

VOL III

THE GREAT WORLD OF NANOTECHNOLOGY

Emilio Castro Otero
(Organizador)

 EDITORA
ARTEMIS
2025

VOL III

THE GREAT WORLD OF NANOTECHNOLOGY

Emilio Castro Otero
(Organizador)

 EDITORA
ARTEMIS
2025



O conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição Creative Commons Atribuição-Não-Comercial NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0). Direitos para esta edição cedidos à Editora Artemis pelos autores. Permitido o download da obra e o compartilhamento, desde que sejam atribuídos créditos aos autores, e sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

A responsabilidade pelo conteúdo dos artigos e seus dados, em sua forma, correção e confiabilidade é exclusiva dos autores. A Editora Artemis, em seu compromisso de manter e aperfeiçoar a qualidade e confiabilidade dos trabalhos que publica, conduz a avaliação cega pelos pares de todos manuscritos publicados, com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

Editora Chefe	Prof. ^a Dr. ^a Antonella Carvalho de Oliveira
Editora Executiva	M. ^a Viviane Carvalho Mocellin
Direção de Arte	M. ^a Bruna Bejarano
Diagramação	Elisangela Abreu
Organizador	Prof. Dr. Emilio Castro Otero
Imagem da Capa	yourapechkin/123RF
Bibliotecário	Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

Conselho Editorial

Prof.^a Dr.^a Ada Esther Portero Ricol, *Universidad Tecnológica de La Habana “José Antonio Echeverría”*, Cuba
Prof. Dr. Adalberto de Paula Paranhos, *Universidade Federal de Uberlândia*, Brasil
Prof. Dr. Agustín Olmos Cruz, *Universidad Autónoma del Estado de México*, México
Prof.^a Dr.^a Amanda Ramalho de Freitas Brito, *Universidade Federal da Paraíba*, Brasil
Prof.^a Dr.^a Ana Clara Monteverde, *Universidad de Buenos Aires*, Argentina
Prof.^a Dr.^a Ana Júlia Viamonte, *Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP)*, Portugal
Prof. Dr. Ángel Mujica Sánchez, *Universidad Nacional del Altiplano*, Peru
Prof.^a Dr.^a Angela Ester Mallmann Centenaro, *Universidade do Estado de Mato Grosso*, Brasil
Prof.^a Dr.^a Begoña Blandón González, *Universidad de Sevilla*, Espanha
Prof.^a Dr.^a Carmen Pimentel, *Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro*, Brasil
Prof.^a Dr.^a Catarina Castro, *Universidade Nova de Lisboa*, Portugal
Prof.^a Dr.^a Cirila Cervera Delgado, *Universidad de Guanajuato*, México
Prof.^a Dr.^a Cláudia Neves, *Universidade Aberta de Portugal*
Prof.^a Dr.^a Cláudia Padovesi Fonseca, *Universidade de Brasília-DF*, Brasil
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos, *Universidade Federal da Grande Dourados*, Brasil
Dr. Cristo Ernesto Yáñez León – *New Jersey Institute of Technology*, Newark, NJ, Estados Unidos
Prof. Dr. David García-Martul, *Universidad Rey Juan Carlos de Madrid*, Espanha
Prof.^a Dr.^a Deuzimar Costa Serra, *Universidade Estadual do Maranhão*, Brasil
Prof.^a Dr.^a Dina Maria Martins Ferreira, *Universidade Estadual do Ceará*, Brasil
Prof.^a Dr.^a Edith Luévano-Hipólito, *Universidad Autónoma de Nuevo León*, México
Prof.^a Dr.^a Eduarda Maria Rocha Teles de Castro Coelho, *Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro*, Portugal
Prof. Dr. Eduardo Eugênio Spers, *Universidade de São Paulo (USP)*, Brasil
Prof. Dr. Eloi Martins Senhoras, *Universidade Federal de Roraima*, Brasil
Prof.^a Dr.^a Elvira Laura Hernández Carballido, *Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo*, México
Prof.^a Dr.^a Emilas Darlene Carmen Lebus, *Universidad Nacional del Nordeste/ Universidad Tecnológica Nacional*, Argentina



