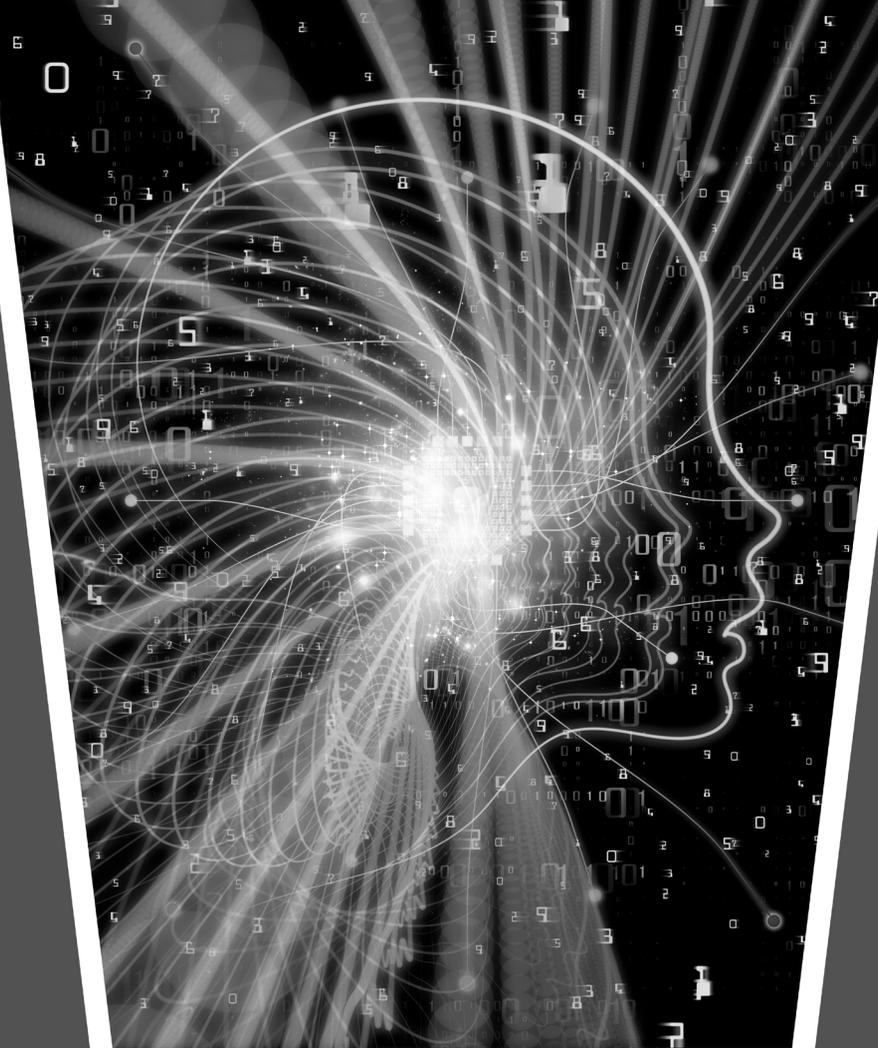


Engenharia Moderna: Soluções para Problemas da Sociedade e da Indústria 2

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


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 Alfenas

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 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
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

MODELAGEM E SIMULAÇÃO DO PROCESSO DE FERMENTAÇÃO CONTÍNUA EM MICRO BIORREATOR

Data de aceite: 16/03/2021

Data de submissão: 15/01/2021

João Paulo Fioritti Godoy

Universidade São Francisco
Engenharia Química
Itatiba – SP

<http://lattes.cnpq.br/0829485011778341>

Guilherme Brandão Silva

Universidade São Francisco
Engenharia Química
Itatiba – SP

<http://lattes.cnpq.br/8477339764808183>

Filipe Alves Coelho

Universidade São Francisco
Engenharia Química
Campinas – SP

<http://lattes.cnpq.br/7316975557784147>

RESUMO: Com o avanço tecnológico na indústria alcooleira e o Brasil sendo o segundo maior produtor mundial de etanol por meio da fermentação da cana em biorreatores do tipo batelada, é importante a pesquisa no setor de energia para a fermentação. Para a implementação e estudo dos parâmetros de reação, esses reatores acabam gerando custos elevados, usos excessivos de matéria prima e um gasto desnecessário de tempo. O objetivo deste trabalho foi a verificação da viabilidade por meio de simulação de utilizarem-se micro reatores na fermentação alcoólica, para fins de desenvolvimento de novas formas de operação através da validação de valores cinéticos e

de parâmetros operacionais ideais para a fermentação alcoólica contínua. Para isso foi desenvolvido um modelo matemático, validado a partir da comparação de dados obtidos da literatura implementando-se a reação em uma simulação em linguagem Python e definindo-se parâmetros ótimos para a máxima conversão de álcool, em um modelo de micro reator já estudado na literatura. Conclui-se que apesar de obter uma boa conversão em um curto espaço, a geometria utilizada não se fez viável em vista do grande número de micro reatores necessários para igualar-se à indústria alcooleira vigente.

PALAVRAS-CHAVE: Modelagem; simulação; reator contínuo.

MODELLING AND SIMULATION OF MICRO BIOREACTOR FOR CONTINUOUS FERMENTATION

ABSTRACT: With technological advances in the alcohol industry, and Brazil being the second largest ethanol producer in the world through sugarcane fermentation in batch-type bioreactors, doing research in the energy sector for fermentation is important. For the implementation and study of the reaction parameters, these reactors end up generating high costs, excessive uses of raw material and an unnecessary expenditure of time. The objective of the work was to verify the viability by simulating the use of micro-reactors in alcoholic fermentation, for the purpose of developing new forms of operation through the validation of kinetic values and ideal operational parameters for continuous alcoholic fermentation. For this, a mathematical model was developed, validated by comparing data obtained from the literature, and implemented in a Python simulated reaction, defining optimal parameters for a maximum alcohol conversion, in a micro

reactor model already studied in literature. In conclusion, despite obtaining a good conversion in a short space, the geometry used was not feasible due to the immense number of micro reactors necessary to match the current alcohol industry production.

