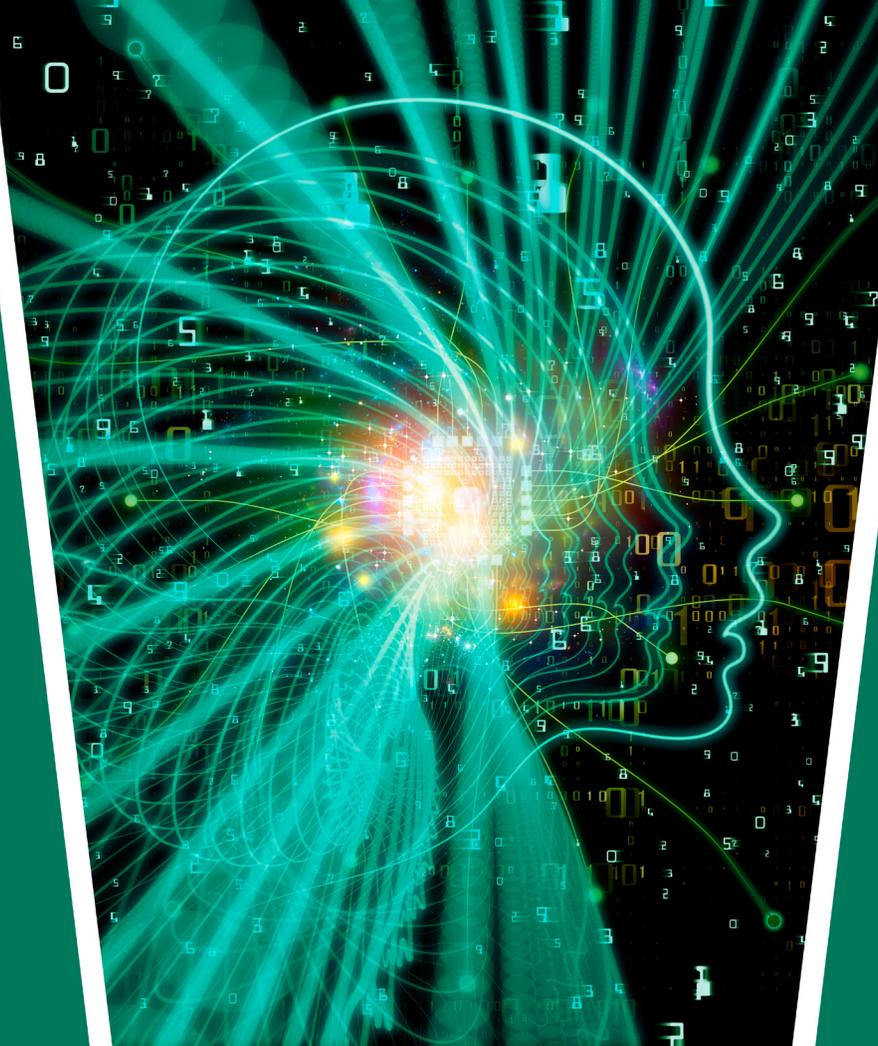
[@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)



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

  
Editora  
Ano 2021