Prof.ª Dr.ª Erla Mariela Morales Morgado, *Universidad de Salamanca*, Espanha
 Prof. Dr. Ernesto Cristina, *Universidad de la República*, Uruguay
 Prof. Dr. Ernesto Ramírez-Briones, *Universidad de Guadalajara*, México
 Prof. Dr. Fernando Hitt, *Université du Québec à Montréal*, Canadá
 Prof. Dr. Gabriel Díaz Cobos, *Universitat de Barcelona*, Espanha
 Prof.ª Dr.ª Gabriela Gonçalves, Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP), Portugal
 Prof.ª Dr.ª Galina Gumovskaya – Higher School of Economics, Moscow, Russia
 Prof. Dr. Geoffroy Roger Pointer Malpass, Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Brasil
 Prof.ª Dr.ª Gladys Esther Leoz, *Universidad Nacional de San Luis*, Argentina
 Prof.ª Dr.ª Glória Beatriz Álvarez, *Universidad de Buenos Aires*, Argentina
 Prof. Dr. Gonçalo Poeta Fernandes, Instituto Politécnico da Guarda, Portugal
 Prof. Dr. Gustavo Adolfo Juarez, *Universidad Nacional de Catamarca*, Argentina
 Prof. Dr. Guillermo Julián González-Pérez, *Universidad de Guadalajara*, México
 Prof. Dr. Håkan Karlsson, *University of Gothenburg*, Suécia
 Prof.ª Dr.ª Iara Lúcia Tescarollo Dias, Universidade São Francisco, Brasil
 Prof.ª Dr.ª Isabel del Rosario Chiyon Carrasco, *Universidad de Piura*, Peru
 Prof.ª Dr.ª Isabel Yohena, *Universidad de Buenos Aires*, Argentina
 Prof. Dr. Ivan Amaro, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Brasil
 Prof. Dr. Iván Ramon Sánchez Soto, *Universidad del Bío-Bío*, Chile
 Prof.ª Dr.ª Ivânia Maria Carneiro Vieira, Universidade Federal do Amazonas, Brasil
 Prof. Me. Javier Antonio Albornoz, *University of Miami and Miami Dade College*, Estados Unidos
 Prof. Dr. Jesús Montero Martínez, *Universidad de Castilla - La Mancha*, Espanha
 Prof. Dr. João Manuel Pereira Ramalho Serrano, Universidade de Évora, Portugal
 Prof. Dr. Joaquim Júlio Almeida Júnior, Unifimes - Centro Universitário de Mineiros, Brasil
 Prof. Dr. Jorge Ernesto Bartolucci, *Universidad Nacional Autónoma de México*, México
 Prof. Dr. José Cortez Godínez, Universidad Autónoma de Baja California, México
 Prof. Dr. Juan Carlos Cancino Díaz, Instituto Politécnico Nacional, México
 Prof. Dr. Juan Carlos Mosquera Feijoo, *Universidad Politécnica de Madrid*, Espanha
 Prof. Dr. Juan Diego Parra Valencia, *Instituto Tecnológico Metropolitano de Medellín*, Colômbia
 Prof. Dr. Juan Manuel Sánchez-Yáñez, *Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo*, México
 Prof. Dr. Juan Porras Pulido, *Universidad Nacional Autónoma de México*, México
 Prof. Dr. Júlio César Ribeiro, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Brasil
 Prof. Dr. Leinig Antonio Perazolli, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Brasil
 Prof.ª Dr.ª Livia do Carmo, Universidade Federal de Goiás, Brasil
 Prof.ª Dr.ª Luciane Spanhol Bordignon, Universidade de Passo Fundo, Brasil
 Prof. Dr. Luis Fernando González Beltrán, *Universidad Nacional Autónoma de México*, México
 Prof. Dr. Luis Vicente Amador Muñoz, *Universidad Pablo de Olavide*, Espanha
 Prof.ª Dr.ª Macarena Esteban Ibáñez, *Universidad Pablo de Olavide*, Espanha
 Prof. Dr. Manuel Ramiro Rodríguez, *Universidad Santiago de Compostela*, Espanha
 Prof. Dr. Manuel Simões, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal
 Prof.ª Dr.ª Márcia de Souza Luz Freitas, Universidade Federal de Itajubá, Brasil
 Prof. Dr. Marcos Augusto de Lima Nobre, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Brasil
 Prof. Dr. Marcos Vinicius Meiado, Universidade Federal de Sergipe, Brasil
 Prof.ª Dr.ª Mar Garrido Román, *Universidad de Granada*, Espanha
 Prof.ª Dr.ª Margarida Márcia Fernandes Lima, Universidade Federal de Ouro Preto, Brasil
 Prof.ª Dr.ª María Alejandra Arecco, *Universidad de Buenos Aires*, Argentina
 Prof.ª Dr.ª Maria Aparecida José de Oliveira, Universidade Federal da Bahia, Brasil
 Prof.ª Dr.ª Maria Carmen Pastor, *Universitat Jaume I*, Espanha
 Prof.ª Dr.ª Maria da Luz Vale Dias – Universidade de Coimbra, Portugal
 Prof.ª Dr.ª Maria do Céu Caetano, Universidade Nova de Lisboa, Portugal

