FIBRAS VEGETAIS

PARA COMPÓSITOS POLIMÉRICOS

Universidade Estadual de Santa Cruz

GOVERNO DO ESTADO DA BAHIA
Rui Costa - Governador

SECRETARIA DE EDUCAÇÃO
Walter Pinheiro - Secretário

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE SANTA CRUZ
Adélia Maria Carvalho de Melo Pinheiro - Reitora
Evandro Sena Freire - Vice-Reitor

DIRETORA DA EDITUS
Rita Virginia Alves Santos Argollo

Conselho Editorial:
Dorival Freitas – Professor Convidado
Rita Virginia Alves Santos Argollo – Presidente
Evandro Sena Freire
José Montival Alencar Junior
André Luiz Rosa Ribeiro
Andrea de Azevedo Morégula
Adriana dos Santos Reis Lemos
Dorival de Freitas
Francisco Mendes Costa
Lurdes Bertol Rocha
Maria Laura de Oliveira Gomes
Marileide dos Santos de Oliveira
Raimunda Alves Moreira de Assis
Nelson Dinamarco Ludovico
Silvia Maria Santos Carvalho

Celso Carlino Maria Fornari Junior

FIBRAS VEGETAIS

PARA COMPÓSITOS POLIMÉRICOS

Ilhéus-BA

Editora da UESC

2017

Copyright ©2017 by Celso Carlino Maria Fornari Junior

Direitos desta edição reservados à
EDITUS - EDITORA DA UESC

A reprodução não autorizada desta publicação, por qualquer meio,
seja total ou parcial, constitui violação da Lei nº 9.610/98.

Depósito legal na Biblioteca Nacional,
conforme Lei nº 10.994, de 14 de dezembro de 2004.

PROJETO GRÁFICO E CAPA
Álvaro Coelho

IMAGEM DA CAPA
Fibras de coco - fotografia microscópica feita por Celso Carlino

REVISÃO
Maria Luiza Nora
Roberto Santos de Carvalho
Sylvia Maria Campos Teixeira

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

F727 Fornari Junior, Celso Carlino Maria
Fibras vegetais para compósitos poliméricos / Celso Carlino Maria Fornari Junior. – Ilhéus, BA: Editus, 2017.
198 p.; il.

Referências: p. 180-198
ISBN: 978-85-7455-436-5

1. Fibras – Estrutura. 2. Fibras – Tratamento. 3. Química vegetal. 4. Materiais compostos fibrosos. 5. Polímeros. I. Título.

CDD 620.197

EDITUS - EDITORA DA UESC
Universidade Estadual de Santa Cruz
Rodovia Jorge Amado, km 16 - 45662-900 - Ilhéus, Bahia, Brasil
Tel.: (73) 3680-5028
www.uesc.br/editora
editus@uesc.br

EDITORA FILIADA À

Associação Brasileira
das Editoras Universitárias

As grandes estruturas são alicerçadas em sólidos fundamentos de maneira a apoiar positivamente toda a arquitetura e desempenho da função estrutural. As fibras vegetais são igualmente protagonistas da sustentação de todo o arranjo vegetal, desde o momento do seu crescimento, passando por todas as etapas até a floração e fruto. Sabiamente, as funções importantes atuam nos bastidores, elevando a decoração dos detalhes e embelezando oportunamente a arte da ciência.

A Inês, pelo seu apoio incondicional

A Celso e Gabriel, pelo exemplo de vida.

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO – 11

CAPÍTULO 1 - FIBRAS: ESTRUTURA PRIMÁRIA – 13

1.1 Fibras vegetais – 13
1.2 Célula vegetal – 17
1.3 Limite da célula –20
1.3.1 Parede primária – 23
1.3.2 Parede secundária – 23
1.3.3 Lamela do meio – 24
1.4 Estrutura geral – 24
1.5 Celulose – 25
1.6 Nanofibra – 33
1.7 Microfibra – 36
1.8 Estrutura da fibra – 40
1.9Tipos de fibras em vegetais – 43
1.9.1 Palha de trigo – 43
1.9.2 Cana-de-açúcar – 43
1.9.3 Bambu – 43
1.9.4 Coco – 44
1.9.5 Algodão – 44

CAPÍTULO 2 FIBRAS: MODIFICAÇÃO QUÍMICA – 45

2.1 Reatividade química da celulose – 45
2.2 Tipos de celulose – 46
2.2.1 Celulose tipo I – 46
2.2.2 Celulose tipo II – 47
2.2.3 Celulose tipo III – 49
2.2.4 Celulose tipo IV – 50
2.3 Extração da celulose – 50
2.3.1 Método 1 – 51
2.3.2 Método 2 – 51
2.3.3 Método 3 – 52
2.4 Dissolução da celulose – 54
2.4.1 Dissolução por sais inorgânicos – 54

2.4.2 Dissolução por n-metil morfolina – 55
2.4.3 Dissolução por hidróxidos – 55
2.4.4 Dissolução por líquidos iônicos – 56
2.4.5 Solventes – 57
2.5 Separação das nanofibras – 58

CAPÍTULO 3 FIBRAS: HEMICELULOSE, LIGNINA E PECTINA – 61

3.1 Hemicelulose – 61
3.2 Lignina – 62
3.3 Célula sem lignina – 66
3.4 Extração da lignina – 67
3.5 Caracterização da lignina – 69
3.6 Propriedades da lignina no compósito – 70
3.7 Pectina – 72
3.8 Outras substâncias – 73

