

Fontes de Biomassa e Potenciais Usos 2

Leonardo Tullio
(Organizador)



Fontes de Biomassa e Potenciais Usos 2

Leonardo Tullio
(Organizador)



2020 by Atena Editora
Copyright © Atena Editora
Copyright do Texto © 2020 Os autores
Copyright da Edição © 2020 Atena Editora
Editora Chefe: Prof^a Dr^a Antonella Carvalho de Oliveira
Diagramação: Karine de Lima
Edição de Arte: Luiza Batista
Revisão: Os Autores



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam 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. Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Editora Chefe

Prof^a Dr^a Antonella Carvalho de Oliveira

Bibliotecário

Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

Prof^a Dr^a Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso
Prof. Dr. Américo Junior Nunes da Silva – Universidade do Estado da Bahia
Prof^a Dr^a Angeli Rose do Nascimento – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro
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^a Dr^a Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof^a Dr^a Denise Rocha – Universidade Federal do Ceará
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia
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. Fabiano Tadeu Grazioli – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Prof. Dr. Gustavo Henrique Cepolini Ferreira – Universidade Estadual de Montes Claros
Prof^a Dr^a Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionale delle Figlie de Maria Ausiliatrice

Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Prof^a Dr^a Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso
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 Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará
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^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
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. 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. 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 Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília
Prof^a Dr^a Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina

Profª Drª Eysler Gonçalves Maia Brasil – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira

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

Prof. Dr. Fernando José Guedes da Silva Júnior – Universidade Federal do Piauí

Profª Drª Gabriela Vieira do Amaral – Universidade de Vassouras

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

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

Profª Drª Iara Lúcia Tescarollo – Universidade São Francisco

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

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

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

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

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

Profª Drª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande

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

Profª Drª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma

Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte

Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá

Profª Drª Regiane Luz Carvalho – Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino

Profª Drª Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora

Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

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

Prof. Dr. Alexandre Leite dos Santos Silva – Universidade Federal do Piauí

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

Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná

Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará

Profª Drª. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho

Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande

Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte

Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá

Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba

Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte

Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

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. Me. Adalto Moreira Braz – Universidade Federal de Goiás

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. Me. Alexsandro Teixeira Ribeiro – Centro Universitário Internacional

Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão

Prof^a Ma. Anne Karynne da Silva Barbosa – Universidade Federal do Maranhão
Prof^a Dr^a Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Prof^a Dr^a Andrezza Miguel da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia
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
Prof^a Ma. Carolina Shimomura Nanya – Universidade Federal de São Carlos
Prof. Me. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Ma. Cláudia de Araújo Marques – Faculdade de Música do Espírito Santo
Prof^a Dr^a Cláudia Taís Siqueira Cagliari – Centro Universitário Dinâmica das Cataratas
Prof. Me. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará
Prof^a Ma. Daniela da Silva Rodrigues – Universidade de Brasília
Prof^a Ma. Daniela Remião de Macedo – Universidade de Lisboa
Prof^a 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. Euvaldo de Sousa Costa Junior – Prefeitura Municipal de São João do Piauí
Prof^a Ma. Fabiana Coelho Couto Rocha Corrêa – Centro Universitário Estácio Juiz de Fora
Prof. Dr. Fabiano Lemos Pereira – Prefeitura Municipal de Macaé
Prof. Me. Felipe da Costa Negrão – Universidade Federal do Amazonas
Prof^a Dr^a Germana Ponce de Leon Ramírez – Centro Universitário Adventista de São Paulo
Prof. Me. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária
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
Prof^a 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
Prof^a Dr^a Juliana Santana de Curcio – Universidade Federal de Goiás
Prof^a Ma. Juliana Thaisa Rodrigues Pacheco – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof^a Dr^a Kamilly Souza do Vale – Núcleo de Pesquisas Fenomenológicas/UFPA
Prof. Dr. Kárpio Márcio de Siqueira – Universidade do Estado da Bahia
Prof^a Dr^a 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. Lilian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará
Prof^a Ma. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ

Profª Drª Lívia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás
Prof. Me. Lucio Marques Vieira Souza – Secretaria de Estado da Educação, do Esporte e da Cultura de Sergipe
Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados
Prof. Dr. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual do Paraná
Prof. Dr. Michel da Costa – Universidade Metropolitana de Santos
Prof. Dr. Marcelo Máximo Purificação – Fundação Integrada Municipal de Ensino Superior
Prof. Me. Marcos Aurelio Alves e Silva – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo
Profª Ma. Maria Elanny Damasceno Silva – Universidade Federal do Ceará
Profª Ma. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Prof. Me. Ricardo Sérgio da Silva – Universidade Federal de Pernambuco
Prof. Me. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados
Profª Ma. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal
Prof. Me. Sebastião André Barbosa Junior – Universidade Federal Rural de Pernambuco
Profª Ma. Silene Ribeiro Miranda Barbosa – Consultoria Brasileira de Ensino, Pesquisa e Extensão
Profª Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo
Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Faculdade Regional Jaguaribana
Prof. Me. Tiago Silvio Dedoné – Colégio ECEL Positivo
Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

Fontes de biomassa e potenciais de uso 2

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira
Bibliotecário Maurício Amormino Júnior
Diagramação: Karine de Lima
Edição de Arte: Luiza Batista
Revisão: Os Autores
Organizador: Leonardo Tullio

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)	
F683	Fontes de biomassa e potenciais de uso 2 [recurso eletrônico] / Organizador Leonardo Tullio. – Ponta Grossa, PR: Atena, 2020. Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader. Modo de acesso: World Wide Web. Inclui bibliografia ISBN 978-65-5706-207-4 DOI 10.22533/at.ed.074202107 1. Biocombustíveis. 2. Biomassa – Pesquisa – Brasil. I. Tullio, Leonardo. CDD 333.9539
Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422	

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

APRESENTAÇÃO

A obra “Fontes de Biomassa e Potências de Uso” aborda em seu segundo Volume uma apresentação de 9 capítulos, no qual os autores tratam as mais recentes e inovadoras pesquisas voltadas para a área de energias alternativas. Tema tratado com abordagem sistemática envolvendo o desenvolvimento de técnicas e métodos de aproveitamento da biomassa.

Pesquisar sobre a obtenção de energia com o menor impacto ambiental é sem dúvida o objeto central de estudo global. Com o crescimento populacional novos problemas aparecem, um deles é sem dúvida sobre o reaproveitamento de biomassa como fonte de energia com o menor impacto ambiental. Adotar energias renováveis seria uma das estratégias mais eficientes para esse problema, bem como o reaproveitamento dos recursos limitados.

Assim, necessitamos de inovações tecnológicas que representem impactos positivos no desenvolvimento das cidades. Avaliar a capacidade de geração energética através de diversas fontes serão apresentados nesta obra, resultados promissores na área.

Neste sentido, conhecer casos de sucesso e estudar sobre futuras pesquisas é o propósito deste e-book, levar conhecimento também é ser sustentável, desenvolver estratégias é superar fronteiras e cada vez mais pensar no futuro.

Seja diferente, pense diferente e comece agora, agir com propósitos claros pensando nas gerações futuras. Bons estudos.

Leonardo Tullio

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
NANOCELULOSES DE FONTES ALTERNATIVAS: OBTENÇÃO, MORFOLOGIAS E APLICAÇÕES	
Emanoel Igor da Silva Oliveira Silvana Mattedi Nadia Mamede José	
DOI 10.22533/at.ed.0742021071	
CAPÍTULO 2	20
A TECNOLOGIA DA BIOMASSA COMO INSUMO PARA A PRODUÇÃO DE ENERGIA ECOEFICIENTE	
Ana Martha Carneiro Pires de Oliveira Raquel Nazário da Rosa Prado	
DOI 10.22533/at.ed.0742021072	
CAPÍTULO 3	28
AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE DE PRODUÇÃO ENERGÉTICA DO BIODIGESTOR ALIMENTADO COM RESÍDUOS DOMÉSTICOS EM UM RESIDENCIAL NO MUNICÍPIO DE LAGES/SC	
Lucas de Bona Sartor Taciana Furtado Ribeiro Mariáh de Souza Lais Sartori Bruna da Silva	
DOI 10.22533/at.ed.0742021073	
CAPÍTULO 4	36
OTIMIZAÇÃO DA REAÇÃO DE TRANSESTERIFICAÇÃO METÉLICA DO ÓLEO DE SOJA CATALISADA POR SILICATO DE SÓDIO DERIVADO DAS CINZAS DE CASCA DE ARROZ	
Guilherme Canto da Rosa Samuel José Santos Matheus Nunes Claro Rodrigo Eckert Renner João Vitor Braun Luize Kehl Bickel Vinícius Oliveira Batista dos Santos Luiz Antonio Mazzini Fontoura	
DOI 10.22533/at.ed.0742021074	
CAPÍTULO 5	50
ÉSTERES GRAXOS DERIVADOS DE ÓLEOS E GORDURAS DE PALMÁCEAS: OBTENÇÃO E CARACTERIZAÇÃO	
Vinícius Oliveira Batista dos Santos João Vitor Braun Samuel José Santos Rodrigo Eckert Renner Guilherme da Costa Espíndola Luiz Antonio Mazzini Fontoura	
DOI 10.22533/at.ed.0742021075	
CAPÍTULO 6	63
CATALISADORES UTILIZADOS NA REAÇÃO DE HIDRODESOXIGENAÇÃO PARA MELHORIA DO BIO-ÓLEO DE PROCESSAMENTO DA BIOMASSA: UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	
Maria Luiza Andrade da Silva	

Maria Carolina Granja Correia
Milena Argollo de Mendonça
Milena Maria Ferreira dos Santos