Prof.^ª Dr.^ª Maria do Socorro Saraiva Pinheiro, Universidade Federal do Maranhão, Brasil
 Prof.^ª Dr.^ª M^ªGraça Pereira, Universidade do Minho, Portugal
 Prof.^ª Dr.^ª Maria Gracinda Carvalho Teixeira, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Brasil
 Prof.^ª Dr.^ª María Guadalupe Vega-López, *Universidad de Guadalajara, México*
 Prof.^ª Dr.^ª Maria Lúcia Pato, Instituto Politécnico de Viseu, Portugal
 Prof.^ª Dr.^ª Maritza González Moreno, *Universidad Tecnológica de La Habana, Cuba*
 Prof.^ª Dr.^ª Maurícea Silva de Paula Vieira, Universidade Federal de Lavras, Brasil
 Prof. Dr. Melchor Gómez Pérez, Universidad del Pais Vasco, Espanha
 Prof.^ª Dr.^ª Ninfa María Rosas-García, Centro de Biotecnología Genómica-Instituto Politécnico Nacional, México
 Prof.^ª Dr.^ª Odara Horta Boscolo, Universidade Federal Fluminense, Brasil
 Prof. Dr. Osbaldo Turpo-Gebera, *Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Peru*
 Prof.^ª Dr.^ª Patrícia Vasconcelos Almeida, Universidade Federal de Lavras, Brasil
 Prof.^ª Dr.^ª Paula Arcoverde Cavalcanti, Universidade do Estado da Bahia, Brasil
 Prof. Dr. Rodrigo Marques de Almeida Guerra, Universidade Federal do Pará, Brasil
 Prof. Dr. Saulo Cerqueira de Aguiar Soares, Universidade Federal do Piauí, Brasil
 Prof. Dr. Sergio Bitencourt Araújo Barros, Universidade Federal do Piauí, Brasil
 Prof. Dr. Sérgio Luiz do Amaral Moretti, Universidade Federal de Uberlândia, Brasil
 Prof.^ª Dr.^ª Silvia Inés del Valle Navarro, *Universidad Nacional de Catamarca, Argentina*
 Prof.^ª Dr.^ª Solange Kazumi Sakata, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN)- USP, Brasil
 Prof.^ª Dr.^ª Stanislava Kashtanova, *Saint Petersburg State University, Russia*
 Prof.^ª Dr.^ª Susana Álvarez Otero – Universidad de Oviedo, Espanha
 Prof.^ª Dr.^ª Teresa Cardoso, Universidade Aberta de Portugal
 Prof.^ª Dr.^ª Teresa Monteiro Seixas, Universidade do Porto, Portugal
 Prof. Dr. Valter Machado da Fonseca, Universidade Federal de Viçosa, Brasil
 Prof.^ª Dr.^ª Vanessa Bordin Viera, Universidade Federal de Campina Grande, Brasil
 Prof.^ª Dr.^ª Vera Lúcia Vasilévski dos Santos Araújo, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Brasil
 Prof. Dr. Wilson Noé Garcés Aguilar, *Corporación Universitaria Autónoma del Cauca, Colômbia*
 Prof. Dr. Xosé Somoza Medina, *Universidad de León, Espanha*

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)

O86g The Great World of Nanotechnology III / organização de Emilio Castro Otero. – 1. ed. – Curitiba, PR : Editora Artemis, 2025.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Edição bilingue.

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-81701-79-6

DOI 10.37572/EdArt_121225796

1. Nanotecnologia biomédica. 2. Engenharia de tecidos. 3. Nanomateriais – Aplicações. 4. Biosistemas – Inovação tecnológica. 5. Sensores avançados – Desenvolvimento. I. Otero, Emilio Castro.