KEYWORDS: Modelling; simulation; continuous reactor.

1 | INTRODUÇÃO

1.1 Microrganismos fermentadores e fermentação alcoólica

Na natureza existem incontáveis tipos de organismos, sejam eles visíveis ou invisíveis a olho nu. Os “invisíveis”, os quais são chamados de microrganismos, exercem diversas funções na natureza sendo uma delas a síntese de incontáveis compostos orgânicos e inorgânicos por meio da respiração celular, síntese proteica, entre outras reações enzimáticas intracelulares das quais os seres humanos podem tirar proveito para nossos meios de produção. Segundo BORZANI et al. (2001b), a fermentação alcoólica é um processo anaeróbio que consiste na transformação química do açúcar em etanol e gás carbônico (CO_2) no interior da célula. Para o presente trabalho, foi considerado um microrganismo chamado *Saccharomyce cerevisiae* (SC) que é popularmente conhecido como “fermento biológico”.

1.2 Tipos de reatores fermentativos

Existem três tipos de reatores para a operação de um processo fermentativo, sendo eles o de batelada simples, batelada alimentada e o processo contínuo. Inicialmente feitos em batelada simples, na década de trinta, houve uma grande revolução na indústria produtora de etanol, que deu origem ao processo de batelada alimentada, que foi apenas implementado na década de sessenta. Após a implementação da batelada alimentada, com seu aperfeiçoamento, surgiu o processo contínuo. Segundo Galassi (2007 apud ZAPERLON, ANDRIETTA, 1992), 40% das indústrias brasileiras utilizam o processo de fermentação contínua.

Ao contrário do processo de fermentação contínua, segundo Maiorella (1981) e Borzani et al. (2001a), no processo em batelada a reação ocorre mais lentamente. Nele são adicionados os reagentes para a fermentação e só será possível sua retirada ao fim do processo. Inicialmente, a taxa de produção de etanol é baixa, no entanto, conforme o número de células viáveis aumenta, a taxa de produção também cresce. No entanto, pode-se observar que em certos casos, o substrato adicionado de uma só vez nesse tipo de reator pode acabar inibindo, reprimindo ou desviando o metabolismo celular a produtos que não interessam. A produção chega ao seu máximo após 20h de produção, tendo sua taxa reduzida constantemente a partir de 28h. Finalizado o processo, é necessário que todo material seja retirado do reator para que ele possa ser limpo e preparado para um novo ciclo. A produção gira em torno de 1,8 a 2,5 g de etanol por volume de fermento.

No reator batelada alimentada, de acordo com Borzani et al. (2001a), um ou mais nutrientes são adicionados ao reator durante o cultivo e os produtos permanecem até o final. Os nutrientes também podem ser, em alguns casos, gradualmente adicionados ao reator e é possível controlar a concentração de substrato no fermentador, levando a um

acúmulo de um produto específico desejado.

Segundo Andrietta (1994 apud ZARPELLON E ANDRIETTA 1992), quando o Programa Nacional do Álcool (1976) foi implantado, todas as novas destilarias foram equipadas com o processo de batelada alimentada (processo Melle-Boinot), já que é um sistema satisfatório na eficiência do processo e em sua operação.

De acordo com Andrietta (1994 apud ALMEIDA, 1960) este processo tem as seguintes vantagens: redução do consumo de açúcar devido à menor reprodução celular, elevando o rendimento; a eliminação de contaminantes por meio da centrifugação do meio fermentado; uma fermentação mais pura e a eliminação da necessidade de cultura pura.

Como estudado por Atala et al (2001), o processo batelada alimentada estendida (BAE) é um intermediário entre o de batelada alimentada e o contínuo. Podem-se observar altas concentrações celulares e o etanol produzido é constantemente retirado do sistema e a concentração celular tende a crescer continuamente. No entanto, a prática demonstra que um patamar é atingido, onde a concentração se mantém constante.

1.3 Reatores Contínuos

Conforme citado por Borzani et al. (2001a), o processo de fermentação contínua é caracterizado por uma alimentação contínua do meio de cultura com vazão constante e o volume da reação é controlado com a saída, também contínua, do caldo fermentado. A manutenção desse volume constante é primordial para o funcionamento desse método e como observa-se ser muito difícil igualar o controle de vazão de entrada e de saída a fim de se obter um estado estacionário. Para isto, utilizam-se técnicas como a retirada por transbordamento, que mantém o líquido a nível constante, ou podem empregar-se sistemas de bombas de alta vazão síncronas.

Segundo estudos de Andrietta (1994 apud BORZANI 1960) e Borzani et al. (2001a), existem algumas vantagens desse tipo de reator, quando comparado a reatores descontínuos tais como uma alta produtividade, alta uniformidade do produto, manutenção de células em um mesmo estado fisiológico, a possibilidade de associação em série a outros reatores contínuos e maior adaptabilidade a controles avançados no processo.

Ainda de acordo com estudos Borzani et al. (2001a) observam-se algumas desvantagens quando falam-se de reatores contínuos com relação a reatores descontínuos sendo elas um alto investimento inicial, a possibilidade de ocorrência espontânea de mutações genéticas, elevada chance de contaminação e dificuldade de operação em estado estacionário.

