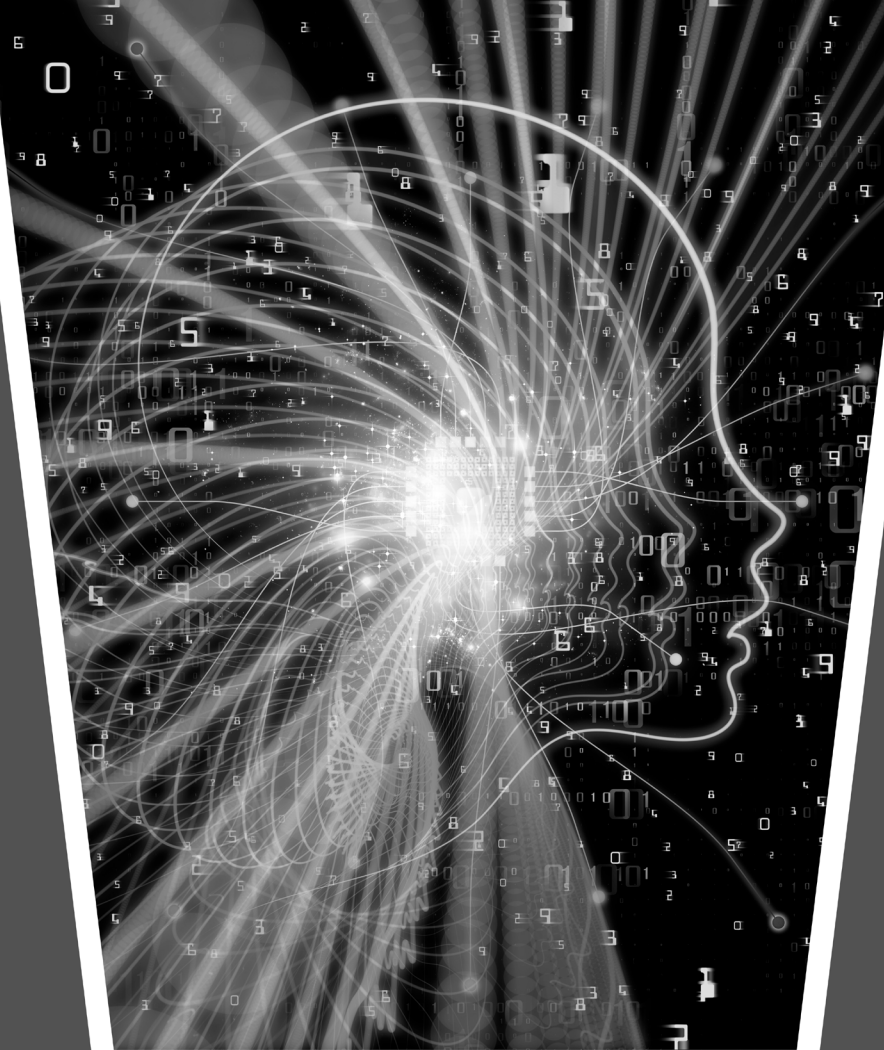


Engenharia Moderna: Soluções para Problemas da Sociedade e da Indústria 2

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. Aleksandro 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. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ
Prof^ª Dr^ª Livia 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 |

CELULOSE NANOFIBRILADA: ESTUDO DA OBTENÇÃO E APLICAÇÃO NA INDÚSTRIA PAPELEIRA

Data de aceite: 16/03/2021

Data de submissão: 15/01/2021

Marcela Renata Zenni

Universidade São Francisco
Engenharia Química
<http://lattes.cnpq.br/2898184841530719>

Caroline Pereira dos Santos

Universidade São Francisco
Engenharia Química

Roberta Martins da Costa Bianchi

Universidade São Francisco
Engenharia Química
<http://lattes.cnpq.br/1178282277362723>

RESUMO: A obtenção da celulose nanofibrilada pode ser por meio de processos mecânicos, químicos ou enzimáticos. E as mesmas apresentam boas propriedades, tais como: baixa expansão térmica, alta resistência mecânica e uma fibra com maior rigidez. Este trabalho refere-se a uma revisão bibliográfica e tem como objetivo estudar a celulose nanofibrilada obtida pelo processo de desfibrilação mecânica, utilizando como equipamento o moinho Masuko, analisar a influência da aplicação das mesmas na produção de papel, por meio da comparação das propriedades mecânicas, tais como, índice de resistência à tração, ao rasgo e ao arrebatamento. Foram utilizadas fibra celulósica branqueada e celulose deslignificada de *Eucalyptus sp.*, e o moinho Super Masscolloider Masuko Sangyo para obter as CNF. Foi obtida celulose nanofibrilada com diâmetros inferiores a

100 nm e verificou que o número de passes não influencia no diâmetro médio das mesmas. Ao adicionar celulose nanofibrilada deslignificada de *Eucalyptus sp.* nas quantidades de 2 e 9% verificou que ela atuou positivamente nas propriedades mecânicas do papel, principalmente nos papéis de fibras curtas, dessa forma, pode-se dizer que a celulose nanofibrilada é um potencial aditivo na produção dos mesmos.

PALAVRAS-CHAVE: Celulose nanofibrilada, moinho, desfibrilação, aplicação.

NANOFIBRILLATED CELLULOSE: STUDY OF OBTAINING AND APPLICATION IN THE PAPER INDUSTRY

ABSTRACT: The obtaining of the nanofibrillated cellulose can be through mechanical, chemical or enzymatic processes. And they have good properties, such as: low thermal expansion, high mechanical resistance and a fiber with greater rigidity. This work aims to study a cellulose nanofibrillate obtained by the mechanical defibrillation process, using the Masuko mill as equipment. Analyze the influence of their application on paper production, by comparing the mechanical properties, such as the tensile strength, tear and burst index. Bleached cellulosic fiber and delignified cellulose from *Eucalyptus sp.*, And the Super Masscolloider Masuko Sangyo mill were used to obtain CNF. There was too much nanofibrillated cellulose with diameters less than 100 nm and found that the number of passes does not influence their average diameter. When adding delignified nanofibrillated cellulose from *Eucalyptus sp.* in the quantities of 2 and 9% it was verified that it acted positively in the mechanical properties of the paper, thus, it can be said that the nanofibrillated cellulose is a potential additive in their production.

KEYWORDS: Nanofibrilated cellulose, mill, defibrillation, application.