CDD 620.5

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422



FOREWORD

We are thrilled to present the third installment of ***The Great World of Nanotechnology***, a volume dedicated to exploring the cutting edge of nanotechnology applications, from the fundamental science of materials to their tangible impact on health, industry, and the environment. This book is meticulously structured into four thematic blocks, designed to guide the reader through the latest innovations that seek to solve crucial challenges in modern society.

The first pillar of this volume, ***Fundamentals of Nanomaterial Manufacturing and Characterization***, delves into the critical methodologies for creating high-quality nanostructures. Chapter 1 offers systematic research on the Effects of the Transfer Process on the Structure of Graphene Synthesized by Chemical Vapor Deposition. Complementing this, Chapter 2 examines Polymer Nanofibers via Airbrushing.

In ***Nanomaterials for Surface Engineering and Smart Sensors***, the chapters explore how these nanostructures can be applied in functional devices and material protection. Chapter 3 presents advances in the development of sensors based on graphene functionalized with nanoparticles. Similarly, Chapter 4 addresses the electrodeposition of nanostructured metal coatings.

Nanotechnology in Biomedical and Pharmaceutical Applications brings three chapters focusing on the use of nanotechnology to improve human health. Chapter 5 evaluates the Cytotoxic Effect of Nanoemulsion with Pumpkin Seed Oil on Breast Cancer Cell Lines. In the field of tissue engineering, Chapter 6 describes the development of Alginate/Collagen Structures Enhanced with Conductive Nanoparticles (PEDOT) for the Regeneration of Small-Diameter Blood Vessels. Finally, Chapter 7 discusses the development of an antiseptic gel based on bioactive compounds encapsulated in nanoparticles.

Concluding our exploration, ***Nanotechnological Solutions for Environmental Remediation*** addresses the water pollution crisis. The final chapter describes the Removal of Arsenic from Groundwater Using Recycled Iron Nanoparticles through the development of a low-cost filter that uses iron nanoparticles.

We invite you to immerse yourself in reading *The Great World of Nanotechnology*. Vol. III, where science on the smallest scale translates into large-scale solutions. We sincerely hope that this compilation of advanced research will not only be of utmost interest to you, but also inspire new directions of study and application in this infinitely promising field.

Emilio Castro Otero

PRÓLOGO

É com grande entusiasmo que apresentamos a terceira edição de ***The Great World of Nanotechnology***, um volume dedicado a explorar a vanguarda das aplicações nanotecnológicas, desde a ciência fundamental dos materiais até o seu impacto tangível na saúde, na indústria e no ambiente. Este livro está meticulosamente estruturado em quatro eixos temáticos, concebidos para guiar o leitor através das mais recentes inovações que procuram resolver desafios cruciais na sociedade moderna.

O primeiro eixo deste volume, ***Fundamentos da Fabricação e Caracterização de Nanomateriais***, aprofunda as metodologias críticas para a criação de nanoestruturas de alta qualidade. O Capítulo 1 oferece uma investigação sistemática sobre os Efeitos do Processo de Transferência na Estrutura do Grafeno Sintetizado por Deposição Química de Vapor e o segundo capítulo examina as Nanofibras Poliméricas via Aerografia.

Em seguida, o eixo ***Nanomateriais para Engenharia de Superfícies e Sensores Inteligentes***, explora como essas nanoestruturas podem ser aplicadas em dispositivos funcionais e proteção de materiais. O Capítulo 3 apresenta os avanços no desenvolvimento de Sensores Baseados em Grafeno Funcionalizado com Nanopartículas. Paralelamente, e o Capítulo 4 aborda a Eletrodeposição de Revestimentos Metálicos Nanoestruturados.

O eixo ***Nanotecnologia em Aplicações Biomédicas e Farmacêuticas***, centra-se na utilização da nanotecnologia para melhorar a saúde humana. O Capítulo 5 avalia o Efeito Citotóxico da Nanoemulsão com Óleo de Semente de Abóbora em Linhagens de Células de Cancro da Mama. No campo da engenharia de tecidos, o Capítulo 6 descreve o desenvolvimento de Estruturas de Alginato/Colagénio Melhoradas com Nanopartículas Condutoras (PEDOT) para a regeneração de Vasos Sanguíneos de Pequeno Diâmetro. Finalmente, o Capítulo 7 expõe a Elaboração de um Gel Antisséptico Baseado em Compostos Bioativos Encapsulados em Nanopartículas.