DOI 10.22533/at.ed.0742021076

CAPÍTULO 7 76

REMOÇÃO DOS CORANTES AZUL ÍNDIGO E PRETO REATIVO 5 DO MEIO AQUOSO UTILIZANDO A CASCA DA CANA DE AÇÚCAR E A CASCA DE MILHO COMO BIOADSORVENTES

Ana Nery Furlan Mendes
Isabella Ramos Silva
Drielly Goulart
Ana Paula Oliveira Costa
Christiane Mapheu Nogueira
Vivian Chagas da Silveira

DOI 10.22533/at.ed.0742021077

CAPÍTULO 8 93

PONTO DE FLUIDEZ, VISCOSIDADE E DENSIDADE DE BIODIESEIS METÁLICOS DERIVADOS DE ÓLEOS E GORDURAS

Ismael Barbosa Paulino
Joselaine dos Santos Dias
Rodrigo Schneider
Samuel José Santos
Bruno Levandosky Coelho dos Santos
Luan Weber dos Santos
Luiz Antonio Mazzini Fontoura

DOI 10.22533/at.ed.0742021078

CAPÍTULO 9 105

ABSORÇÃO DE IMPACTO EM PAINÉIS HONEYCOMB DE BAMBU

Wellington Bazarim Verissimo
Pedro Franchi Ruiz
Felipe Frizon
Sullivam Prestes de Oliveira
Bruno Bellini Medeiros
Fabiano Ostapiv

DOI 10.22533/at.ed.0742021079

SOBRE O ORGANIZADOR..... 111

ÍNDICE REMISSIVO 112

NANOCELULOSES DE FONTES ALTERNATIVAS: OBTENÇÃO, MORFOLOGIAS E APLICAÇÕES

Data de aceite: 15/07/2020

Data de submissão: 01/06/2020

Emanoel Igor da Silva Oliveira

Universidade Federal da Bahia, Pós-graduação
em Engenharia Química
Instituto Federal da Bahia
Salvador / Feira de Santana - Bahia
<http://lattes.cnpq.br/0262590272550573>

Silvana Mattedi

Universidade Federal da Bahia, Pós-graduação
em Engenharia Química
Salvador - Bahia
<http://lattes.cnpq.br/8741124364246075>

Nadia Mamede José

Universidade Federal da Bahia, Pós-graduação
em Engenharia Química
Salvador - Bahia
<http://lattes.cnpq.br/5940246341994507>

RESUMO: Com o avanço científico e tecnológico, o homem passou a compreender a celulose enquanto um material hierarquicamente estruturado, e como tal, possível de ser fracionado em diferentes materiais com diferentes níveis de organização. Nesse sentido, têm-se estudado a estrutura da celulose em profundidade para se obter nanoestruturas que apresentam propriedades não encontradas nas celuloses macro e microestruturada, agregando valor a

esse biorecurso. Nanopartículas cristalinas de celulose, denominadas de nanocristais (NCC), podem ser entendidas como o menor nível ordenado da celulose, e suas propriedades únicas tem sido foco de atenção, juntamente com as nanofibras de celulose, das pesquisas com nanomateriais dos últimos anos, em que figuram também como promissores os *quantum dots*, o grafeno e os nanotubos de carbono. A nanocelulose - um termo geral usado para se referir à família de materiais constituídos por nanopartículas de celulose, tem-se mostrado promissora em diversas áreas, tais como petróleo, revestimentos, adesivos, papéis, curativos, aeronaves, pigmentos, automóveis, têxteis, embalagens, filmes, cosméticos, médicos, eletrônicos, óticos, processos de separação e muitos outros, devido ao conjunto de propriedades mecânicas, químicas, ópticas e elétricas únicas que apresentam. A fonte convencional para obtenção de celulose em seus diferentes tipos tem sido a madeira, dada sua disponibilidade e fácil acesso. Entretanto, o cultivo florestal para esse fim tem uma série de impactos ambientais ao longo da cadeia produtiva que incluem desde o comprometimento da biodiversidade local até a geração de grandes volumes de efluentes para descarte. Outras fontes celulósicas são possíveis de integrarem a cadeia de suprimentos de nanocelulose, e podem ser classificadas

em três tipos: materiais brutos encontrados na natureza (madeira fibras, tunicatos, algas, bactérias), resíduos processados (bagaços, polpas, efluentes, papéis) e resíduos não-processados (palhas, cascas, folhas, sementes, talos). Neste trabalho, apresentamos uma revisão sobre algumas fontes alternativas de obtenção de nanocelulose, suas características morfológicas e aplicações.

PALAVRAS-CHAVE: Celulose, Nanocelulose, Biomassa, Nanopartículas, Morfologia.

NANOCELLULOSES FROM ALTERNATIVE SOURCES: OBTENTION, MORPHOLOGIES AND APPLICATIONS

ABSTRACT: Scientific and technological advances allowed us to understand cellulose as a hierarchically structured material, and as such, it is possible to be fractionated into different materials with different levels of organization. In this sense, studies over the deep structure of cellulose have been carried out to obtain nanostructures with characteristics yet not found in macro and micro structured ones, adding value to this bio-resource. Crystalline cellulose nanoparticles, called nanocrystals (CNC), can be understood as the lowest ordered level of cellulose, and their unique characteristics have been focus of attention among cellulose nanofibers. Research with nanomaterials in recent years figure with them, quantum dots, graphene and carbon nanotubes as the most promising. Nanocellulose is a general term used to refer to families of materials made up of cellulose nanoparticles, and shows application in several areas, such as oil, coatings, adhesives, papers, dressings, aircraft, pigments, automobiles, textiles, packaging, films, cosmetics, medicine, electronics, optics, separation processes and many others, due to the set of unique mechanical, chemical, optical and electrical properties displayed. A conventional source for cellulose in its different types has been wood, given its availability and easy access. However, forest cultivation for this purpose has a series of environmental impacts along the production chain, which affects from the local biodiversity to the generation of large volumes of effluents for disposal. Other cellulosic sources are possible to integrate the nanocellulose supply chain, and can be classified into three types: raw materials found in nature (wood fibers, tunicates, algae, machines), processed residues (bagasse, pulps, effluents, papers) and unprocessed residues (straw, bark, leaves, seeds, stems). In this paper, we present a review of some alternative sources, obtention processes of nanocellulose, their morphological characteristics and applications.

KEYWORDS: Cellulose, Nanocellulose, Biomass, Nanoparticles, Morphology.

1 | CELULOSE

A celulose é o polímero natural mais abundante no planeta. Atua principalmente como material estruturante da parede celular vegetal e 40% da matéria orgânica do planeta é constituída por ela. É o constituinte majoritário da madeira, algodão e tantas outras fibras naturais, tendo uma variedade de aplicações industriais, que vão do setor alimentício à engenharia biomédica. Junto com o amido, é o polímero natural mais promissor para substituir materiais baseados em fontes fósseis (GUENET, 2007; DUFRESNE, 2012). Além das plantas,

a celulose está presente em uma grande variedade de espécies de algas, fungos, bactérias e animais, como os tunicatos (GEORGE e SABAPATHI, 2015). Sua utilização industrial tem crescido rapidamente considerando a sua produção mássica estimada em aproximadamente 100 bilhões de toneladas por ano (TAKAGI et al., 2016).

O polímero natural celulose é um polissacarídeo semicristalino que consiste de resíduos de D-glucose (D-anidroglucopiranoose) unidos por ligação glicosídica do tipo β 1 \rightarrow 4. A unidade de repetição, entretanto, consiste de dois resíduos ligados, denominada celobiose, na qual o segundo resíduo encontra-se espacialmente localizado por rotação simples (GUENET, 2007). Observa-se por microscopia que existem feixes de fibras celulósicas de diferentes tamanhos e diâmetros organizadas hierarquicamente.

A celulose é solúvel em um número limitado de solventes geralmente altamente polares, tais como DMSO, formaldeído, N-metilmorfolina, hidrazina a quente (GUENET, 2007) e líquidos iônicos como [Bmim][Cl] (BRANDT et al., 2013). A estrutura da celulose é polihidroxilada e esses grupos interagem através de ligações de hidrogênio intra e intermoleculares, deixando sua estrutura rígida e mecanicamente resistente. Existe um efeito cinético que contribui para a baixa solubilidade da celulose: apesar da parte externa das cadeias - onde estão as hidroxilas - ser hidrofílica, a organização das cadeias de forma ordenada - gerando regiões cristalinas e compactas - dificulta o acesso das moléculas do solvente aos grupos citados (PINKERT et al., 2010).

A nanocelulose é produzida quando se acessa as microfibrilas da celulose, entretanto na maioria dos casos as macrofibrilas estão imersas numa matriz de hemicelulose e lignina, formando um compósito natural denominado lignocelulose, o qual precisa ser previamente fracionado.

2 | NANOCELULOSE

2.1 Prospecção tecnológica

Uma análise interessante foi feita por Gárcia et al. (2016). Eles verificaram que os primeiros trabalhos sobre nanocelulose tratavam sobre a obtenção e caracterização, mas os trabalhos atuais exploram mais as possíveis aplicações, principalmente em nanocompósitos. Além disso, verificou-se um aumento na razão entre patentes e artigos científicos, o qual fez os autores constatarem um deslocamento no sentido da industrialização e do desenvolvimento de novos materiais baseados em nanocelulose. Além das conclusões acima, os autores verificaram que China e Japão são os países que mais publicam, e que nos últimos anos aumentou-se o interesse por resíduos e fontes alternativas de nanocelulose.