1 | INTRODUÇÃO

No Brasil, segundo as Estatísticas da Indústria Brasileira de Árvores (IBÁ), no ano de 2018 foram produzidas aproximadamente 21 milhões de toneladas de celulose. Este segmento encontra-se na quarta posição em relação às maiores indústrias mundiais em volume de produção (ABTCP, 2019). Pode-se observar que esse ramo industrial vem crescendo, sendo que no ano de 2017 para 2018 houve um aumento de 8,0% na produção de celulose (Cenários Ibá, 2019).

A celulose é um carboidrato polissacarídeo formado por monômeros de glicose ligados entre si, além disso é um material renovável e encontrado em abundância na natureza (LAVORATTI, 2015). As indústrias produtoras de celulose vêm buscando inovações em seus processos industriais, a fim de agregar mais valor ao seu produto final comercializado (POTULSKI, 2016). Diante disso, as mesmas vêm desenvolvendo pesquisas e utilizando a nanotecnologia para obtenção de uma celulose em escala nanométrica que possibilite diversas outras aplicações.

Os nanomateriais podem ser obtidos a partir de dois métodos: *top-down* e *bottom-up*. O método *top-down* ou estratégia de construção de cima para baixo consiste em obter nanomateriais por meio da miniaturização de estruturas em escala macroscópica. O método *bottom-up* ou construção de baixo para cima se baseia no crescimento de átomos ou moléculas, por meio da automontagem ou auto-organização (BIANCHI, 2015; RIBES *et al.*, 2018). As nanoceluloses podem ser obtidas por ambos os métodos. O *top-down* pode ocorrer por meio de processos mecânicos dando origem às nanofibrilas ou pelo processo de hidrólise ácida resultando em nanocristais.

A nanotecnologia é um dos ramos que mais se desenvolve atualmente, fruto dos altos investimentos em pesquisa (PASCHOALINO *et al.*, 2010). Com base na nanotecnologia, as indústrias de celulose vêm colocando esforços no desenvolvimento e produção de uma nanocelulose, que tem como característica principal, capacidade de formar maior quantidade de ligações de hidrogênio, além de um peso molecular menor e conferindo maior propriedade quanto à rigidez e à resistência à tração, se comparada à celulose convencional (POTULSKI, 2016). A nanocelulose pode ser utilizada em outros mercados de maior valor agregado, tais como: membranas anti-microbiais, cimento dentário, implantes médicos, materiais iridescentes, biosensores e diagnóstico, além do próprio segmento de fabricação de papel (PEREIRA, 2017).

A celulose nanofibrilada (CNF) pode ser obtida por meio do processo de desfibrilação mecânica de polpas celulósicas ou de fibras de madeira que podem conter ou não pré-tratamentos. No segmento de produção de papel, ganha destaque por contribuir com a resistência mecânica do produto final, pois a mesma apresenta propriedade de aumentar as ligações de hidrogênio e uma retenção maior das fibras de celulose durante o processo produtivo (POTULSKI, 2016). A celulose em escala nanométrica apresenta propriedades e utilizações diferentes que a mesma em escala *bulk* (LENGOWSKI, JÚNIOR, 2019). O principal diferencial da escala nanométrica é a potencialização das propriedades físicas e/

ou químicas possibilitando maior eficiência e desempenho de materiais já conhecidos. No caso da nanocelulose, características como elevada cristalinidade, rigidez, resistência à tração, e o fato de ser um material renovável e biodegradável, conferem maiores opções de aplicação e vantagens se comparada à celulose (NUNES, 2014). Na indústria de papel e celulose elas estão sendo estudadas com o intuito de reduzir o consumo de produtos químicos que conferem resistência e rigidez ao papel (NUNES, 2014).

A principal matéria-prima na indústria papelreira são as fibras celulósicas que são extraídas de biomassa lignocelulósica por meio de processo mecânico ou químico. As mesmas podem ser classificadas como longas ou curtas, o que as diferenciam são os tamanhos das fibras e a origem do madeiramento que foi extraído. As fibras longas (*softwood*) podem ser oriundas de árvores de coníferas, como o gênero *Pinus* mais utilizado no Brasil. Elas possuem um comprimento médio entre 3 e 5 mm e também são estreitas e alongadas apresentando uma estrutura tubular (CERRO, 2016). São aplicadas nos segmentos de papéis para embalagem, tais como, papelão ondulado, papel cartão e *sack Kraft* (POTULSKI, 2016). Enquanto as fibras curtas (*hardwood*) podem ser oriundas de árvores folhosas como o eucalipto, possuindo um comprimento variando entre 1 e 2 mm. São muito aplicadas em papéis para escrever e imprimir, e nos papéis *tissue*, como papel higiênico (CERRO, 2016).

O processo de produção da celulose se inicia com os cavacos, nos quais são submetidos a um processo químico conhecido como Kraft, que visa individualizar as fibras da madeira separando a lignina presente na fibra de celulose e transformando-a numa pasta celulósica (SAVIGNON, GONCALVES, 2016; LENGOWSKI, JÚNIOR, 2019). O processo Kraft trata-se de uma ação química em que ocorre o cozimento da madeira com produtos químicos a altas temperaturas e altas pressões (CERRO, 2016). Após a etapa de designificação da celulose, a polpa celulósica é peneirada para remover as impurezas sólidas e em seguida é levada ao branqueamento (SAVIGNON, GONÇALVES, 2016). O branqueamento da pasta celulósica tem como objetivo eliminar e/ou modificar resquícios de lignina após o cozimento, o mesmo consiste em uma série de torres com misturas diferentes de agentes branqueadores, pelas quais a celulose designificada passa (SAVIGNON, GONCALVES, 2016). Este processo é opcional, visto que a polpa celulósica pode ser usada branqueada ou na coloração marrom (LENGOWSKI, JÚNIOR, 2019). Finalizada a etapa de branqueamento, é realizada a secagem da polpa celulósica, na qual é retirada água e em seguida, as folhas de celulose são cortadas em tamanho padrão para serem comercializadas (SAVIGNON, GONCALVES, 2016).

Após o processo de produção, é importante que seja avaliada a qualidade da celulose produzida, pois impacta diretamente na qualidade do papel que será produzido. Esta avaliação é feita com base em suas propriedades ópticas, físicas e mecânicas (POTULSKI, 2016). É baseando-se nos resultados destas propriedades que a utilização da nanocelulose se torna tão vantajosa. Muitos estudos já comprovaram a eficiência da sua utilização como aditivo na fabricação do papel, ela aumenta as propriedades de resistência do papel, com menor intensidade de refinação, redução na aplicação de agentes químicos e biológicos, baixa absorção de água, melhores propriedades de barreira para óleos, biodegradabilidade e redução de custos (LENGOWSKI, JÚNIOR, 2019; POTULSKI, 2016). Ou seja, ela melhora as propriedades do papel, reduzindo o consumo energético e de

aditivos químicos durante o processo de produção.