Concluindo a nossa exploração, o eixo ***Soluções Nanotecnológicas para Remédios Ambientais***, aborda a crise da contaminação da água. Este último capítulo descreve a Eliminação de Arsénico das Águas Subterrâneas Usando Nanopartículas de Ferro Reciclado, através do desenvolvimento de um filtro de baixo custo que utiliza nanopartículas de ferro.

Convidamo-lo a mergulhar na leitura de *The Great World of Nanotechnology Vol. III*, onde a ciência na escala mais pequena se traduz em soluções em grande escala. Esperamos sinceramente que esta compilação de pesquisas avançadas não só seja do seu interesse, mas também inspire novos rumos de estudo e aplicação neste campo infinitamente promissor.

Emilio Castro Otero

TABLE OF CONTENTS

FUNDAMENTALS OF NANOMATERIAL MANUFACTURING AND CHARACTERIZATION

CHAPTER 1..... 1

EFFECTS OF THE TRANSFER PROCESS ON THE STRUCTURE OF CVD-SYNTHESIZED GRAPHENE: A RAMAN SPECTROSCOPY STUDY

Rodrigo Segura-del-Río
Fernanda Olivares Salgado
Ricardo Henríquez Correa

 https://doi.org/10.37572/EdArt_1212257961

CHAPTER 2..... 15

NANOFIBRAS POLIMÉRICAS POR FIAÇÃO POR SOPRO EM SOLUÇÃO VIA AEROGRAFIA: UMA REVISÃO DAS PROPRIEDADES, VANTAGENS TECNOLÓGICAS E APLICAÇÕES EMERGENTES

Gabriel da Cruz Dias
Thelma Sley Pacheco Cellet
Mirian Cristina dos Santos
Caroline Silva Danna
Paulo Roberto Orlandi Ruiz
Deuber Lincon Agostini da Silva
Clarissa de Almeida Olivati

 https://doi.org/10.37572/EdArt_1212257962

NANOMATERIALS FOR SURFACE ENGINEERING AND SMART SENSORS

CHAPTER 3..... 34

SENSORES BASADOS EN GRAFENO FUNCIONALIZADO CON PT-SN/TIO₂ PARA DETECCIÓN DE SO₂

Luz María García-Rivera
Juan Manuel Padilla Flores
Octavio Maldonado Saavedra
Erick A. Juarez-Arellano

 https://doi.org/10.37572/EdArt_1212257963

CHAPTER 4..... 50

ELECTRODEPOSICIÓN DE RECUBRIMIENTOS METÁLICOS NANOESTRUCTURADOS

Marcos Bedolla Hernández

Genaro Texcucano Romano

Jorge Bedolla Hernández

Jorge Aguilar Vázquez

Carlos Alberto Mora Santos

Luz Fabiola Sánchez Parra

 https://doi.org/10.37572/EdArt_1212257964

NANOTECHNOLOGY IN BIOMEDICAL AND PHARMACEUTICAL APPLICATIONS

CHAPTER 5..... 60

CYTOTOXIC EFFECT OF PUMPKIN SEED OIL-LOADED NANOEMULSION IN BREAST CANCER CELL LINES

Anelise Pereira Alves

Wanderleya Toledo dos Santos

Daniel Augusto de Andrade

Felipe Kelmer Müller

Kézia Cristine Barbosa Ferreira

Guilherme Diniz Tavares

Fabiano Freire Costa

Paula Rocha Chellini

Ana Cláudia Chagas de Paula

 https://doi.org/10.37572/EdArt_1212257965

CHAPTER 6..... 74

ENHANCED ALGINATE/COLLAGEN SCAFFOLDS WITH CONDUCTIVE POLY (3,4-ETHYLENEDIOXYTHIOPHENE) NANOPARTICLES FOR NEXT-GENERATION SMALL-DIAMETER TISSUE-ENGINEERED BLOOD VESSELS

Emilio Castro

Èlia Bosch-Rué

Sara Estruch-Sotoca

Román A. Pérez

 https://doi.org/10.37572/EdArt_1212257966

CHAPTER 7 86

ELABORATION OF AN ANTISEPTIC GEL BASED ON BIOACTIVE COMPOUNDS
OF *ORIGANUM VULGARE* AND *ALOE VERA* ENCAPSULATED IN SiO_2 Y ZNO-SNO_2
NANOPARTICLES FOR CONTROLLED RELEASE