Micro reatores, especificamente, tem uma alta transferência de calor e massa por conta do seu tamanho reduzido e mesmo assim, podem-se observar ótimas conversões e seletividade em reações de curto período de tempo, quando comparadas às reações do tipo batelada (GUAN et al., 2009).

Em pesquisas, Guan et al. (2009) verificaram que são possíveis de se obter rendimentos acima de 90% com curtos tempos de residência, como também mostrado em seus próprios testes, em micro tubos que variaram entre 0,4 e 1 mm, comprimentos variando entre 250 mm e 1000 mm e com um fluxo de 8,2 cm³/h o combustível foi capaz de atingir 100% de conversão com tempos de residência menores que 100 segundos a 40 °C,

e 60 segundos à temperatura de 60°C. Também observou que a maior conversão do líquido combustível estudado, se deu nos tubos de menor diâmetro (0,4 mm) devido ao aumento da transferência de massa.

Já Junior (2017), iniciou seus estudos em um sistema de apenas 1 micro reator com canais de 0,4 mm, onde conseguiu uma produção máxima de 93,88% com tempo de residência de 2,33 minutos, com a razão molar dos reagentes em 20/1 de etanol e óleo de soja respectivamente a uma temperatura de 51,9 °C, reforçando que o uso de micro reatores podem trazer muita agilidade e conversão em processos químicos com um gasto energético e de matéria prima baixíssimo. Junior (2017), desenvolveu um modelo esquemático 3D para representar a ideia de seu micro reator como mostrado na Figura 1.

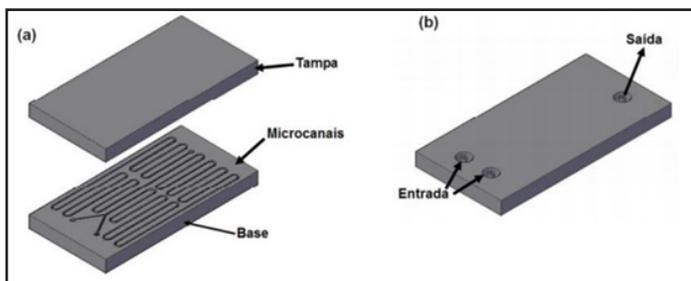


Figura 1. (a) Desenho esquemático do micro reator; (b) Detalhamento das conexões de entrada e saída. Fonte: Junior, 2017.

Neste contexto, o presente estudo tem por objetivo desenvolver o modelo matemático de um micro biorreator com fermentação alcoólica contínua de caldo de cana, a fim de verificar suas taxas de conversão e rendimento visando ter perspectiva de viabilizar os estudos de implementação em escala industrial não só da fermentação alcoólica em si, mas também para novos processos de forma que este trabalho sirva como referência para estudos futuros.

2 | METODOLOGIA

2.1 Modelagem matemática da reação alcoólica

Para o desenvolvimento de um reator, independentemente de seu tamanho, robustez ou conversão é necessária a realização de um projeto que define as características fundamentais do equipamento, logo, para o desenvolvimento de um projeto de um micro biorreator que opera de forma contínua, deve-se saber quais as variáveis envolvidas em todos os balanços de massa e velocidades de reação: produção de biomassa viável e produto, morte celular e consumo de substrato.

De acordo com Atala (2000), os dados termodinâmicos para o desenvolvimento dos equacionamentos de um reator contínuo dependem dos balanços de massa, biomassa viável, morte celular e de produto. Para o desenvolvimento de tais balanços foi necessário

o conhecimento das equações de velocidades específicas conforme descritas na Tabela 1.

Velocidade	Equações	Nº
r_x	$r_x = \mu_{max}(T) \cdot \left(\frac{S}{K_S + S}\right) \cdot \exp(-K_i(T) \cdot S) \cdot \left(1 - \frac{X_t}{X_{max}(T)}\right)^m \cdot \left(1 - \frac{P}{P_{max}}\right)^n \cdot X_v$	(1)
r_s	$r_s = \frac{r_x}{Y_x(T)} + m_x(T) \cdot X_v$	(2)
r_p	$r_p = \alpha(T) \cdot r_x + \beta \cdot X_v$	(3)
r_d	$r_d = K_t(T) \cdot \exp(K_p(T) \cdot P) \cdot X_v$	(4)

Tabela 1. Equações de crescimento celular, morte celular, consumo de substrato e formação de produto

Fonte: Adaptado de Atala (2000).

Onde, r_x , r_d , r_s e r_p são respectivamente as velocidades cinéticas de crescimento celular, morte celular, consumo de substrato e formação e produto; $F \cdot V = D$ corresponde a taxa de diluição do substrato no volume do reator; X_v é a concentração de células viáveis; X_d é a concentração de células mortas; X_t é a concentração de células totais, ou seja, $X_t = X_v + X_d$; S é a concentração de substrato no reator; S_0 é a vazão mássica de substrato no reator; y é a relação intracelular e extracelular da concentração de produto; p é a relação entre volume de massa seca e volume de massa úmida; P é a concentração de produto no reator.

Das constantes do modelo, retiradas de Atala (2000), K_s é a constante de Monod; K_i é a constante de inibição pelo substrato; K_p é a constante de morte celular; K_t é a constante de morte celular em função da temperatura; X_{max} é a máxima concentração de biomassa; P_{max} é a máxima concentração de etanol; m é o expoente de inibição pela biomassa; n é o expoente da equação de inibição pelo produto; Y_x é o rendimento limite; m_x é o coeficiente de manutenção; α é a produção de etanol associada ao crescimento celular; β é a produção de etanol associada à concentração celular; $\mu_{max}(T)$ é a velocidade específica máxima de crescimento celular.