Este trabalho teve como objetivo estudar a celulose nanofibrilada obtida pelo processo de desfibrilação mecânica, utilizando o moinho Masuko. Analisar a influência da aplicação das mesmas na produção de papel, por meio da comparação das propriedades mecânicas, tais como, índice de resistência à tração, ao rasgo e ao arrebitamento.

2 | METODOLOGIA

O presente trabalho refere-se a uma pesquisa bibliográfica e baseou-se na pesquisa de três autores: Potulski (2016), Magalhães *et al.* (2017) e Cerro (2016).

A partir dos trabalhos de Potulski (2016) e Magalhães *et al.* (2017) analisou-se a obtenção da celulose nanofibrilada, por meio do processo mecânico de desfibrilação utilizando o moinho Masuko Sangyo e a influência do número de passes no processo. A análise foi feita por meio de imagens de microscopia eletrônica de transmissão.

Por meio dos trabalhos de Potulski (2016) e Cerro (2016) foi avaliado se as CNF possuem um potencial aditivo na produção de papel, mediante as propriedades físicas mecânicas dos papéis. A análise foi realizada através de gráficos comparativos dos índices das propriedades.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Processo de obtenção da nanocelulose

A celulose nanofibrilada, também conhecida como nanofibras, microfibras, celulose nanofibrilar e celulose microfibrilar, compõe-se de nanofibras de celulose longas, flexíveis e emaranhadas (LAVORATTI, 2015; RIBES *et al.*, 2018) com diâmetro entre 5 e 20 nm e comprimento entre 2 e 10 micrômetros. Pode ser obtida por processos físicos, químicos e enzimáticos (MAGALHÃES *et al.*, 2017) e apresenta propriedades como baixa expansão térmica, alta resistência e rigidez e baixo peso (POTULSKI, 2016).

A autora Potulski (2016), usou como material de estudo a polpa celulósica industrial de *Eucalyptus sp.* e *Pinus sp.* obtidas pelo processo Kraft e fibras recicladas de *Eucalyptus sp.* e *Pinus sp.* e obteve CNF a partir da polpa celulósica virgem de *Eucalyptus sp.* Inicialmente, essa polpa virgem passou pelo processo de deslignificação, na qual, o principal objetivo era deixá-la menos rígida e favorecer o processo de desfibrilação mecânica. O processo de deslignificação foi executado com 3% de Clorito de Sódio (NaClO_2) 20 g/L a base polpa seca e utilizou-se um volume igual de solução tampão (*Buffer*) em uma consistência de 10 g/kg por uma hora em banho-maria à uma temperatura de 90 °C. Foram executadas em quatro etapas de deslignificação nas mesmas condições e ao final de cada etapa a polpa celulósica foi lavada em água corrente, com intuito de retirar a lignina residual da polpa e resíduos da solução (POTULSKI, 2016), (Figura) 1.



Figura 1. Processo de deslignificação.

Fonte: (POTULSKI, 2016).

Após a realização do processo de deslignificação, as amostras foram desintegradas durante cinco minutos para se obter uma suspensão homogênea de fibras. Em seguida, essa suspensão de fibras e água à concentração de 1,0% base massa seca foi levada para o processo de desfibrilação mecânica no moinho microprocessador Super Masscolloider Masuko Sangyo (Figura 2(A) e depois das passagens pelo equipamento a suspensão celulósica aderiu um aspecto de gel (POTULSKI, 2016).



Figura 2. (A) Moinho Super Masscolloider MKCA6-2J (Masuko Sangyo). (B) Pedra de moagem inferior móvel do Moinho Super Masscolloider.

Fonte: (MAGALHÃES, 2017).

O moinho é formado por dois discos de pedras que contém fissuras (Figura 2(B), sendo, um disco de pedra fixo e outro rotativo e a abertura entre eles é ajustável. Desta maneira, o contato mecânico dos discos sobre a suspensão celulósica gera forças de cisalhamento, ocasionando fibrilamento das fibras, e conseqüentemente, reduzindo o seu tamanho. O equipamento possui quatro parâmetros de controle que podem ser ajustados e que influenciam na obtenção da celulose fibrilada. São eles: consistência, rotação, número de passes e distância entre os discos. Os valores dos parâmetros utilizados por (POTULSKI, 2016) foram: consistência 1,0 %, rotação 1500 rpm, número de passes 2, 10 e 20 e distância entre os discos 0,1 μm .

Em contrapartida, Magalhães e colaboradores (2017) utilizaram como material de estudo a polpa celulósica branqueada e o Moinho Super Masscolloider Masuko Sangyo modelo MKCA6-2J para a obtenção da celulose nanofibrilada. Primeiramente realizaram o ajuste da distância entre os discos de pedra do moinho com água, os mesmos foram

ajustando a distância dos elementos de moagem até que corrente elétrica máxima consumida no motor fosse de 3 Ampère. Essa amperagem não pode ultrapassar de 3, pois pode ocorrer o contato entre os discos, causando desgaste nos mesmos e contaminação da amostra. Após este ajuste, foi realizado o preparo da celulose em um liquidificador laboratorial, onde, em 2 litros de água destilada atingiram uma concentração de 2-3% em massa de celulose. Em seguida, inseriram essa suspensão no moinho Super Masscolloider, sob uma frequência de 1500 rpm e realizaram de 15 a 20 passes até que a amostra ficou com um aspecto de gel. Os autores, após passarem a suspensão de polpa de celulósica pelo moinho, obtiveram uma suspensão com aspecto gelatinoso esbranquiçado, como pode ser observado na Figura 3.

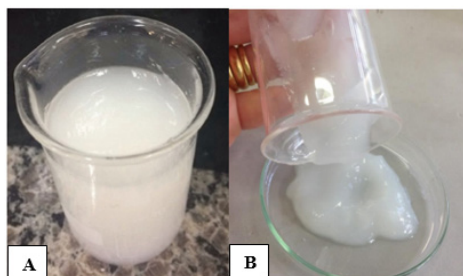


Figura 3. (A) Suspensão de celulose nanofibrilada obtida pelo Magalhães e colaboradores, (2017). (B) Suspensão de celulose nanofibrilada obtida pela Potulski (2016).