CAPÍTULO 4 FIBRAS: TRATAMENTO – 75

4.1 Tratamentos superficiais para as fibras vegetais – 75
4.2 Desengraxe – 79
4.3 Alcalino (NaOH) – 80
4.4 Acetilação – 85
4.5 Anidrido maleico – 85
4.6 $NaClO_2$ – 85
4.7 Enzimas – 86
4.8 Enxertia (Grafitização) – 86
4.9 Ultrassom – 86
4.10 Oxidação – 87
4.11 H_2O_2 – 87
4.12 Ar quente – 88
4.13 Impregnação com nanopartículas – 88
4.14 Impregnação com partículas – 89
4.15 Corona – 90
4.16 Plasma – 91
4.17 Agentes acoplantes – 92

CAPÍTULO 5 FIBRAS: CARACTERIZAÇÃO – 95
5.1 Caracterização metodológica (técnicas simples) – 96
5.2 Técnicas metodológicas – 97
5.2.1 Combustão – 97
5.2.2 Solvente – 98
5.2.3 Corantes – 98
5.2.4 Microscopia – 99
5.2.5 Absorção de água – 99
5.3 Técnicas instrumentais – 101
5.3.1 Ultravioleta – 103
5.3.2 Infravermelho – 104
5.3.3 XPS – Espectroscopia Fotoeletrônica de Raios X – 109
5.3.4 Ressonância Magnética Nuclear – 110
5.3.5 Termogravimetria – 111
5.3.6 Análise Térmica-Dinâmico Mecânica (DMTA) – 115
5.4 Classificação das fibras – 119
5.5 Propriedades físicas, mecânicas e composição das fibras vegetais – 122

CAPÍTULO 6 COMPÓSITOS – 127
6.1 Histórico dos materiais compósitos – 127
6.2 Compósito e composto – 134
6.2.1 Compósito – 134
6.2.2 Composto – 136
6.3 Propriedades e interação – 137
6.4 Condições específicas: razão de aspecto – 141
6.5 Tamanho das partículas – 142
6.6 Comprimento das fibras – 144
6.7 Dispersão das fibras – 144
6.8 Propriedades dos compósitos – 146
6.9 Impacto – 147
6.10 Tração – 148
6.11 Flexão – 152
6.12 Microscopia – 157

6.13 Matrix polimérica – 160
6.13.1 Termoplásticos commodities – 162
6.13.2 Termoplásticos de engenharia – 166
6.13.3 Termofixos – 168
6.14 Elastômeros – 172
6.15 Biodegradável – 176

Considerações finais – 178
Referências – 180

APRESENTAÇÃO

O estudo que apresentamos neste livro teve seu marco inicial quando surgiu o Laboratório de Polímeros e Sistemas (LAPOS) na Universidade Estadual de Santa Cruz. Os esforços e empenhos neste período foram dedicados à pesquisa e ao desenvolvimento de compósitos poliméricos com fibras vegetais, devido ao fato de espécies vegetais como o coco verde, o dendê, a piaçava, entre outras, serem abundantes na Região Nordeste brasileira. A oferta natural desses produtos agrícolas induziu a explorar o caminho científico na construção de novos materiais ecologicamente mais corretos e que pudessem trazer soluções tecnológicas modernas e promissoras. Associada a este projeto, a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo período de um ano, fomentou as condições necessárias para uma dedicação exclusiva ao estudo das fibras vegetais, objetivando a construção de compósitos. Durante este período de estudos, as condições foram de tal forma favoráveis que permitiram fazer um resumo amplo do tema e organizar o conhecimento teórico, somando, assim, as experiências científicas até então alcançadas. Desta maneira, em um curto período de tempo, havia informações suficientes para a criação de um material didático, voltado especificamente para o desenvolvimento da ciência no campo dos compósitos com fibras vegetais.

Entretanto, longe da pretensão de materializar sobre o papel todas as informações pertinentes, faltava um impulso, um tipo de interesse ou objetividade, que sutilmente esquecemos quando estamos focados na pesquisa aplicada.

Exatamente neste momento, mergulhado nos trabalhos rotineiros no laboratório, um aluno de graduação mostrou seu interesse e, paralisando parcialmente as suas atividades de bancada, indagou sobre a exata estrutura física da fibra vegetal. Após uma rápida explanação sobre seu questionamento, foi percebido que a dúvida original não estava completamente esclarecida.

A tarefa de explicar, ensinando e criando uma imagem teatral da estrutura básica da planta é mesmo muito imprecisa. Mesmo que superficialmente se discorra sobre o assunto, explanar sobre as estruturas vegetais é algo um tanto complexo. Desde aquele momento, ficou notório que dissertar sobre as fibras vegetais envolve revelar a sua complexa e extraordinária estrutura, e que o conhecimento mais amplo seria fruto de uma soma de domínios específicos.

Neste livro estão reunidos conceitos científicos que podem auxiliar o estudo e o entendimento das fibras vegetais. Ele aborda e apresenta, em seis capítulos, sua estrutura físico-química, iniciando-se na primeira macromolécula de celulose até a fibra vegetal macro, como a conhecemos abundante e presente nas plantas. A explanação passa pelas modificações e sínteses químicas que as fibras podem sofrer. Dessa forma, as suas propriedades são alteradas e pode-se alargar o campo de aplicações. A obra discute aspectos relevantes como propriedades químicas da celulose, ensaios de avaliação de propriedades e técnicas de caracterização de materiais.

Voltado para um estudo aplicado, o foco deste livro é revelar aos técnicos e pesquisadores a ciência que envolve as estruturas fibrosas vegetais e o seu respectivo compósito polimérico, salientando desde os aspectos químicos até a avaliação das propriedades destes novos materiais.