A partir dos dados apresentados foi feita uma adaptação das equações para que fosse possível utilizá-las para os biorreatores contínuos. Primeiramente foi necessária a validação do modelo encontrado. Para isso estruturou-se uma planilha eletrônica, organizada segundo a natureza das variáveis, para as que se alteravam em função do tempo foi designada uma aba à parte com dados mais relevantes como taxas de conversão, consumo de substrato e velocidade de reação por exemplo. Já para os parâmetros que se alteravam em função da temperatura do sistema, designou-se outra aba, uma vez que se trabalhou com um sistema isotérmico. Para resolução da planilha, utilizou-se o método de Euler para a encontrar o valor das equações diferenciais ordinárias (EDO's) com um passo de variação de tempo de 0,1h. A partir dos dados de cinética química validados nesse

modelo, realizou-se a modelagem para um biorreator de fermentação contínua uma vez que os valores cinéticos independem do tipo de reator.

Após adquirir-se os dados cinéticos e os balanços de massa, foi realizada uma simulação da fermentação alcoólica utilizando-se a linguagem de programação Python para resolução das equações e obtenção dos resultados para verificação da eficácia não só do reator contínuo como um todo, mas também dos parâmetros previamente calculados e sua eficiência em comparação a um reator BAE. Os dados do reator BAE para essa comparação, foram retirados do Atala (2000), e inseridos no sistema Python que gerou os resultados comparativos discutidos no tópico de resultados e discussões. Com os dados obtidos, foi possível compreender quais as condições que mais influenciam no funcionamento do reator contínuo, possibilitando sua melhoria e estimando as condições operacionais favoráveis para seu funcionamento, conversão, eficiência, rendimento máximo e principalmente sua viabilidade.

3 I RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a validação do modelo que foi utilizado como base para a modelagem do reator contínuo, geraram-se os gráficos para que fosse possível fazer as comparações visuais dos dados obtidos como mostrado na Figura 2 e foi possível verificar que houve similaridade entre o modelo da literatura e o modelo gerado por planilha eletrônica, tendo assim uma indicação da possibilidade do modelo ser validado.

Por isso, foi possível, uma vez que os dados se mostraram consistentes, utilizá-los como base para modelagem de outros tipos de reatores, como por exemplo o micro biorreator contínuo que foi o foco de estudo deste trabalho.

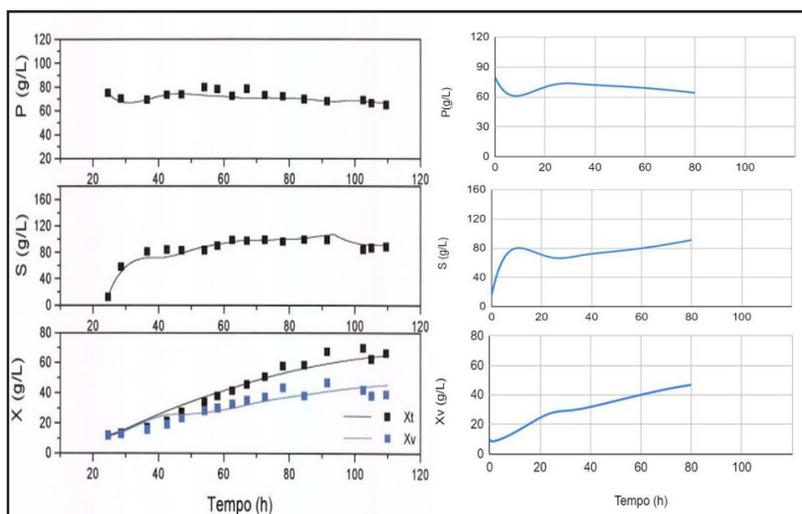


Figura 2. Gráficos da literatura x gráficos obtidos.

Fonte: adaptado Atala (2000) e próprio autor.

Com os dados do balanço de massa e cinética das reações particulares validados, passou-se então a buscar um meio de transformar um balanço de massa de um reator BAE para um reator contínuo, uma vez que os dados de velocidades cinéticas podem ser replicados para qualquer tipo de reator depois de devidamente validados. O resultado dos balanços para o micro biorreator são mostrados nas equações 5 a 8, onde v é a velocidade de escoamento.

$$\frac{\partial P}{\partial t} = -v \cdot \frac{\partial P}{\partial z} + r_p \quad (5)$$

$$\frac{\partial S}{\partial t} = -v \cdot \frac{\partial S}{\partial z} + r_s \quad (6)$$

$$\frac{\partial X_d}{\partial t} = -v \cdot \frac{\partial X_d}{\partial z} + r_d \quad (7)$$

$$\frac{\partial X_t}{\partial t} = -v \cdot \frac{\partial X_v + \partial X_d}{\partial z} + r_x \quad (8)$$

A partir desse ponto, com todos os balanços de massa modelados para o micro biorreator contínuo e as velocidades específicas validadas, partiu-se para a programação em linguagem Python. No Python o modelo matemático foi resolvido usando o `solve_ivp` da biblioteca Scipy.

Depois de uma análise nas grandezas e ajustes de alguns parâmetros tais como temperatura, velocidade de escoamento, comprimento do reator e tempo de reação, foram fixadas condições iniciais para esses parâmetros visando avaliar seus efeitos sobre o desempenho do reator. Para as simulações feitas neste trabalho foram-se consideradas as condições de alimentação de substrato de 151 kg/m^3 , células vivas de 10 kg/m^3 , temperatura de 28°C , velocidade de escoamento de $0,055 \text{ m/h}$. Quanto à geometria utilizou-se um diâmetro do canal de 3 mm e o comprimento total do reator de 2 m . O modelo foi discretizado em 100 pontos.