Fonte: (POTULSKI, 2016; MAGALHÃES *et al.*, 2017).

O processo de desfibrilação mecânica provoca a degradação da celulose ocasionando a exposição e abertura das fibras, como consequência acarreta a diminuição no tamanho e um aumento da área específica das mesmas. As celuloses são desfibriladas no moinho por forças de cisalhamento provocado pelo contato mecânico entre a suspensão de celulose e os discos de pedras (CERRO, 2016). A celulose nanofibrilada possui hidroxilas em sua estrutura que fazem ligações de hidrogênio com outras nanoceluloses formando uma rede de nanofibrilas emaranhadas e desordenadas. Por esse motivo, existe uma dificuldade de isolar somente uma nanofibra (POTULSKI, 2016). Ambos os autores utilizaram a microscopia eletrônica de transmissão (MET) para analisar as estruturas e as dimensões das celuloses nanofibriladas obtidas pelo processo de desfibrilação mecânica.

Por meio do processo de desfibrilação mecânica, podem ser observados quatro eventos que alteram a estrutura da fibra. O primeiro é a fibrilação interna, no qual os feixes de fibras ficam afrouxados, gerando o inchamento e o aumento da flexibilidade das fibras. Como consequência desse inchamento, a reatividade da celulose aumentará e ficará mais fácil para os reagentes entrarem na mesma. Este evento é mais difícil de ser observado em microscopia. O evento seguinte é a fibrilação externa que acontece na superfície da fibra, ou seja, ocorre o processo de desfibrilação das fibrilas, porém nem todas se desprendem por completo. O mesmo pode ser observado por microscopia. Quando as fibrilas se desprendem por completo da fibra, têm-se a geração das nanofibras como a

terceira alteração. E por último há a redução dimensional da própria fibra ocasionada pelo desgaste mecânico (POTULSKI, 2016).

Potulski (2016) observou que o processo de desfibrilação mecânica provocou a fibrilação externa das fibras. Dessa forma, foi possível reduzir o diâmetro das fibrilas e gerar nanocelulose fibrilada com diâmetros na escala nanométrica e comprimento na escala micrométrica. A mesma obteve celulose nanofibrilada com diâmetro médio de aproximadamente de 30 nm. Na Figura 4 é possível notar a fibrilação gerada e os eventos que ocorrem na fibra por meio da comparação entre a imagem da microscopia eletrônica de varredura (MEV) e transmissão (MET).

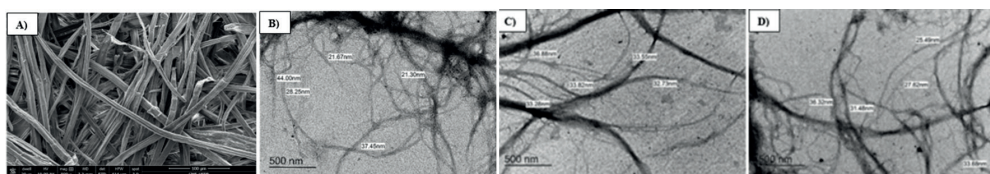


Figura 4. MEV: (A) Fibras virgens de *Eucalyptus* sp. MET: (B) celulose nanofibrilada obtida após 2 passes; (C) celulose nanofibrilada obtida após 10 passes; (D) celulose nanofibrilada obtida após 20 passes.

Fonte: (adaptada POTULSKI, 2016).

Magalhães e colaboradores (2017) também utilizaram a microscopia eletrônica de transmissão (MET) para avaliar as dimensões das nanofibrilas de celulose produzidas após o processo mecânico (Figura 5). Observaram que o processo de desfibrilação mecânica ocasionou a fibrilação da parede celular das fibras da polpa celulósica, o que resultou na formação de nanofibras com diâmetros a partir de 4nm. Além disso, constataram que a largura das fibras diminuiu de micrômetros para nanômetros.

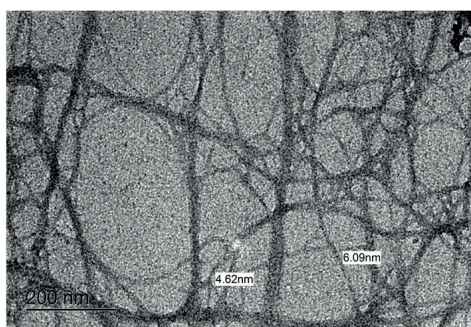


Figura 5. Microscopia de transmissão eletrônica de nanocelulose de *Eucalyptus* sp. obtida por desfibrilação mecânica.

Fonte: (MAGALHÃES, et. al. 2017).

Como pode ser observado na Figura 5, obtiveram nanofibrilas de celulose com diâmetros menores de 100 nm, característica necessária para ser considerado um nanomaterial. Portanto, constatou-se que o método de obtenção de celulose nanofibrilada por meio do processo de desfibrilação mecânica foi eficiente. Quanto ao estudo referente à influência do número de passes no tamanho da nanocelulose obtida, Magalhães e colaboradores (2017) não fizeram nenhuma análise, visto que pretendiam apenas comprovar a eficiência do processo. Diferentemente deles, Potulski (2016) realizou o processo mecânico com 2, 10 e 20 passes e comparou-os. Entretanto, não foram encontradas diferenças significativas entre os diâmetros das nanoceluloses, comprovando que para uma mesma consistência, o número de passes não influencia no tamanho das nanoceluloses produzidas. Contudo, a diferença notada entre os diâmetros obtidos por Magalhães e colaboradores (2017) e pela Potulski (2016) é possivelmente devido à diferença na consistência da suspensão de celulose utilizada no moinho, pois o primeiro autor utilizou uma consistência mais alta e isso faz com que tenha mais celulose e ocorra mais atrito entre as mesmas e com os discos de pedra.

3.2 Aplicação da celulose nanofibrilada no papel

De acordo com o trabalho de Potulski (2016), as folhas de papel foram confeccionadas com incorporação de celulose nanofibrilada nas fibras virgens de *Eucalyptus* sp. e *Pinus* sp. e fibras recicladas de *Eucalyptus* sp. e *Pinus* sp., como mostra o fluxograma da Figura 6. A incorporação de celulose nanofibrilada foi de 2 passes na proporção de 9%, totalizando 8 tratamentos. Para atingir a gramatura seca objetiva de 60 ± 3 g/m², as adições de celulose nanofibrilada foram feitas com base na massa seca da folha. Para cada tratamento foram confeccionadas cinco folhas, os parâmetros de confecção e secagem foram gramatura seca objetiva 60 ± 3 g/m², temperatura de secagem 90 ± 2 °C, pressão de secagem 80 kPa e umidade final 8 ± 1 %. Após confecção e secagem, as folhas de papel foram climatizadas e seguiram para os ensaios físicos e mecânicos.