2.2 Aspectos gerais

Nanocelulose (NC) é um termo geral usado para definir uma família de materiais celulósicos cujas partículas encontram-se em escala nanométrica. Os mais investigados

são os nanocristais e as nanofibras (DUFRESNE, 2013). Nanocristais de celulose são nanopartículas de alta cristalinidade que possuem propriedades únicas: 7,5–7,7 GPa de tensão de ruptura - valores superiores ao aço e ao Kevlar® - e, aproximadamente, 150 GPa de módulo elástico transversal, o que os torna muito rígidos (GEORGE e SABAPATHI, 2015). Apresentam ainda elevada área superficial específica, elevada razão de aspecto e possibilidade de modificação química superficial (DUFRESNE, 2013). Em suspensão, os nanocristais formam uma dispersão turva, de coloração clara e opalescente, enquanto na forma de filme, após remoção do meio dispersante, forma-se um material de alta transparência e iridescência, cuja extensão dos efeitos depende da concentração da suspensão. NCC podem ser dispersos em meios não-aquosos (VESTENA et al., 2016), entretanto a água é um dos melhores dispersantes tendo em vista a tendência de aglomeração observada em outros meios. Estudos mostraram ainda que a forma de secagem, ou seja, o método usado para remoção do meio dispersante, pode influenciar levemente a estabilidade térmica e a morfologia dos NCC (RÄMÄNEN et al., 2012).

Nanopartículas são geralmente definidas como matéria particulada com pelo menos uma de suas dimensões menor do que 100 nm (CHRISTIAN et al., 2008). São visíveis apenas por microscopia eletrônica devido ao critério de Rayleigh (WILLIAMS e CARTER, 2009).

2.3 Aspectos toxicológicos

Apesar de um material poder ser atóxico quando particulado em dimensões microscópicas, em dimensões nanométricas, este mesmo material pode apresentar toxicidade. Isto porque as nanopartículas apresentam um tamanho diminuto que favorece sua penetração nos tecidos vivos, uma elevada área superficial específica que contribui para uma alta reatividade, além de efeitos específicos típicos da escala nanométrica, como efeitos eletrônicos e plasmônicos (KAUSHIK et al., 2015). Logo, é atual o debate na comunidade científica acerca das implicações toxicológicas da manipulação de nanopartículas, ainda que sejam com polímeros naturais atóxicos como a celulose. Alguns estudos com nanocelulose demonstram ausência de toxicidade oral e dermatológica, entretanto estudos pulmonares e de citotoxicidade têm mostrado resultados contraditórios. Diante desse cenário, fica evidente a necessidade de mais estudos que possam garantir a nanocelulose como material atóxico por ingestão ou contato, e se possui efeitos adversos à saúde humana por inalação ou provocam stress oxidativo a nível celular (MAREN, 2015). Na dúvida, vale o princípio da prevenção.

2.4 Aplicações

Atualmente, as aplicações da nanocelulose diversificaram imensamente, tanto como carga em nanocompósitos quanto pura/modificada. Algumas delas incluem adsorventes e membranas para tratamento de água (CARPENTER et al., 2015), eletrônicos (MOON et al., 2011), marcação biológica por fluorescência (ABTIBOL et al., 2013), células solares (ZHOU et al., 2013), engenharia de tecidos (DOMINGUES et al., 2014) e biomedicina (DUFRESNE, 2013). NCC são muito versáteis e podem ser usados em diversas aplicações.

Podem ser usados como fibras unidimensionais para reforço mecânico, moldados em filmes bidimensionais para flexibilidade ou moldados em objetos tridimensionais como hidrogéis e aerogéis para compressibilidade, ou materiais porosos como espumas (GRISHKEWICH et al., 2017). Quando usada na forma de um filme fino, a nanocelulose é denominada na literatura de *nanopaper* (LU e HSIEH, 2012). Esses materiais possuem propriedades mecânicas excelentes, baixo coeficiente de expansão térmica, elevada transparência e boas propriedades de barreira. Os nanoporos presentes na estrutura são potencialmente promissores para separações (MAUTNER et al., 2015).

Aplicações de NPC esféricas amorfa foram levantadas por Ioelovich (2013). O potencial de dano celular de partículas agulhadas associado à ausência de enzimas celulolíticas no organismo, aumentam o risco do uso de NPC agulhadas em aplicações médicas. Nesse sentido, NPC esféricas e amorfas podem ser completamente hidrolisadas em açúcares no organismo, podendo servir de suporte para imobilização de drogas. Podem ser usadas como aditivo para redução de separação de fase em dispersões (estabilização de emulsões) e também esfoliação da pele.

2.5 Obtenção

A nanocelulose pode ser obtida diretamente a partir da fonte celulósica bruta, ou seja, quando a hidrólise é realizada em um material contendo celulose misturada com outros componentes não-celulósicos, ou pode ser obtida a partir da celulose que é previamente isolada da fonte celulósica bruta a partir de processos físico-químicos. É importante diferenciar essas possibilidades uma vez que, tecnologicamente, elas se distinguem a partir das implicações sobre o produto de interesse com relação à pureza e aos aspectos econômicos e ambientais. Apesar do balanço entre os diferentes aspectos citados nortear a decisão entre as duas possibilidades, em última análise, as exigências de qualidade em relação à aplicação final da nanocelulose irá determinar qual a via de obtenção mais adequada. O quadro 1 apresenta um comparativo entre as duas vias de obtenção com relação às vantagens e desvantagens de cada uma.

Parâmetro	Melhor escolha (fonte celulósica)	Justificativas
Tempo de obtenção	Bruta	Etapas de purificação conduzem à obtenção do produto em um maior intervalo de tempo.
Gasto energético	Bruta	Etapas de purificação requerem energia para aquecimento, agitação e processos de separação.
Demanda de insumos	Bruta	Etapas de purificação requerem solventes, soluções e agentes de branqueamento.
Custo econômico	Bruta	Etapas de purificação demandam insumos e energia que possuem custo associado.
Rendimento do produto	Purificada	Componentes não-celulósicos na matéria-prima diminuem a proporção de NC no produto.
Impacto ambiental	Bruta	Durante as etapas de purificação são gerados resíduos e efluentes a serem descartados.

Pureza do produto	Purificada	Menor quantidade de subprodutos são gerados pela remoção de componentes não-celulósicos.
Propriedades do produto	Purificada	As propriedades são mais uniformes quanto maior o grau de pureza da matéria.
Aplicações ordinárias	Bruta	Quando a qualidade da NC não é um fator crítico para o desempenho final.
Aplicações nobres	Purificada	Quando o desempenho final é afetado pela pureza da NC.

Quadro 1. Comparativo entre a obtenção de nanocelulose a partir de fontes celulósicas brutas e purificadas.

Fonte: Autoria própria (2017)

Mohamed et al. (2015) isolaram NCC a partir de papel de jornal pós consumo previamente purificado, enquanto Campano et al. (2017) isolaram diretamente do jornal pós consumo. Como consequência, a suspensão aquosa de NCC obtida pelos primeiros autores apresentou um aspecto branco e turvo, característico de suspensões de NCC, enquanto para os segundos, as suspensões apresentaram tonalidades escuras do preto ao marrom decorrente dos pigmentos e da lignina residual misturados à suspensão. Estes, apesar da baixa pureza, poderiam ser aplicados, segundo os autores, nos casos em que a presença de impurezas não é um inconveniente, tais como embalagens de papel, papelão ou compósitos de cimento e celulose para construção-civil. Já aqueles isolados por Mohamed et al. (2015) poderiam ser utilizados, segundo os autores, para obtenção de nanocompósitos. Abushamala et al. (2015) reportaram a obtenção de NCC diretamente a partir de madeira, sem nenhum tratamento prévio, utilizando o líquido iônico [Emim][OAc], devido a capacidade simultânea deste meio em solubilizar a lignina e hidrolisar a celulose. Uma mistura de NCC e componentes não-celulósicos dissolvidos foram obtidos.

Experimentalmente, a forma mais usual de confirmar o isolamento da celulose é através do monitoramento de bandas em espectros de FTIR. Quando componentes não-celulósicos são removidos parcial ou totalmente da fonte celulósica, como consequência, os sinais referentes aos modos vibracionais das ligações químicas presentes nesses componentes têm sua intensidade diminuída parcial ou totalmente no espectro. Logo, o aparecimento ou desaparecimento de bandas e a intensidade destas permite avaliar as mudanças qualitativas na composição química da fonte celulósica. Geralmente, esse monitoramento é feito em relação aos componentes majoritários associados à celulose, como as hemiceluloses e a lignina, embora outros componentes também possam ser monitorados, como por exemplo no caso das algas pardas, ricas em alginatos; das algas vermelhas, ricas em carragenanas e ágar; nos materiais celulósicos industrialmente processados, como os papéis, que podem conter aditivos na composição; na biomassa terrestre, que podem conter pigmentos e outros componentes extraíveis. Assim, é esperado que, após as etapas de purificação, o espectro de FTIR da fonte celulósica apresente, idealmente, somente bandas provenientes da celulose. Adicionalmente às alterações no perfil do espectro, outras mudanças são esperadas quando componentes não desejados são removidos da fonte celulósica, principalmente com

relação ao comportamento térmico do material e sua morfologia a nível microscópico. Estas variações podem ser avaliadas experimentalmente através de técnicas de análise térmica e microscopia. Outras propriedades podem ser avaliadas, como densidade, porosidade e hidrofiliabilidade, entretanto não são análises comumente realizadas quando o objetivo é o isolamento de NC. Geralmente, procede-se uma sequência de pré-tratamentos da fonte celulósica para isolamento da celulose, que envolvem remoção de extrativos, seguido de remoção de hemicelulose e posteriormente lignina. Entre essas etapas, processos de secagem, ajuste de pH e moagem são também efetuados (DUFRESNE, 2011).