Para compreender o comportamento desse reator foram realizadas simulações, afim de avaliar os efeitos das condições operacionais (temperatura e concentrações da alimentação).

Com o objetivo de ajustar as concentrações de alimentação da reação, fixou-se o valor da temperatura em 28°C e realizaram-se vários testes para entender como o micro biorreator se comportaria com valores de substrato, produto e biomassa diferentes conforme ilustrado nas Figura 3, 4 e 5.

Observando o comportamento da Figura 3, foi possível deduzir que uma concentração menor de substrato influencia diretamente a síntese em um comprimento menor, conseguindo assim atingir um nítido equilíbrio na concentração de 50 kg/m^3 em um reator de 200 cm de comprimento.

Feitos esses testes, optou-se então por estudar o comportamento do reator

introduzindo o produto na alimentação. Como observado na Figura 4, quando a concentração de produto chega em determinado ponto, mais especificamente a 81 kg/m^3 , ocorre uma súbita morte das células vivas, o que já não acontece quando, na alimentação, a concentração de produto é igual ou bem próxima a zero.

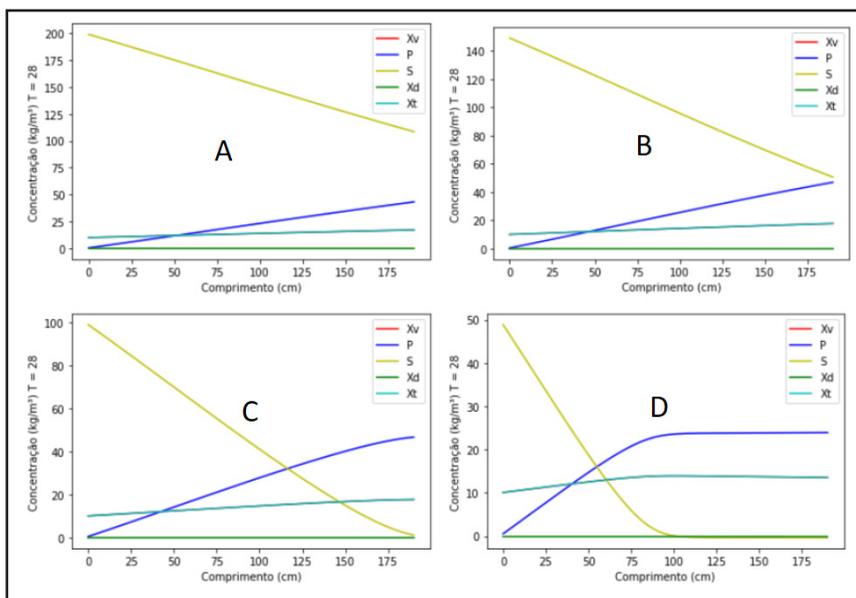


Figura 3. Comparativo de variação na concentração de substrato, sendo elas 200 kg/m^3 (A), 150 kg/m^3 (B), 100 kg/m^3 (C) e 50 kg/m^3 (D).

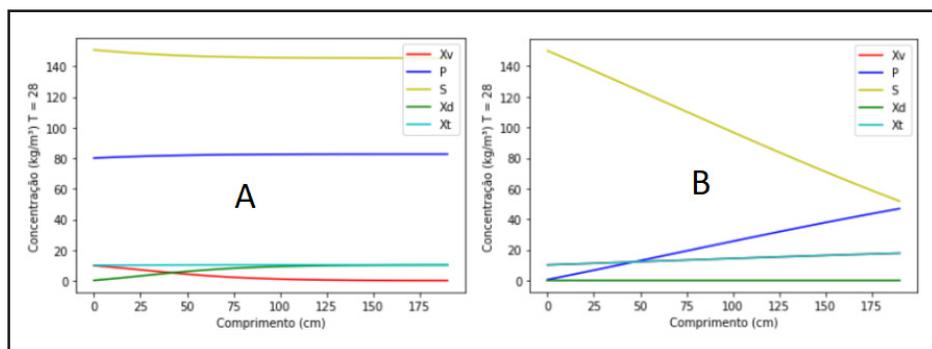


Figura 4. Comparativo entre produto sendo injetado na alimentação a uma concentração de 80 kg/m^3 (A) e não sendo injetado na alimentação (B).

Para finalizar os testes nas concentrações de alimentação, fez-se então testes para entender o comportamento da geração de produto através da SC. Pôde-se observar que existe uma concentração ótima de biomassa em torno da concentração de 40 kg/m^3 .

Ultrapassando essa concentração, a geração de produto passa a ficar limitada, piorando assim a conversão do micro biorreator como observado na Figura 5.