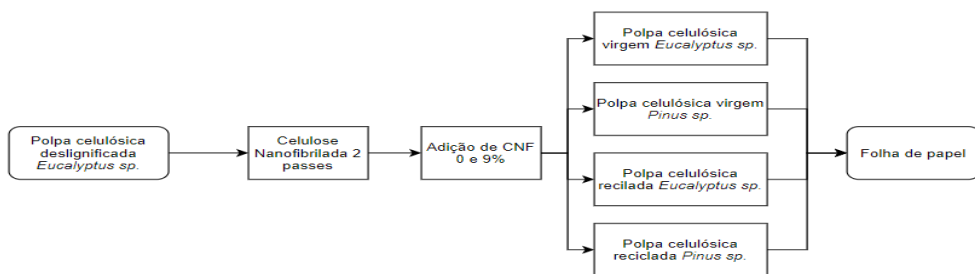


Figura 6. Fluxograma da adição de celulose nanofibrilada (CNF) na produção de papéis, conforme Potulski (2016).

Cerro (2016) utilizou dois processos, sendo um mecânico e um químico para obter a celulose nanofibrilada a partir da pasta de Kraft de eucalipto branqueada (PKEB), como mostra o fluxograma da Figura 7. Primeiramente, foi realizado o processo de desfibrilação

mecânica com o moinho Super Massocolloider Masuko Sangyo (MKCA6-3) na suspensão de celulose, sendo os parâmetros de controle de obtenção: consistência 1,0 %, rotação 1500 rpm, número de passes 10 e distância entre os discos 0,1 μm . O material obtido deste processo foi chamado de celulose microfibrilada (MCF).

Posteriormente foi realizado um processo químico de oxidação mediada por TEMPO para obter as celuloses nanofibriladas. Esse processo baseia-se na oxidação das fibras de celulose por meio de um sistema reacional composto por 2,2,6,6- tetramethylpiperidine-1-oxyl radical (TEMPO), brometo de sódio (NaBr) e hipoclorito de sódio (NaClO). Este mecanismo fundamenta-se em oxidar de forma seletiva o carbono que está localizado na posição 6 (C6) dos grupos hidroxilos primários da celulose em meio aquoso, colocando grupos funcionais carboxílicos e grupos aldeídos com carga iônica, gerando fortes repulsões eletrostáticas entre as fibrilas, fazendo com que se separem.

Após esse processo químico, a suspensão de celulose nanofibrilada foi homogeneizada em uma pressão de 500 bar e em seguida a 1000 bar a temperatura ambiente (CERRO, 2016). Posteriormente, a celulose nanofibrilada foi incorporada na pasta de Eucalipto branqueada (PKEB) para a produção de papel. A mesma foi adicionada em uma proporção de 2% em relação ao peso total da folha, na qual possuía uma gramatura de 90 g/m² seguindo o que descreve na norma ABNT NBR ISO 5269-: Pastas celulósicas - Preparação de folhas em laboratório para ensaios físicos.

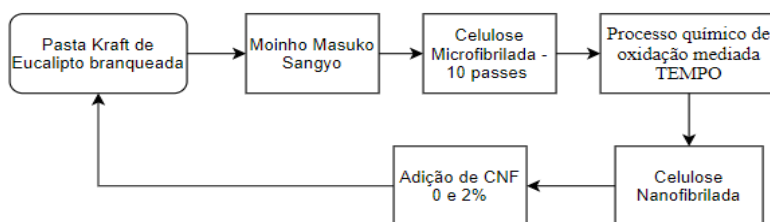


Figura 7. Fluxograma da adição de celulose nanofibrilada (CNF) na produção de papéis, conforme o Cerro (2016).

Para analisar a efetividade da aplicação de celulose nanofibrilada na produção de papel foi preciso entender o comportamento da interação entre as fibras e nanofibras, sendo assim, foram analisadas as propriedades mecânicas, tais como, índice a resistência à tração, ao arrebentamento (estouro) e ao rasgo. Segundo Potulski (2016) as propriedades foram definidas com base nas Normas Tappi, tais como, T494-om01, T403-om02 e T414-om98, respectivamente. Cerro (2016) se baseou nas Normas da ABNT NBR NM ISO, tais como, 1924:2:2012, 2758:2007 e 2471:2001, respectivamente.

A interação entre as fibras do papel e as nanofibrilas podem aumentar a quantidade de ligações inter e intrafibras, ocasionando um aumento na capacidade dos elementos fibrosos de suportarem esforços de resistência, como à tração e ao arrebentamento. Isso ocorre devido ao processo mecânico de desfibrilação gerar exposição dos sítios ativos da CNF, acarretando em um maior número de ligações com a celulose do papel. Além disso,

esse aumento das ligações contribui também na retenção e na formação das folhas, o que resulta em maior densidade e menor absorção de água pelo papel.

Para determinar a resistência à tração, Potulski (2016) utilizou um dinamômetro, e seu índice foi calculado por meio da relação entre a resistência à tração e a gramatura, expresso em $N.m.g^{-1}$. A Figura 8(A) mostra os índices de tração para as folhas produzidas de fibras virgens e recicladas de *Eucalyptus sp.* e *Pinus sp.* com adição de celulose nanofibrilada, obtida de 2 passes na proporção de 9%. Cerro (2016) também obteve o mesmo comportamento com adição na pasta celulósica de 2% de celulose nanofibrilada obtida de 10 passes, como pode ser observado na Figura 8(B).