Extrativos, segundo a norma TAPPI, correspondem ao conjunto de compostos, de variadas classes, que podem ser extraídos da fonte celulósica através de tratamento com solventes cuja solubilidade desses extrativos seja elevada. Em virtude da variedade de compostos classificados como extrativos, dificilmente um único tipo de solvente é capaz de removê-los, de modo que geralmente utiliza-se um sistema de solventes que apresente capacidade de solubilização adequada ou extrações sequenciais com diferentes solventes, como por exemplo, acetona, diclorometano e tolueno/etanol 2:1. Após a remoção desses extrativos, é comum uma mudança de coloração da fonte celulósica uma vez que, geralmente, dentre os extrativos, estão presentes compostos coloridos e ceras. A fonte celulósica sem extrativos é então submetida a tratamento(s) para remoção das hemiceluloses, sendo o mais comum o tratamento com solução alcalina a quente (denominado polpação), na qual a hemicelulose e a lignina solubilizam no meio, mas a celulose não, viabilizando, portanto, a separação desta (EMBRAPA, 2010).

Embora a estrutura molecular da celulose permaneça inalterada, a depender das condições utilizadas (tempo e temperatura), alterações em sua estrutura cristalina podem ocorrer. Por fim, a fonte mercerizada pode passar por uma ou várias etapas de branqueamento, a depender do grau de brancura que se deseje (a celulose, à temperatura ambiente, é um sólido de cor branca), a fim de remover impurezas residuais que não foram separadas na etapa anterior, como resíduos de lignina e cromóforos. Para este propósito, podem ser usados vários agentes de branqueamento, que geralmente são compostos oxidantes, os quais podem atuar degradando essas impurezas e separando-as da celulose. Os mais comuns agentes de branqueamento são o hipoclorito de sódio e o peróxido de hidrogênio em solução, embora também possam ser usados outros, como o clorito de sódio, mais eficiente e de maior custo. Independente da escolha, estes devem ter sua concentração dosada para que a estrutura da celulose não seja atacada, já que é o produto de interesse dessa sequência de tratamentos. Comparando-se os agentes mais comuns, hipoclorito de sódio apresenta como inconvenientes um forte odor além de subprodutos clorados que possuem elevado potencial de impacto ambiental se não destinados corretamente durante o descarte, entretanto é um agente oxidante mais forte em meio aquoso do que o peróxido de hidrogênio, permitindo uma maior eficiência de branqueamento. Frequentemente, são realizadas mais de uma etapa quando o branqueamento é realizado com peróxido de hidrogênio, necessitando assim de maiores volumes de solução branqueadora e gerando-se maior volume de efluente a ser descartado (EMBRAPA, 2010; DUFRESNE, 2012).

Na literatura (DUFRESNE, 2012) são descritos diversos procedimentos de isolamento de nanocelulose. As diferentes formas podem envolver processos puramente físicos, processos físico-químicos ou ainda uma combinação desses. A maneira mais utilizada é a hidrólise ácida sob condições controladas, a qual permite o isolamento de NPC com estabilidade e propriedades desejáveis.

A hidrólise é um tipo de reação que ocorre com participação da água, ou seja, a água é um reagente no processo e está envolvida na quebra de ligações de um reagente e/ou na formação dos produtos. No caso da hidrólise ácida, ou seja, aquela que é mediada por uma espécie química de caráter ácido presente no meio, são os íons hidrônio que interagem diretamente com a celulose. Esses íons são formados a partir de reações ácido-base de Brønsted-Lowry - caracterizadas pela transferência de prótons entre as espécies ácidas doadoras (ácidos de Brønsted-Lowry) e moléculas de água (bases de Brønsted-Lowry). Os ácidos mais utilizados são os ácidos inorgânicos fortes, tais como ácido sulfúrico, clorídrico, bromídrico, e em menor grau, o ácido fosfórico. Outras espécies de caráter ácido têm sido também utilizadas, como alguns tipos de líquido iônico apróticos com capacidade de atuarem como ácidos de Brønsted-Lowry frente a água, a exemplo de [Bmim][HSO₄].

O que ocorre durante a hidrólise é a quebra das ligações glicosídicas que unem os resíduos de glicose das cadeias celulósicas. Obviamente, essa quebra precisa ocorrer de forma controlada pois se deseja obter fragmentos altamente organizados de celulose, de modo que a referida hidrólise é desejável apenas nas regiões amorfas da celulose, ou seja, aquelas nas quais as cadeias de celulose estão dispostas espacialmente de forma aleatória, sem um ordenamento tridimensional de longo alcance. Por isso, experimentalmente, para a hidrólise das regiões amorfas, procede-se à extinção da reação pela remoção da fonte de aquecimento e pela diluição do sistema, adicionando-se água gelada num volume de 10 a 20 vezes superior ao do sistema (BÖRJESSON e WESTMAN, 2015). Diminuindo-se a concentração do ácido residual no meio e a temperatura, desfavorece-se tanto a termodinâmica quanto a cinética da reação de hidrólise.

Paralelamente à hidrólise, outras reações ocorrem com as hidroxilas livres da celulose e as espécies ácidas do meio. Isto leva a destacar um importante aspecto da obtenção de nanocelulose por hidrólise ácida, que é a inviabilidade do isolamento de um material com a mesma estrutura química originalmente presente na fonte celulósica. Essas características são importantes do ponto de vista da estabilidade das NPC enquanto estruturas individuais, pois o fato dessas estruturas serem originalmente polihidroxiladas provoca uma tendência de agregação das mesmas através de ligações de hidrogênio, o que produz estruturas de dimensões superiores à escala nanométrica. No caso do ácido sulfúrico, tem-se a inserção de grupos sulfatos, grupos carregados negativamente, de modo que as fortes interações eletrostáticas repulsivas entre as cargas negativas superficiais superam em intensidade as forças atrativas existentes entre as hidroxilas livres, permitindo que as NPC se mantenham separadas (MARIANO et al., 2018). Esta é a razão pela qual o ácido sulfúrico é o mais utilizado, pois ácidos incapazes de esterificar a superfície, como o ácido clorídrico, tendem a produzir NPC com tendência à agregação.

Diversos estudos de otimização foram feitos no sentido de maximizar o rendimento e as propriedades da nanocelulose (DONG et al., 1998; BONDESON et al., 2006; FAN e LI, 2012; WANG et al., 2012). Tais estudos são por vezes contraditórios entre si e revelam que diversos fatores podem influenciar na obtenção do nanomaterial, principalmente as características do material de partida. Considerando Loelovich (2012, 2013), a concentração entre 50 e 60% é a mais adequada para se obter maiores cristalinidades e rendimento. Com relação à temperatura e ao tempo, são encontrados valores na literatura que vão de 30 a 120 min e 45 a 110 oC, a depender da aplicação final que se deseja.

Após a obtenção de NC na forma de suspensão, esta apresenta pH bastante baixo em virtude do ácido residual presente no meio. Além disso, açúcares obtidos como subprodutos e resíduos celulósicos sólidos podem estar presentes, de modo que se faz necessário aplicar processos de separação adequados para purificar a suspensão. Após sonicação e centrifugação, separa-se o sobrenadante no qual as NPC estão dispersas, do precipitado sólido. Wang et al. (2012) analisaram o sólido por microscopia e verificaram que se trata essencialmente de fibras celulósicas, material não hidrolisado.

Para o controle da acidez, geralmente procede-se à separação através de diálise, em que a suspensão é colocada dentro de uma membrana de celulose regenerada (celofane®) e imersa em água por um certo tempo até que o valor de pH da suspensão esteja em torno de 7, ou pode ser feito por neutralização direta com solução básica até que se atinja o referido pH; no caso das impurezas sólidas, pode-se proceder uma filtração a vácuo; no caso dos açúcares, devem ser empregados processos mais específicos. A importância dessas etapas de purificação está nas consequências sobre as propriedades da nanocelulose e dos materiais em que esta será aplicada enquanto produto final: no caso do resíduo de ácido, por exemplo, este pode conduzir à continuidade de hidrólise das regiões cristalinas, deteriorando o material, enquanto para as outras impurezas, efeitos indesejáveis de coloração, plastificação e heterogeneidade podem ser observados.

Em virtude da natural tendência à agregação e biodegradabilidade da NC, após ser obtida, geralmente é acondicionada em recipiente sob refrigeração e conservada com algumas gotas de formaldeído ou clorofórmio para evitar a proliferação de microorganismos que possam degradar o material (NASCIMENTO et al., 2016). Todavia, a necessidade de conservação está associada à aplicação que a NC se destina e o tempo de armazenamento desta, uma vez que para aplicações em que a contaminação é um fator crítico, a exemplo dos setores alimentício e farmacêutico, e/ou quando as NPC serão utilizadas em um curto intervalo de tempo após serem obtidas, a adição de conservantes não é desejável/necessária.


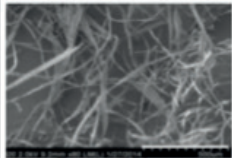
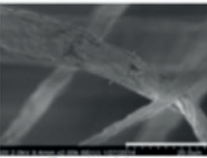
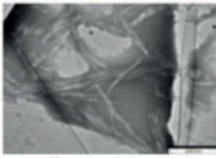

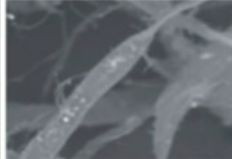
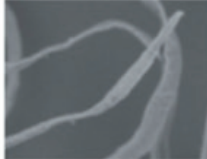
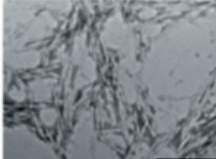

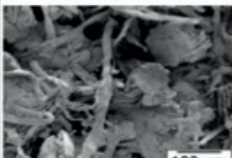
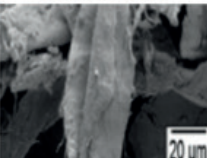
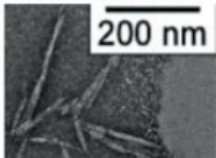
2.6 Morfologia

Nas regiões cristalinas da celulose nativa, as macromoléculas estão organizadas de modo aproximadamente linear e em formato agulhado/cilíndrico. Quando os nanocristais, ou seja, as regiões cristalinas individuais, são isolados da fonte celulósica, tal formato pode ser preservado ou modificado. Isto porque, durante os processos de separação que conduzem à

sua obtenção, mudanças podem ocorrer em virtude dos tratamentos empregados e condições utilizadas, por exemplo, tipo de reagentes e concentração, tempo de exposição da celulose, temperatura, uso de tratamentos auxiliares como sonicação e micro-ondas, dentre outros. Assim, os nanocristais podem ser obtidos em formatos distintos em relação a sua condição original na fonte celulósica, como por exemplo em partículas esféricas. Geralmente, essa mudança morfológica está também associada ao índice de cristalinidade e ao(s) tipo(s) de polimorfo(s) presentes. As dimensões e morfologia podem ser acessadas diretamente por microscopia.