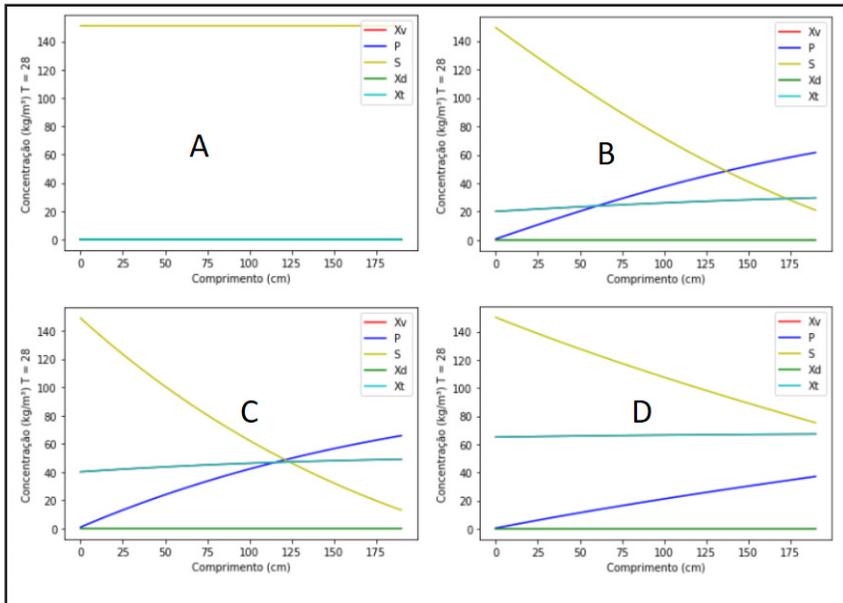


Figura 5. Comparativo entre diferentes concentrações de biomassa, sendo elas 0 kg/m³ (A), 20 kg/m³ (B), 40 kg/m³ (C) e 65 kg/m³ (D).

Para estudar o efeito da temperatura, partiu-se para a fixação das concentrações de alimentação e variação da temperatura do reator. Para esse estudo, portanto, variou-se a temperatura na faixa de 28°C à 40°C, já que, segundo Atala (2000), seria a faixa ideal para o estudo da fermentação alcoólica a partir da *Saccharomyces cerevisiae*, uma vez que utilizando esses parâmetros pôde-se obter dados consistentes para que fossem gerados gráficos comparando cada temperatura, com o comprimento necessário para o equilíbrio ser atingido.

Com os testes e dados obtidos na Figura 6, pôde-se constatar que quando comparamos os dados, cabem duas situações bem distintas, sendo uma delas a 28°C tendo a maior conversão de produto mas com o maior comprimento, e uma segunda situação, a 37°C, onde há menor conversão de produto se comparado à temperatura anterior, com o menor comprimento que se pôde verificar. Observou-se também, através a Figura 6, que a tendência da linha de comprimento, mostra que apesar de sua redução entre as temperaturas de 28°C até 37°C, com o contínuo aumento da temperatura, o comprimento necessário para o equilíbrio, volta a aumentar por conta da ineficiência da *Saccharomyces cerevisiae* a temperaturas maiores que 37°C.

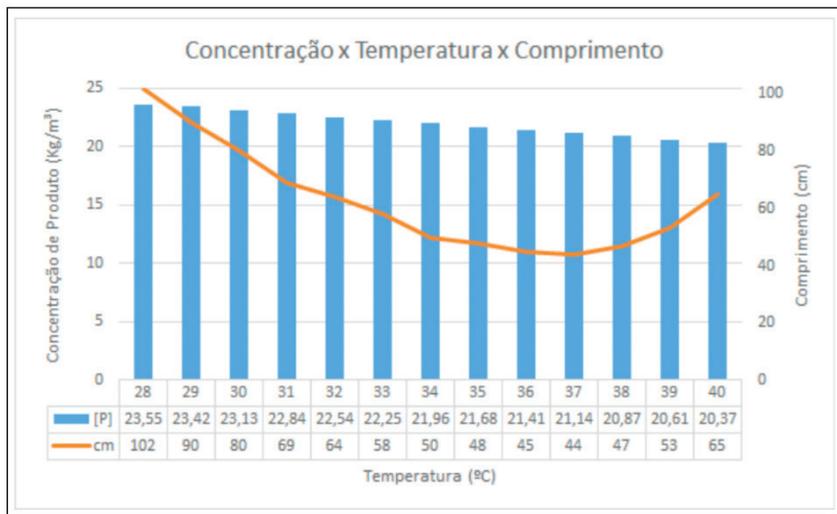


Figura 6. Gráficos para a comparação de cada comprimento necessário relativo às temperaturas de 28°C à 40°C

Fizeram-se então novos testes estudando mudanças nos parâmetros de temperatura e vendo como o reator se comportava, mantendo-se os demais dados em padrões mais próximos à realidade de um micro biorreator, baseando-se no trabalho de Alves et. al (2020).

Para tornar possível a reação seguindo o comprimento de 28 cm para o reator que Alves et. al (2020) utilizou, foi necessária uma mudança grande nos parâmetros previamente utilizados para que se fizessem todos os testes. Inicialmente, fez-se a mudança na velocidade de escoamento, diminuindo ela de 0,5 m/h para 0,055 m/h. Além desta mudança, foi necessário alterar a quantidade de células vivas, de 10 kg/m³ para 35 kg/m³, uma vez que é necessário o aumento das células vivas para sintetizar todo o substrato. Com essas alterações, obtiveram-se como resultado um número muito baixo de células mortas, de aproximadamente 0,5 kg/m³. Tudo isso feito a uma temperatura de 28 °C, já que segundo dados previamente encontrados, essa seria a temperatura de maior geração de produto.

Para fins de comparação entre a produção de uma usina alcooleira e a de um micro biorreator, utilizou-se os dados obtidos com Alves et al. (2020) para a parametrização da geometria do reator utilizado na simulação. Foi utilizada como referência dados da capacidade de produção da Usina Severínia (PETROBRAS, 2020), para fins de comparação e estimativa do número de micro reatores para esse volume (104.000 m³/ano). Para fins de cálculo, utilizou-se uma operação de 24 horas por 365 dias e utilizou-se a densidade do etanol segundo valor encontrado em Wilhoit et al. (1973) para 28°C (783,2 kg/m³). Assim, considerando a velocidade de escoamento de 0,5 m/h seriam necessários 328.530.317 de micro canais para processar o mesmo volume de etanol que a unidade industrial de referência.