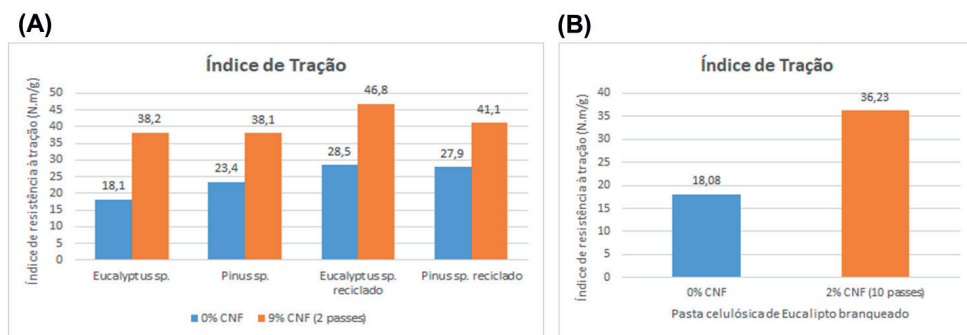


Figura 8. Índice de tração para (A) papéis de fibras virgens e recicladas de *Eucalyptus sp.* e *Pinus sp.* sem e com adição de celulose nanofibrilada.

Fonte: (adaptada POTULSKI, 2016). (B) papel de pasta celulósica de Eucalipto branqueada sem e com adição de celulose nanofibrilada.

Fonte: (adaptada CERRO, 2016).

Como pode ser observado na Figura 8(A), o índice de tração dos papéis aumentou com a adição de celulose nanofibrilada. Sendo que o maior índice apresentado foi de 46,8 $N.m.g^{-1}$ no papel de *Eucalyptus sp.* com adição de 9% de CNF obtido após 2 passes pelo equipamento. Segundo Potulski (2016), esse aumento no índice pode ser justificado pela elevada formação de ligações entre fibras e nanofibras, pois o processo de desfibrilação expõe as microfibrilas. Além disso, a propriedade mecânica de tração está relacionada com as ligações interfibras que ocorrem na área específica da fibra, deste modo, os tamanhos das fibras influenciam diretamente, pois quanto menor o tamanho das fibras, maior será o potencial de ligações interfibrilares e a área de ligação entre elas. Dessa forma, pode-se inferir que a CNF é um potencial aditivo para o papel, pois de acordo com os resultados de ambos os autores, houve um aumento no índice de tração com adição de celulose nanofibrilada.

Os papéis utilizados para embalagens são muitas vezes fabricados com celulose de fibras longas, como por exemplo, fibras de *Pinus sp.*, e os mesmos exigem que possuam boa resistência mecânica. Dessa forma, os estudos apontam que papéis de Eucalipto com

adição de CNF, seja uma alternativa favorável para a fabricação de papéis para embalagens, levando em consideração que a produção média anual das fibras de *Eucalyptus sp.* é de 44 m³/ha/ano, sendo maior quando comparado com a produção das fibras *Pinus sp.*, que é em média 38 m³/ha/ano (POTULSKI, 2016). Outra propriedade mecânica analisada foi a resistência ao arrebentamento (estouro) e foi calculado por meio da relação entre a resistência ao arrebentamento e a gramatura, expresso em kPam².g⁻¹. A Figura 9(A) apresenta os resultados de Potulski (2016) com adição de celulose nanofibrilada (2 passes) em proporção de 9% nas fibras virgens e recicladas de *Eucalyptus sp.* e *Pinus sp.* A Figura 9(B) apresenta os resultados alcançados por Cerro (2016) com o incremento de 2% de CNF (10 passes) na pasta celulósica de eucalipto branqueada.

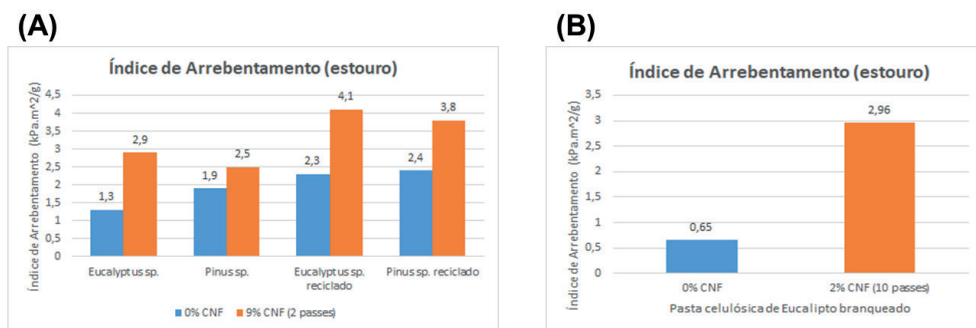


Figura 9. Índice de arrebentamento para (A) papéis de fibras virgens e recicladas de *Eucalyptus sp.* e *Pinus sp.* sem e com adição de celulose nanofibrilada.

Fonte: (adaptada POTULSKI, 2016). (B) papel de pasta celulósica de Eucalipto branqueada sem e com adição de celulose nanofibrilada.

Fonte: (adaptada CERRO, 2016).

É possível observar que houve um aumento do índice de arrebentamento com a adição da celulose nanofibrilada. As mesmas fazem com que aumente o número de ligações de hidrogênio entre elas e as fibras, ocasionando uma densa rede, de tal forma, que se resulte em mais resistência e rigidez ao papel. A variação do índice nas folhas de Eucalipto com CNF em relação às sem nanofibras foram maiores que nas folhas de Pinus, a explicação para isso é que as fibras de Eucaliptos são curtas sendo assim conseguem fazer mais ligações químicas com as nanofibras.

A última propriedade mecânica a ser analisada foi a resistência ao rasgo, o seu índice foi calculado por meio da razão entre a resistência ao rasgo e a gramatura, sendo expressão mN.m².g⁻¹. As Figuras 10 (A e B) apresentam os resultados obtidos por Potulski (2016) e Cerro (2016), respectivamente. Diferentemente do índice de tração e do arrebentamento, o índice de rasgo não apresentou resultados positivos para todos os níveis de tratamento. Verifica-se que o incremento de celulose nanofibriladas nas fibras de Eucalipto resultou em um aumento significativo no índice de rasgo. Porém, nas fibras de *Pinus sp.* a adição não influenciou muito o índice. Os fatores que podem atuar sobre a resistência ao rasgo

são o comprimento das fibras, ligações entre elas e a integridades das mesmas. Dessa forma pode-se explicar porque as fibras de *Pinus sp.* não sofreram influência positiva na adição de CNF, pois as mesmas são fibras longas e o tamanho da fibra está relacionada diretamente com o potencial de ligação interfibrilares.