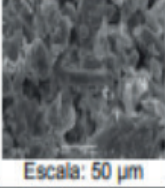

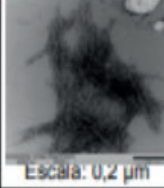


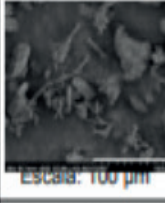
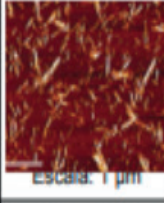
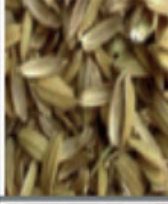
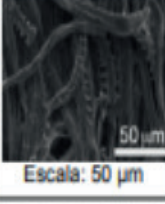
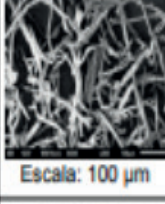
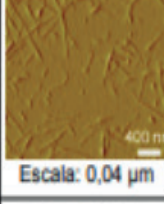

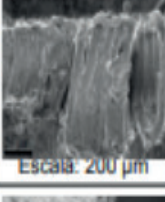
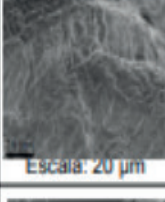
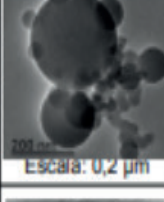

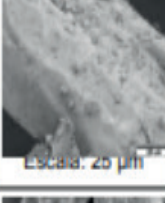

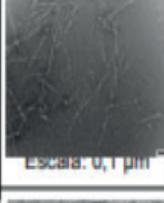
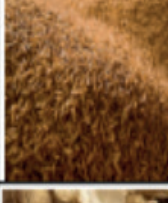
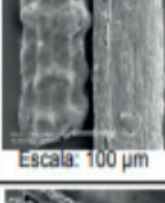
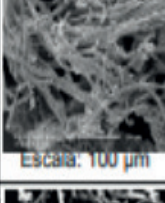
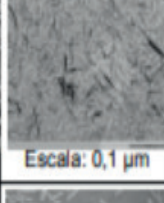
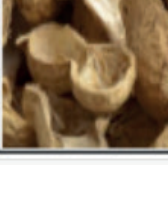
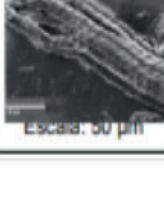
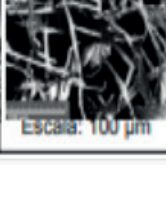
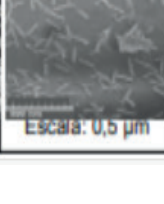
Para Dufresne (2011), a capacidade de reforço de NCC depende da razão de aspecto. A razão de aspecto é definida como a razão entre o comprimento (L) e o diâmetro (D) das partículas. Quanto maior L e/ou menor D, maior a razão de aspecto. A relação entre reforço mecânico e razão de aspecto pode ser compreendida, de forma simplificada, utilizando a abordagem da percolação. Nesse modelo, pode-se definir o parâmetro “limite de percolação”, definido como a fração volumétrica crítica para separação de duas fases. Essa fração volumétrica (V) é tão menor quanto maior é a razão de aspecto, assim um menor teor de NCC é requerido para se alcançar determinado reforço. Para NCC de razão de aspecto 67, um volume de 1% de NCC é necessário para alcançar a percolação. Já para razão de aspecto 45, o volume deve ser de 2%.

Os NCC de maior interesse tecnológico são aqueles de formato agulhado em virtude dos fatores razão de aspecto e cristalinidade combinados. Os tamanhos podem variar bastante a depender das condições experimentais e da fonte celulósica. A fim de se ter uma ideia sobre a morfologia e dimensões de NPC reportadas na literatura para fontes alternativas, os quadros a seguir compilam morfologias em trabalhos publicados nos últimos anos.

Fonte	Fotografia	Micrografias			Referência(s)
	Material bruto	Material branqueado	NPC		
Jornal pós-consumo		 Escala: 500 µm	 Escala: 20 µm	 Escala: 0,2 µm	Danial et al., 2015.
Jornal reciclado pré-consumo		 Escala: 30 µm	 Escala: 30 µm	 Escala: 0,2 µm	Mohammed et al., 2015.
Papel filtro		 Escala: 100 µm	 Escala: 20 µm	 Escala: 0,2 µm	Lu and Hsieh, 2010.

Quadro 2. Morfologias de NPC obtidas a partir de papéis.

Fonte: Autoria própria (2017)

Fonte	Fotografia	Micrografia(s)			Referência(s)
		Material bruto	Material branqueado	NPC	
Casca de soja		 Escala: 50 µm	 Escala: 10 µm	 Escala: 0,2 µm	Flauzino et al., 2013; Wei et al., 2014.
Casca de ervilha		 Escala: 100 µm	 Escala: 100 µm	 Escala: 1 µm	Verma et al., 2011; Chen et al., 2009.
Casca de cevada		 Escala: 50 µm	 Escala: 100 µm	 Escala: 0,04 µm	Espino et al., 2014; Halal et al., 2015.
Casca de alho		 Escala: 200 µm	 Escala: 20 µm	 Escala: 0,2 µm	Reddy and Rhim, 2014.
Casca de coco		 Escala: 25 µm	 Escala: 100 µm	 Escala: 0,1 µm	Rosa et al., 2010.
Casca de arroz		 Escala: 100 µm	 Escala: 100 µm	 Escala: 0,1 µm	Johar et al, 2012.
Casca de amendoim		 Escala: 50 µm	 Escala: 100 µm	 Escala: 0,5 µm	Bano and Negi, 2017.

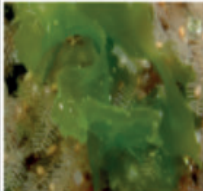
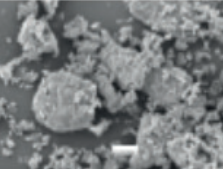
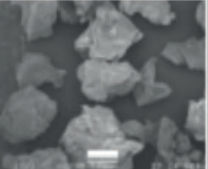
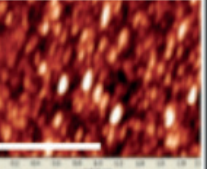

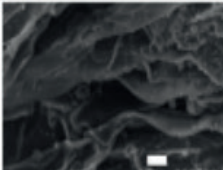
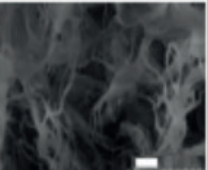
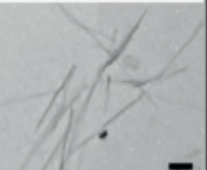


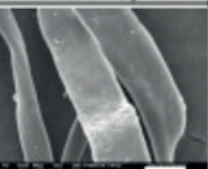
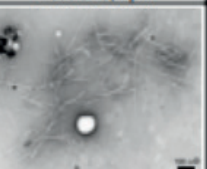

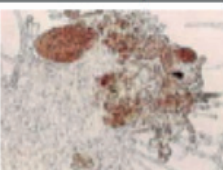
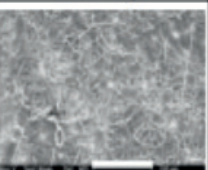
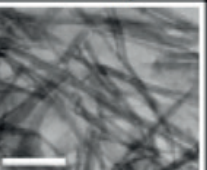

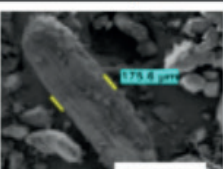
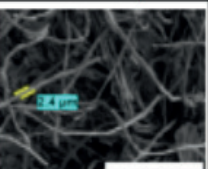
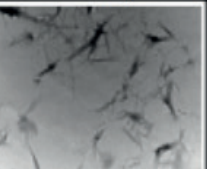

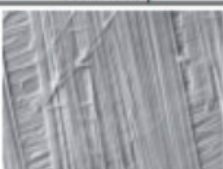

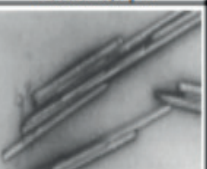
Quadro 3. Morfologias de NPC obtidas a partir de cascas.

Fonte: Autoria própria (2017)

Verifica-se do quadro 2 que os papéis brutos apresentam fibras mais definidas, longas e individualizadas em relação às fibras das cascas. Isso se deve ao fato de os papéis serem produzidos a partir de uma polpa celulósica previamente processada, no qual os componentes não-celulósicos foram removidos em grande parte. Assim, as fibras não se encontram imersas numa matriz lignocelulósica. Como consequência, o material branqueado não se apresenta microscopicamente tão distinto em relação a fonte bruta, e as NPC poderiam ser obtidas, em

tese, mais facilmente.