4 | CONCLUSÕES

Tendo em vista que este trabalho tem por objetivo desenvolver um modelo matemático de um micro biorreator com fermentação alcoólica contínua de caldo-de-cana, pode-se dizer que essa meta foi atingida de tal forma, que se faz possível utilizar-se do modelo criado para o estudo de outras possíveis geometrias e parâmetros que possam viabilizar uma produção em micro biorreatores contínuos.

A partir de inúmeros testes, foram possíveis de se encontrar dados limitantes por conta do modelo utilizado e também a faixas ideais de confiabilidade do modelo para que resultados conclusivos pudessem ser extraídos, tais como temperaturas com maiores taxas de produção, velocidades de escoamento ideais para reduzir o reator quando necessário, concentração de células vivas e como elas interagem com o reator e por fim a faixa de concentração de substrato para maior conversão em produto.

Infelizmente, em uma comparação à indústria alcooleira vigente com o modelo de reator utilizado, concluiu-se que a produção com micro reatores, na geometria utilizada, mostrou-se inviável tanto pela quantidade de micro biorreatores (canais) necessários para se obter a mesma produção da indústria, quanto a dificuldade de manutenção de tal quantidade, já que o objetivo principal era ter um embasamento com um micro reator conhecido.

Para que a reação se torne viável, seriam necessários maiores estudos, tendo como um ponto de partida a elevação na concentração de substrato inicial, um aumento no comprimento do micro biorreator, uma alteração na velocidade de escoamento e mudanças na geometria do reator. Refazendo-se então os testes para visualizar os efeitos de cada alteração, uma nova comparação com a indústria poderá ser feita para verificar a viabilidade do novo reator encontrado.

REFERÊNCIAS

ALVES, K. O.; ROCHA, V. S.; COELHO, F. A. **Desempenho de microrreatores fabricados por manufatura aditiva em reação de saponificação do acetato de etila.** In: COELHO, F. A. *et al.* **Engenharia moderna soluções para problemas da sociedade e da indústria.** [S. l.]: Atena, 2020. cap. 7, p. 83-94. ISBN 978-65-5706-446-7.

ANDRIETTA, S. R. **Modelagem, simulação e controle de fermentação alcoólica contínua em escala industrial.** Campinas. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos). Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, 1994, 197 f, p. 6-9.

ATALA, D. I. P. **Fermentação alcoólica com alta densidade celular: modelagem cinética convalidação de parâmetros e otimização do processo.** Orientador: Professor Doutor Francisco Maugeri Filho. 2000. 153 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2000.

ATALA, D. I. P.; COSTA, A. C.; MACIEL, R.; MAUGERI, F. **Kinetics of Ethanol Fermentation with High Biomass Concentration Considering the Effect of Temperature.** In: WALT, D. R. *et al.* **Applied Biochemistry and Biotechnology: Biotechnology for fuels and chemicals.** [S. l.]: Springer, 2001. v. 91-93, p. 353-365. ISBN 1588290387. Disponível em: <https://bit.ly/2WVRczJ>. Acesso em: 12 jun. 2020.

BORZANI, W.; NETTO, W. S.; LIMA, U.; AQUARONE, E. **Biotecnologia industrial: engenharia bioquímica,** São Paulo: Editora Blucher LTDA, 2001a, Volume 2. 541 f, p. 193-225.

BORZANI, W.; NETTO, W. S.; LIMA, U.; AQUARONE, E. **Biotecnologia industrial: engenharia bioquímica**, São Paulo: Editora Blucher LTDA, 2001b, Volume 3. 593 f., p. 11-15.

GUAN, G., KUSAKABE, K., MORIYAMA, K., SAKURAI, N., **Transesterification of Sunflower Oil With Methanol in a Microtube Reactor**, Industrial & Engineering Chemical Research, 2009, v. 48, p. 1357-1363.

GALASSI, G. R., **Estudo do processo fermentativo contínuo para produção de etanol utilizando células auto-imobilizadas em reatores tipo torre**, 2007. 90 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.

JUNIOR, J. M. C.. **Análise teórico-experimental de microrreatores para síntese de biodiesel com recuperação de calor rejeitado**. Orientadora: Carolina Palma Naveira Cotta. 2017. 247 p. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017. Disponível em <<https://bit.ly/32M9pDt>>. Acesso em 23 de jul. 2020.

MAIORELLA, B. L.; WILKE, C. R; BLANCH, H.W. **Alcohol Production and Recovery**. In: FIECHTER, A. et al. **Advances in Biochemical Engineering**. [S. l.]: Springer, 1981. v. 20, p. 43-92. ISBN 3-540-11018-6.

PETROBRAS, Usina Severínia. *In*: **Usina Severínia**. Site Oficial da Petrobras, 2020. Disponível em: <https://bit.ly/2IREi11>. Acesso em: 19 nov. 2020.