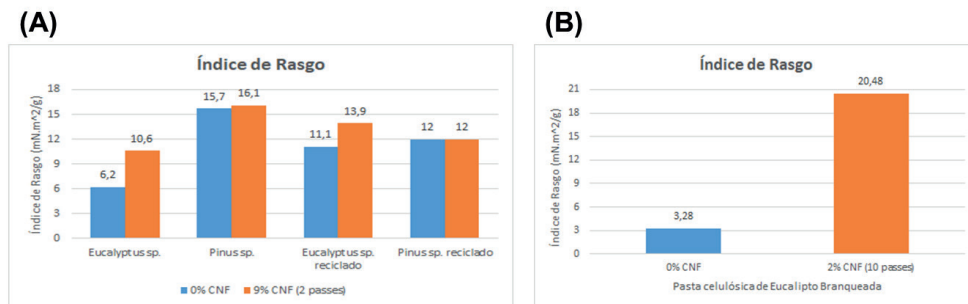


Figura 10. Índice de rasgo para (A) papéis de fibras virgens e recicladas de *Eucalyptus sp.* e *Pinus sp.* sem e com adição de celulose nanofibrilada.

Fonte: (adaptada POTULSKI, 2016). (B) papel de pasta celulósica de Eucalipto branqueada sem e com adição de celulose nanofibrilada.

Fonte: (adaptada CERRO, 2016).

4 | CONCLUSÃO

A utilização do processo de desfibrilação mecânica pelo moinho Masuko Sangyo para obtenção de celulose nanofibrilada mostrou ser eficiente, pois as mesmas obtiveram diâmetros médios inferiores a 100 nm, sendo classificadas como um material nanométrico. Além disso, foi possível observar que a consistência da suspensão celulósica influencia no diâmetro final das nanofibras, porém, para uma mesma consistência de suspensão o número de passes não altera significativamente o diâmetro das nanofibras.

A adição de celulose nanofibrilada nos papéis de fibras virgens e recicladas resultou em melhora para as três propriedades mecânicas estudadas, como a resistência à tração, ao arrebentamento e ao rasgo. Ainda que com este último não tenham sido obtidos ganhos tão significativos quando comparados aos dois primeiros. Os papéis de fibras de Eucalipto apresentaram os maiores aumentos nas propriedades mecânicas quando comparados com os papéis de fibras de Pinus, isso ocorre porque as fibras curtas apresentam maior potencial de ligações interfibrilares, resultando dessa forma maiores ligações com as celuloses nanofibriladas. Pode-se inferir que as CNF são um potencial aditivo para o papel, principalmente para a produção de papéis de embalagens que demandam ter altas propriedades mecânicas.

REFERÊNCIAS

Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel - ABTCP. **Quem somos: O setor**. Disponível em: <<https://www.abtcp.org.br/quem-somos/osetor/o-setor>>. Acesso em: 09/05/2020.

BIANCHI, R. M. C. **Compostos Peptídicos Nanoestruturados Funcionalizados com Polianilina para Direta Imobilização da Urease**. 2015. 123 f. Tese (Programa de Pós-Graduação em nanociência e Materiais Avançados). Centro de Ciências Naturais e Humanas, Universidade Federal ABC, Santo André. 2015.

CERRO, J. C. **Aplicação de nanocelulose em fibras não branqueadas para obtenção de papéis**. 2016. 178 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, Departamento em Engenharia Química, São Paulo, 2016.

LAVORATTI, A. **Desenvolvimento e caracterização de compósitos poliméricos poliéster/nanocelulose**. 2015. 79 f. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia de Processos e Tecnologias) – Universidade de Caxias do Sul, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos e Tecnologias, Caxias do Sul, 2015.

LENGOWSKI, E. C.; JÚNIOR, E. A. B. **Sustentabilidade de Recursos Florestais**, v. 2, 155-164 p. Ponta Grossa, PR: Atena Editora, 2019.

MAGALHÃES, W. L. E. *et al.* **Produção de nanofibrilas de celulose por desfibrilação mecânica em moinho coloidal**. Comunicado Técnico 404. Colombo, PR. Outubro, 2107.

NUNES, T. F. G. **Produção, caracterização e aplicação de nanofibras de celulose**. 2014. 73 f. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Química) - Universidade de Coimbra, Departamento de Engenharia Química da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, Coimbra, 2014.

PASCHOALINO, M.; MARCONE, G.; JARDIM, W. **Os nanomateriais e a questão ambiental**. Quim. Nova, v. 33, n. 2, 421-430, 2010.

PEREIRA, F. **Alternativas de uma fibra vegetal**. Revista Pesquisa FAPESP. São Paulo: Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, ano 18, n. 253, mar. 2017. 70-73 p.

POTULSKI, D. C. **Influência da nanocelulose nas propriedades físicas e mecânicas de papel primário e reciclado de pinus e eucalyptus**. 2016. 97 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. Defesa: Curitiba, 16/03/2016.

RIBES, D. D. *et. al.* **Produção de suspensões nanofibrilares de celulose vegetal por meio de processo combinado - Avaliação do gasto energético**. Revista Matéria, v. 23, n.4, 2018.

SAVIGNON, L. T.; GONÇALVES, V. L. **Estudo de viabilidade técnica e econômica da produção de nanocelulose**. 2016. 81 f. Trabalho (Conclusão de Curso) - Universidade Federal Fluminense, Departamento de Engenharia Química e de Petróleo, Niterói, 2016.

SERRO, M. **Estatísticas da Indústria Brasileira de Árvores**. Disponível em: <https://iba.org/datafiles/e-mail-marketing/cenarios/56-cenarios_2.pdf>. Acesso em: 09/05/2020.