Verifica-se do quadro 3 que, após as etapas de pré-tratamento, o material branqueado resultante apresenta mudanças morfológicas e dimensões distintas da fonte celulósica bruta. Por exemplo, geralmente se obtém fibras isoladas menores, com formato fibrilar mais definido. A partir desse material, podem ser obtidas NPC de tamanhos e formatos variados, sendo o mais comum o formato agulhado, embora esferas possam ser obtidas, conforme Reddy e Rhim (2014).

Fonte	Fotografia	Micrografias			Referência(s)
		Material bruto	Material branqueado	NPC	
Alga Ulva		 Escala: 20 µm	 Escala: 500 µm	 Escala: 1 µm	Algaebase; Chielini et al, 2008; Rathod et al, 2015.
Alga Cladophora rupestris		 Escala: 10 µm	 Escala: 10 µm	 Escala: 0,2 µm	Sucaldito et al, 2017.
Planta marinha Posidonia oceanica		 Escala: 40 µm	 Escala: 20 µm	 Escala: 0,1 µm	Bettaieb et al, 2015a; 2015b.
Alga Gelidium aceroso		 Escala não reportada	 Escala: 100 µm	 Escala: 0,2 µm	Seo et al, 2010; Ganesan et al, 2015; Singh et al, 2017.
Alga Gelidium elegans		 Escala: 300 µm	 Escala: 50 µm	 Escala: 0,5 µm	Chen et al, 2016.
Alga Valonia macrophysa		 Escala: 1 µm	 Escala: 0,1 µm	 Escala: 0,1 µm	Algaebase; Chanzy and Henrissat, 1983; Itoh and Brown Jr, 1984.

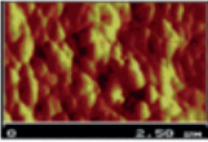
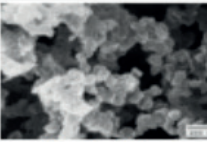
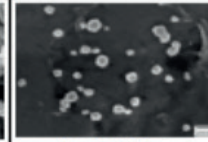
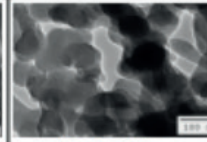
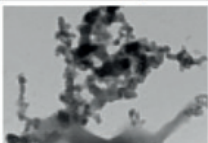
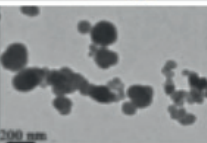
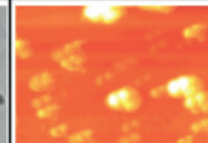
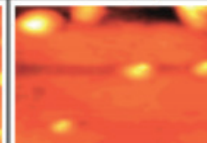

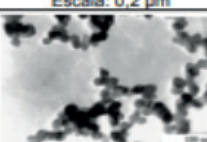
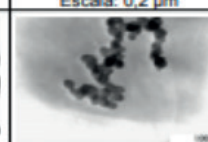


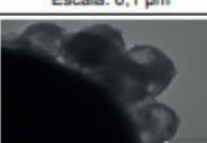
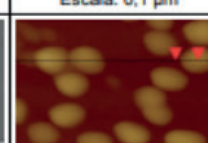
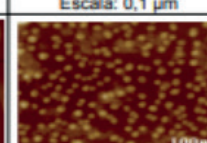
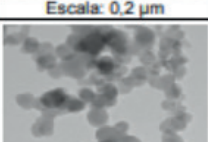
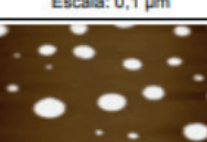
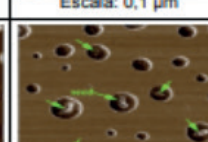
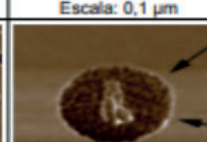
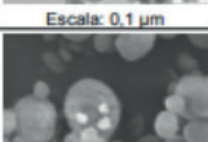
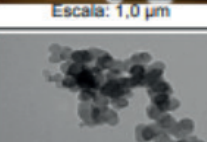
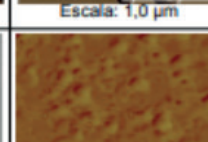
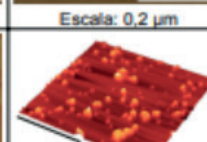
Quadro 4. Morfologias de NPC obtidas a partir de algas.

Fonte: Autoria própria (2017)

Verifica-se nas fontes marinhas uma maior variação em relação às morfologias. Há tanto estruturas fibrilares como estruturas mais compactas. Outro ponto de destaque é

que as NPC aparentam ter menores diâmetros em relação às NPC de cascas e papéis, assemelhando-se a fios de cabelo.

A fim de se ter uma ideia sobre a razão de aspecto das NPC reportadas na literatura, o quadro 5 apresenta as morfologias de algumas NPC esféricas. Segundo a literatura (HSIEH et al., 2012; IOELOVICH, 2013) NPC esféricas podem ser NCC pouco cristalinos, celulose do tipo II ou celulose amorfa.

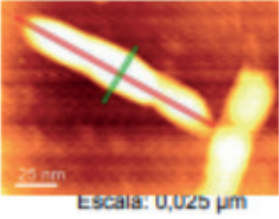
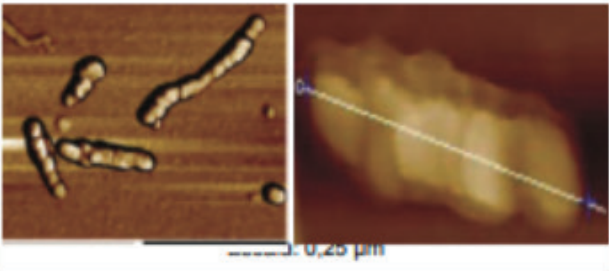
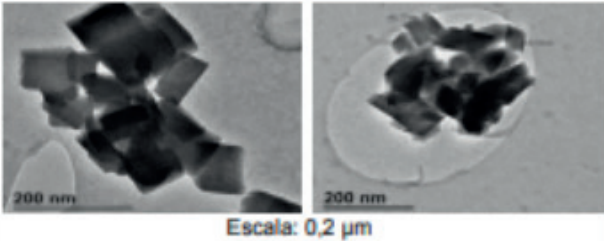
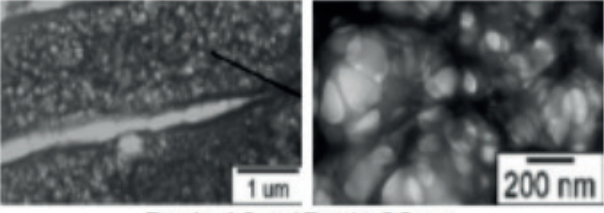
Fonte	Micrografias				Referência(s)
Fibras de celulose	 Escala: 2,5 µm	 Escala: 0,2 µm	 Escala: 0,2 µm	 Escala: 0,1 µm	Zhang et al., 2007.
Celulose microcristalina	 Escala: 0,2 µm	 Escala: 0,2 µm	 Escala: 0,2 µm	 Escala: 0,2 µm	Wang et al., 2008.
Celulose microcristalina	 Escala: 0,1 µm	 Escala: 0,1 µm	 Escala: 0,1 µm	 Escala: 0,1 µm	Wang et al., 2007.
Papel filtro, Fibras Lyocell	 Escala: 0,2 µm	 Escala: 0,1 µm	 Escala: 0,1 µm	 Escala: 0,1 µm	Lu and Hsieh, 2010; Cheng et al., 2014.
Casca de uva	 Escala: 0,1 µm	 Escala: 1,0 µm	 Escala: 1,0 µm	 Escala: 0,2 µm	Hsieh et al., 2012.
NCC comercial, Algodão	 Escala: 2,0 µm	 Escala: 0,05 µm	 Escala: 0,1 µm	 Escala: 2,5 µm	Peng et al., 2011; Xiong et al., 2012; Satyamurthy and Vigneshwaran, 2013.

Quadro 5. Morfologias de NPC esféricas obtidas de fontes diversas.

Fonte: Autoria própria (2017)

A formação de NPC esféricas conta com algumas propostas mecanísticas na literatura. Wang et al. (2008), baseando-se nas alterações evidenciadas por micrografias de transmissão, propuseram que, com a aplicação da ultrassom, os íons hidrônio podem penetrar rapidamente na estrutura interna da celulose, fazendo com que a hidrólise ocorra simultaneamente de dentro pra fora e de fora pra dentro nos agregados de celulose, gerando então fragmentos micrométricos esféricos que posteriormente são hidrolisados para formar nanopartículas esféricas. Uma proposta mais moderna foi feita por Lu e Hsieh (2012), em que propõem, com base nos detalhes revelados na micrografia, que durante a secagem, pequenos fragmentos

se associam em torno dos NCC agulhados maiores e menos numerosos, através de fortes ligações de hidrogênio laterais, possivelmente dirigido por um processo de camadas e termodinamicamente favorável no sentido de reduzir a área superficial específica desses fragmentos tão pequenos.

Fonte	Formato	Micrografia	Referências
Grama	Ribbon-like		Meng et al., 2016.
CMC de algodão	Ribbon-like		Sèbe et al., 2012.
Resíduo de papel lenço, Algodão	Quadrado e retangular		Maiti et al., 2013.
Papel filtro	Rede		Lu and Hsieh, 2010.

Quadro 6. Morfologias exóticas de NPC obtidas de fontes diversas.

Fonte: Autoria própria (2017)

Outros formatos de NPC, não esféricos, mas levemente arredondados, também são relatados na literatura. Sèbe et al. (2012) reportaram NPC do tipo II que, aparentemente, numa escala maior, são bastões, porém mais de perto percebe-se uma sequência de pequenas esferas agregadas formando uma estrutura linear do tipo bastão. Maiti et al. (2013) obtiveram NPC cúbicas a partir de resíduos de papel e Lu e Hsieh (2010) falam de NPC organizadas em forma de rede.