WILHOIT, R. C., ZWOLINSKI, B. J., **Physical and Thermodynamic Properties of Aliphatic Alcohols**, J. Phys. Chem. Ref. Data, 2 (1973); Suppl. No. 1

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

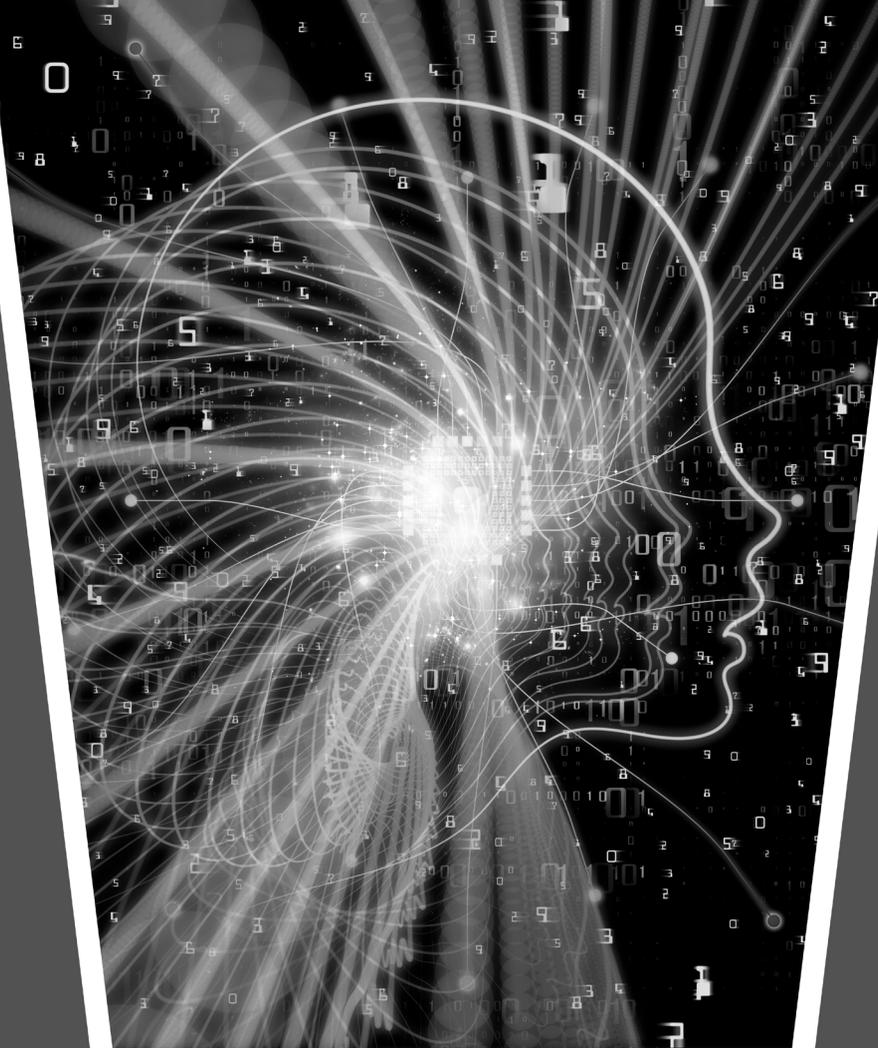
Transformação digital 163

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



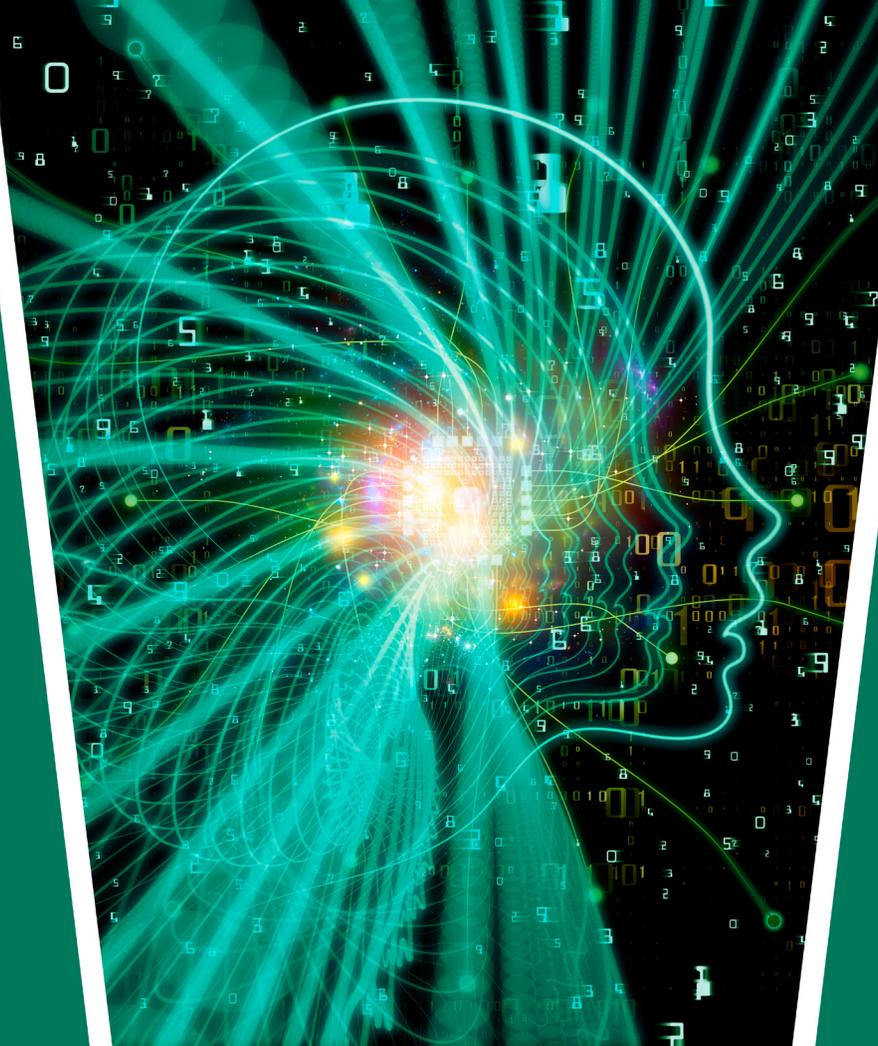
[@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)



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
 www.facebook.com/atenaeditora.com.br


Editora
Ano 2021