ÍNDICE REMISSIVO

A

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

Antioxidante 122, 156, 157

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

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

B

Bioplástico 122

C

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

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

Ciclo de vida 136, 146

Computador 48, 54

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

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

D

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

defletores 85

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

Dimensionamento 80, 81, 177, 178

E

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

Efluentes industriais 187, 198

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

Energia Solar 70, 71, 72, 73, 82

G

Géis 151, 155, 157

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

I

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

Indústria 4.0 30, 162, 163, 165, 173

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

Inteligência artificial 220

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

I-Pai Wu 177

K

K-means 28, 29

L

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

M

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

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

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

Modelo matemático 95, 98, 101, 105

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

N

Nanotecnologia 108

O

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

P

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

Piezoelétrico 58, 59, 60, 63, 64, 68

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

R

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

Rastreamento de partículas 83

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

Rede neural 21, 24, 25

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

Rolhas de pallets 139

S

Saúde 203, 208, 217, 219

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

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

T

Testes comportamentais 21, 24

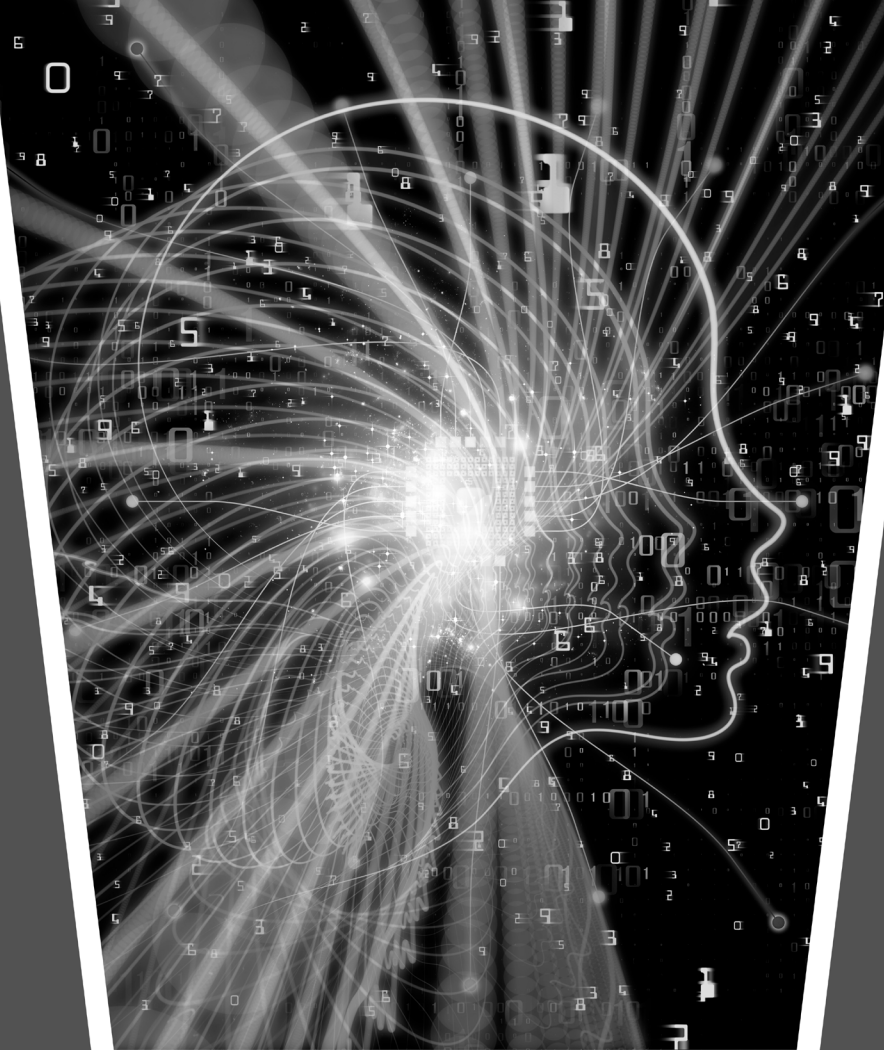
Transformação digital 163

V

Veículos 33, 34, 64

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

Vórtices 84, 85, 91



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



www.atenaeditora.com.br



contato@atenaeditora.com.br



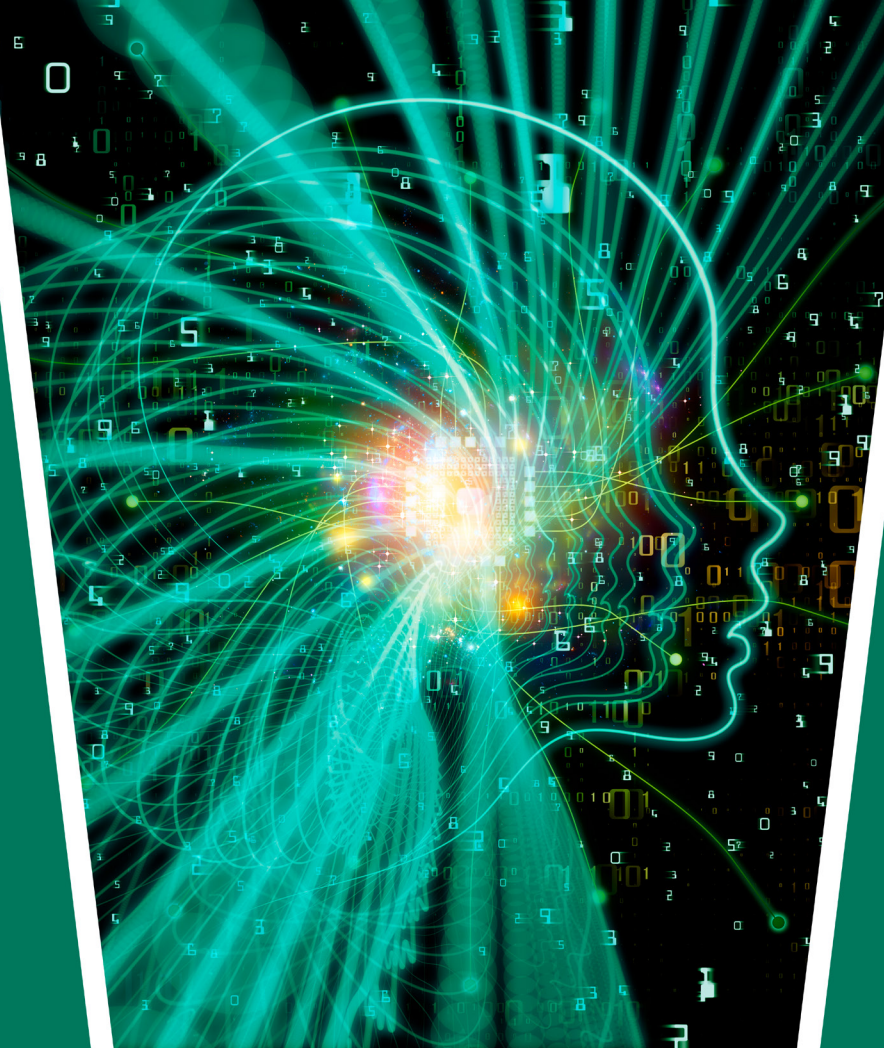
[@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)



www.facebook.com/atenaeditora.com.br

Atena
Editora

Ano 2021



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



www.atenaeditora.com.br



contato@atenaeditora.com.br



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



www.facebook.com/atenaeditora.com.br

Atena
Editora

Ano 2021