A diversidade de morfologias mostrada revela que diferentes fontes celulósicas e diferentes condições de hidrólise podem prover diversos tipos de NPC ainda não explorados. Recentemente, van de Ven e Sheikhi (2018) reportaram a obtenção de uma nova família de

NPC com propriedades superiores, os nanocristalóides, que consistem de NCC contendo resíduos de celulose amorfa que se assemelham a pequenos pelos, localizados nas extremidades.

3 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso de fontes alternativas para obtenção de nanocelulose tem crescido. A depender da composição química da fonte, as características estruturais da celulose, as condições de pré-tratamento e de hidrólise, pode-se obter nanoceluloses diferentes, com morfologias de partículas diversas que contribuem para propriedades e aplicações também diversas. Ainda há muitas fontes a explorar e mecanismos de formação a serem melhor compreendidos.

REFERÊNCIAS

ABUSHAMMALA, H.; KROSSING, I.; LABORIE, M. **Ionic liquid-mediated technology to produce cellulose nanocrystals directly from wood.** Carbohydrate Polymers, 134, 609616, 2015.

ALGAEBASE. Disponível em: <http://www.algaebase.org>. Acesso em 10 de agosto de 2017.

BANO, S.; NEGI, Y. S. **Studies on cellulose nanocrystals isolated from groundnut shells.** Carbohydrate Polymers, 157, 1041-1049, 2017.

BETTAIEB, F.; KHIARI, R.; DUFRESNE, A.; MHENNI, M. F.; PUTAUX, J. L.; BOUFI, S. **Nanofibrillar cellulose from Posidonia oceanica: Properties and morphological features.** Industrial Crops and Products, 72, 97–106, 2015a.

BETTAIEB, F.; KHIARI, R.; HASSAN, M. L.; BELGACEM, M. N.; BRAS, J.; DUFRESNE, A.; MHENNI, M. F. **Preparation and characterization of new cellulose nanocrystals from marine biomass Posidonia oceanica.** Industrial Crops and Products, 72, 175–182, 2015b.

BONDESON, D.; MATHEW, A.; OKSMAN, K. **Optimization of the isolation of nanocrystals from microcrystalline cellulose by acid hydrolysis.** Cellulose, 13, 171–180, 2006.

BÖRJESSON, M.; WESTMAN, G. **Crystalline Nanocellulose - Preparation, Modification, and Properties.** InTech, 2015.

BRANDT, A.; GRÅSVIK, J.; HALLETT, J. P.; WELTON, T. **Deconstruction of lignocellulosic biomass with ionic liquids.** Green Chemistry, 15, 550, 2013.

CAMPANO, C.; MIRANDA, R.; MERAYO, N.; NEGRO, C.; BLANCO, A. **Direct production of cellulose nanocrystals from old newspapers and recycled newsprint.** Carbohydrate Polymers, 173, 489–496, 2017.

CARPENTER, A. W.; LANNOY, C. F.; WIESNER, M. R. **Cellulose nanomaterials in water treatment technologies.** Environment Science & Technology, 49, 9, 2015.

CHANZY, H.; HENRISSAT, B. **Electron microscopy study of the enzymic hydrolysis of Valonia cellulose.** Carbohydrate Polymers, 3, 161-173, 1983.

CHEN, Y. W.; LEE, H. V.; JUAN, J. C.; PHANG, S. **Production of new cellulose nanomaterial from red algae marine biomass Gelidium elegans.** Carbohydrate Polymers, 151, 1210–1219, 2016.

CHENG, M.; QIN, Z.; LIU, Y.; QIN, Y.; LI, T.; CHEN, L.; ZHU, M. **Efficient extraction of carboxylated spherical cellulose nanocrystals with narrow distribution through hydrolysis of lyocell fibers by using ammonium persulfate as an oxidant.** Journal of materials chemistry A, 2, 1, 251-258, 2013.

CHIELLINI, E.; CINELLI, P.; ILIEVA, V. I.; MARTERA, M. **Biodegradable thermoplastic composites based on polyvinyl alcohol and algae.** Biomacromolecules, 9, 1007–1013, 2008.

CHRISTIAN, P.; VON DER KAMMER, F.; BAALOUSHA, M.; HOFMANN, T. **Nanoparticles: structure, properties, preparation and behavior in environmental media.** Ecotoxicology, 17, 5, 326-343, 2008.

DANIAL, W. H.; ABDUL MAJID, Z.; MUHID, M. N. M.; TRIWAHYONO, S.; BAKAR, M. B.; RAMLI, Z. **The reuse of wastepaper for the extraction of cellulose nanocrystals.** Carbohydrate Polymers, 118, 165–169, 2015.

DOMINGUES, R. M. A.; GOMES, M. E.; REIS, R. L. **The potential of cellulose nanocrystals in tissue engineering strategies.** Biomacromolecules, 15, 2327–2346, 2014.

DONG, X. M.; REVOL, J.; GRAY, D. G. **Effect of microcrystallite preparation conditions on the formation of colloid crystals of cellulose.** Cellulose, 5, 19-32, 1998.

DUFRESNE, A. **Nanocellulose: from nature to high performance tailored materials.** De Gruyter. Nanocellulose, 2012.

DUFRESNE, A. **Nanocellulose: a new ageless bionanomaterial.** Materials Today, 16, 6, 2013.

EMBRAPA. **Procedimentos para análise lignocelulósica.** Documentos, 236, ISSN 01030205, Campina Grande, 2010.

ESPINO, E.; CAKIR, M.; DOMENEK, S.; ROMÁN-GUTIÉRREZ, A. D.; BELGACEM, N.; BRAS, J. **Isolation and characterization of cellulose nanocrystals from industrial by-products of Agave tequilana and barley.** Industrial Crops and Products, 62, 552-559, 2014.

FAN, J.; LI, Y. **Maximizing the yield of nanocrystalline cellulose from cotton pulp fiber.** Carbohydrate Polymers, 88, 1184-1188, 2012.

FLAUZINO NETO, W. P.; SILVÉRIO, H. A.; DANTAS, N. O.; PASQUINI, D. **Extraction and characterization of cellulose nanocrystals from agro-industrial residue-Soy hulls.** Industrial Crops and Products, 42, 480–488, 2013.

GÁRCIA, A.; GANDINI, A.; LABIDI, J.; BELGACEM, N.; BRAS, J. **Industrial and crop wastes: a new source for nanocellulose biorefinery.** Industrial Crops and Products, 93, 26-38, 2016.

GANESAN, M.; REDDY, C. R. K.; JHA, B. **Impact of cultivation on growth rate and agar content of Gelidiella acerosa (Gelidiales, Rhodophyta).** Algal Research, 12, 398–404, 2015.

GEORGE, J.; SABAPHATI, S. N. **Cellulose nanocrystals: synthesis, functional properties, and applications.** Nanotechnology, Science and Applications, 8, 45–54, 2015.

GRISHKEWICH, N.; MOHAMMED, N.; TANG, J.; TAM, K. C. **Recent advances in the application of cellulose nanocrystals.** Current Opinion in Colloid & Interface Science, 29, 32-45, 2017.

GUENET, J. **Polymer-solvent molecular compounds.** 1a edição, Editora Elsevier Science, 315 páginas, 2007.

HALAL, S. L. M.; COLUSSI, R.; DEON, V.; PINTO, V. Z.; VILLANOVA, F. A.; CARREÑO, F. L. V.; DIAS, A. R.

- G.; ZAVAREZE, E. R. **Films based on oxidized starch and cellulose from barley**. Carbohydrate Polymers, 113, 20, 644-653, 2015.
- IOELOVICH, M. **Optimal conditions for isolation of nanocrystalline cellulose particles**. Nanoscience and Nanotechnology, 2, 9-13, 2012.
- IOELOVICH, M. **Nanoparticles of amorphous cellulose and their properties**. American Journal of Nanoscience and Nanotechnology, 1, 1, 41-45, 2013.
- ITOH, T.; BROWN, R. M. **The assembly of cellulose microfibrils in Valonia macrophysa Kütz.** Planta, 160, 372-381, 1984.
- JOHAR, N.; AHMAD, I.; DUFRESNE, A. **Extraction, preparation and characterization of cellulose fibers and nanocrystals from rice husk**. Industrial Crops and Products, 37, 93-99, 2012.
- KAUSHIK, M.; FRASCHINI, C.; CHAUVE, G.; PUTAUX, J.; MOORES, A. **Transmission electron microscopy for the characterization of cellulose nanocrystals, the transmission electron microscope - theory and applications**. InTech, 2015.
- LU, P.; HSIEH, Y. **Preparation and properties of cellulose nanocrystals: Rods, spheres, and network**. Carbohydrate Polymers, 82, 329-336, 2010.
- LU, P.; HSIEH, Y. **Cellulose isolation and core-shell nanostructures of cellulose nanocrystals from chardonnay grape skins**. Carbohydrate Polymers, 87, 2546-2553, 2012.
- MAITI, S.; JAYARAMUDU, J.; DAS, K.; REDDY, S. M.; SADIKU, R.; RAY, S. S.; LIU, D. **Preparation and characterization of nano-cellulose with new shape from different precursor**. Carbohydrate polymers, 98, 562-567, 2013.
- MAREN, R. **Toxicity of cellulose nanocrystals: a review**. Industrial Biotechnology, 11, 1, 25-33, 2015.
- MARIANO, M.; KISSI, N. E.; DUFRESNE, A. **Cellulose nanomaterials: size and surface influence on the thermal and rheological behavior**. Polímeros, 28, 2, 93-102, 2018.
- MAUTNER, A.; LEE, K.; TAMMELIN, T.; MATHEW, A.; NEDOMA, J.; LI, K.; BISMARCK, A. **Cellulose nanopapers as tight aqueous ultra-filtration membranes**. Reactive and Functional Polymers, 86, 209-214, 2015.
- MOHAMED, M. A.; SALLEH, W. N. W.; JAAFAR, J.; ASRI, S. E. A. M.; ISMAIL, A. F. **Physicochemical properties of "green" nanocrystalline cellulose isolated from recycled newspaper**. RSC Advances, 5, 29842-29849, 2015.
- MOON, R. J.; MARTINI, A.; NAIRN, J.; SIMONSEN, J.; YOUNGBLOOD, J. **Cellulose nanomaterials review: structure, properties and nanocomposites**. Chemical Society Reviews, 40, 3941-3994, 2011.
- NASCIMENTO, P.; MARIM, R.; CARVALHO, G.; MALI, S. **Nanocellulose produced from rice hulls and its effect on the properties of biodegradable starch films**. Materials Research, 19, 1, 167-174, 2016.
- PENG, B. L.; DHAR, N.; LIU, H. L.; TAM, K. C. **Chemistry and applications of nanocrystalline cellulose and its derivatives: A nanotechnology perspective**. The Canadian Journal of Chemical Engineering, 89, 1191-1206, 2011.
- PINKERT, A.; MARSH, K. N.; PANG, S. **Alkanolamine ionic liquids and their inability to dissolve crystalline cellulose**. Industrial & Engineering Chemistry Research, 49, 11809-11813, 2010.
- RÄMÄNEN, P.; PENTTILÄ, P. A.; SVEDSTRÖM, K.; MAUNU, S. L.; SERIMAA, R. **The effect of drying**

method on the properties and nanoscale structure of cellulose whiskers. Cellulose, 19, 3, 901–912, 2012.

RATHOD, M.; HALDAR, S.; BASHA, S. **Nanocrystalline cellulose for removal of tetracycline hydrochloride from water via biosorption: equilibrium, kinetic and thermodynamic studies.** Ecological Engineering, 84, 240-249, 2015.

REDDY, J. P.; RHIM, J. **Isolation and characterization of cellulose nanocrystals from garlic skin.** Materials letters, 129, 20-23, 2014.

ROSA, M. F.; MEDEIROS, E. S.; MALMONGE, J. A.; GREGORSKI, K. S.; WOOD, D. F.; MATTOSO, L. H. C.; GLENN, G.; ORTS, W. J.; IMAM, S. H. **Cellulose nanowhiskers from coconut husk fibers: effect of preparation conditions on their thermal and morphological behavior.** Carbohydrate Polymers, 81, 83-92, 2010.

SATYAMURPHY, P.; VIGNESHWARAN, N. **A novel process for synthesis of spherical nanocellulose by controlled hydrolysis of microcrystalline cellulose using anaerobic microbial consortium.** Enzyme and Microbial Technology, 52, 1, 20-25, 2013.

SÈBE, G.; PICHAVANT, F.; IBARBOURE, E.; KOFFI, A. L. C.; TINGAUT, P. **Supramolecular Structure Characterization of Cellulose II Nanowhiskers Produced by Acid Hydrolysis of Cellulose I Substrates.** Biomacromolecules, 13, 570-578, 2012.

SEO, Y.; LEE, Y.; LEE, C.; YOU, H. **Red algae and their use in papermaking.** Bioresource Technology, 101, 2549–2553, 2010.

SINGH, L.; KALIA, V. C. **Waste biomass management – a holistic approach.** Editora Springer, 2017.

SUCALDITO, M. R.; CAMACHO, D. H. **Characteristics of unique HBr-hydrolyzed cellulose nanocrystals from freshwater green algae (*Cladophora rupestris*) and its reinforcement in starch-based film.** Carbohydrate Polymers, 169, 315–323, 2017.

TAKAGI, H.; NAKAGAITO, A. N.; BISTAMAM, M. S. **Extraction of cellulose nanofibers from waste papers and application to reinforcement in biodegradable composites.** Journal of Reinforced Plastics and Composites, 32, 20, 1542-1546, 2013.

VERMA, N.; BANSAL, M. C.; KUMAR, V. **Pea peel waste: a lignocellulosic waste and its utility in cellulase production by *Trichoderma reesei* under solid state cultivation.** BioResources, 6, 2, 1505-1519, 2011.

VESTENA, M.; GROSS, I. P.; MULLER, C. M. O.; PIRES, A. T. N. **Isolation of whiskers from natural sources and their dispersed in a non-aqueous medium.** Polímeros, 26, 4, 2016.

WANG, N.; DING, E.; CHENG, R. **Preparation and Liquid Crystalline Properties of Spherical Cellulose Nanocrystals.** Langmuir, 24, 5-8, 2008.

WANG, Q.; ZHU, J. Y.; REINER, R. S.; VERRILL, S. P.; BAXA, U.; McNEIL, S. E. **Approaching zero cellulose loss in cellulose nanocrystal (CNC) production: recovery and characterization of cellulosic solid residues (CSR) and CNC.** Cellulose, 19, 2033–2047, 2012.

WILLIAMS, D. B.; CARTER, C. B. **Transmission electron microscopy: a textbook for materials science,** 2008.

XIONG, R.; Zhang, X.; Tian, D. **Comparing microcrystalline with spherical nanocrystalline cellulose from waste cotton fabrics.** Cellulose, 19, 1189–1198, 2012.

ZHANG, J.; ELDER, T. J.; PU, Y.; RAGAUSKAS, A. J. **Facile Synthesis of Spherical Cellulose Nanoparticles**. Carbohydrate Polymers, 69, 607-611, 2007.

ZHOU, Y.; FUENTES-HERNANDEZ, C.; KHAN, T. M.; LIU, J.; HSU, J.; SHIM, J. W.; DINDAR, A.; YOUNGBLOOD, J. P.; MOON, R. J.; KIPPELEN, B. **Recyclable organic solar cells on cellulose nanocrystal substrates**. Scientific Reports, 3, 1536, 2013.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Adsorção 76, 77, 78, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 88, 89, 90, 91, 92

Anaeróbio 35

Análise Térmica 7, 51, 52, 57, 60

Aterros 25, 28, 30, 35

B

Bioadsorventes 76, 77, 78, 80, 81, 82, 83, 86, 88, 89, 91, 92

Biocombustíveis 20, 24, 25, 26, 35, 37, 47, 50, 51, 53, 54, 62, 65, 70, 72, 73

Biodiesel 24, 36, 37, 38, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 65, 74, 91, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 100, 101, 102, 103, 104

Biodigestor 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35

Biogás 23, 24, 26, 28, 29, 30, 31, 33, 34, 35, 65

Biomassa 2, 6, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 28, 36, 38, 50, 52, 53, 54, 63, 64, 65, 66, 67, 71, 73, 76, 93, 105, 111, 112, 113

Bio-Óleo 53, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 74

Biorrefinarias 26, 63, 65

C

Celulose 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 13, 15, 24, 66, 79, 92

Cogeração 22, 27

Colmos de Bambu 105, 107, 109

Corantes 76, 77, 78, 79, 81, 82, 83, 84, 87, 88, 89, 90, 91, 92

Crescimento Populacional 29, 64

E

Efeito Cinético 3

Efeito Estufa 20, 23, 24, 30, 50, 53, 65, 95

Efluentes 1, 2, 5, 21, 22, 41, 76, 77, 78, 91

Energia 5, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 33, 34, 35, 53, 59, 62, 63, 64, 65, 107, 109

F

Fibra de Vidro 105, 107, 108

G

Gorduras 37, 38, 50, 52, 53, 54, 55, 58, 60, 61, 62, 67, 72, 93, 94, 95, 96, 97, 100, 101, 102, 103

H

Hidrodesoxigenação 63, 64, 67, 68, 69, 71, 72, 73, 74

M

Morfologia 2, 4, 7, 9, 10

N

Nanocelulose 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 15

Nanopartículas 1, 2, 4, 13

O

Óleos 24, 30, 37, 38, 50, 52, 53, 54, 55, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 66, 67, 72, 73, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 100, 101, 102, 103

P

Painéis “Honeycomb” 105

Palmáceas 50, 51, 52, 57, 58, 59, 60, 96

Poder Calorífico 51, 52, 57, 59, 67

Ponto de Fluidez 93, 94, 95, 98, 99, 100, 101

Processos 1, 5, 7, 8, 9, 22, 23, 25, 36, 50, 54, 63, 65, 66, 67, 78, 90, 93, 107

Produção 3, 20, 22, 23, 24, 25, 26, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 38, 48, 52, 53, 54, 65, 70, 72, 73, 74, 78, 83, 91, 92, 94, 95, 109

Q

Queima 22, 24, 25, 31, 59

R

Recursos Renováveis 20

Regenerar 21

Resíduos 2, 3, 5, 7, 8, 9, 14, 15, 20, 21, 22, 23, 25, 26, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 38, 58, 64, 65, 66, 76, 77, 78, 92, 98

Resina 105, 106, 107, 108, 109, 110

S

Silicato de Sódio 36, 37, 38, 42, 43, 44, 45, 47, 48

Sustentabilidade 27, 28, 35, 65, 105

T

Toxicidade 4, 69

Transesterificação 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 45, 50, 52, 53, 55, 57, 61, 94, 96, 97, 103

V

Viscosidade 51, 52, 56, 58, 59, 64, 66, 67, 93, 94, 98, 99, 101, 102

Fontes de Biomassa e Potenciais Usos 2

 www.atenaeditora.com.br

 contato@atenaeditora.com.br

 @atenaeditora

 www.facebook.com/atenaeditora.com.br

Fontes de Biomassa e Potenciais Usos 2

 www.atenaeditora.com.br

 contato@atenaeditora.com.br

 @atenaeditora

 www.facebook.com/atenaeditora.com.br