Guadalupe Luna Cedillo
Francisco Javier Tzompantzi Morales
Sandra Luz Hernández-Valladolid
Juan Manuel Padilla Flores

 https://doi.org/10.37572/EdArt_1212257967

NANOTECHNOLOGICAL SOLUTIONS FOR ENVIRONMENTAL REMEDIATION

CHAPTER 8 96

ARSENIC REMOVAL FROM GROUNDWATER USING RECYCLED IRON
NANOPARTICLES: DEVELOPMENT AND EVALUATION OF A LOW-COST FILTER FOR
RURAL COMMUNITIES

Juan Simón Torres Espada
Yrene Romina Lazcano Cruz

 https://doi.org/10.37572/EdArt_1212257968

ABOUT THE ORGANIZER 106

INDEX 107

CHAPTER 2

NANOFIBRAS POLIMÉRICAS POR FIAÇÃO POR SOPRO EM SOLUÇÃO VIA AEROGRAFIA: UMA REVISÃO DAS PROPRIEDADES, VANTAGENS TECNOLÓGICAS E APLICAÇÕES EMERGENTES

Data de aceite: 10/12/2025

Gabriel da Cruz Dias¹

Universidade Estadual de Maringá (UEM)
Campus Regional de Goioerê (CRG)
Departamento de Ciências
Goioerê, Paraná, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/1579632987794997>

Thelma Sley Pacheco Cellet

Universidade Estadual de Maringá (UEM)
Campus Regional de Goioerê (CRG)
Departamento de Ciências
Goioerê, Paraná, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/5607888729834715>

Mirian Cristina dos Santos

Universidade Estadual Paulista Júlio de
Mesquita Filho (UNESP)
Campus Araraquara, Instituto de Química
Departamento de Química Analítica
Físico-Química e Inorgânica
Araraquara, São Paulo, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/1792298807472521>

Caroline Silva Danna

Universidad Austral de Chile
Facultad de Ciencias de la Ingeniería
Instituto de Ingeniería Mecánica
Valdivia, Chile
<http://lattes.cnpq.br/0095733632562421>

Paulo Roberto Orlandi Ruiz

Universidade Estadual Paulista Júlio de
Mesquita Filho (UNESP)
Faculdade de Ciências e Tecnologia
Departamento de Física
Presidente Prudente, São Paulo, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/6643374948010201>

Deuber Lincon Agostini da Silva

Universidade Estadual Paulista Júlio de
Mesquita Filho (UNESP)
Faculdade de Ciências e Tecnologia
Departamento de Física
Presidente Prudente, São Paulo, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/8933884950667644>

Clarissa de Almeida Olivati

Universidade Estadual Paulista
Júlio de Mesquita Filho (UNESP)
Faculdade de Ciências e Tecnologia
Departamento de Física
Presidente Prudente, São Paulo, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/9822212808651415>

RESUMO: A otimização de nanofibras poliméricas tem recebido atenção substancial devido à sua elevada área superficial, porosidade aumentada e excelente desempenho mecânico, características que possibilitam aplicações em nanocompósitos, sensores ópticos, liberação controlada de fármacos, engenharia de tecidos, geração de energia e tratamento de água. Tradicionalmente, a eletrofiação tem sido

¹ Autor correspondente.

a técnica dominante para a produção de nanofibras, embora apresente limitações relacionadas à necessidade de altas tensões e à baixa taxa de produção. Para superar essas restrições, foi desenvolvida a técnica de Fiação por Sopros de Solução (FSS), do inglês Solution Blow Spinning (SBS), que utiliza gás pressurizado como força motriz e alcança taxas de produção de 10 a 30 vezes superiores às da eletrofiação. Esforços recentes têm se concentrado na adaptação da FSS por meio da aerografia, utilizando aerógrafos comerciais de baixo custo capazes de depositar fibras rapidamente em diversos tipos de substratos. Esta revisão discute a evolução das metodologias de fabricação de nanofibras, com ênfase no mecanismo FSS/aerografia, suas vantagens e as tendências atuais de pesquisa, destacando especialmente seu papel emergente no desenvolvimento de membranas para purificação de água e remediação ambiental.

PALAVRAS-CHAVE: nanofibras; fiação por sopro em solução; aerografia; propriedades poliméricas; tratamento de água.

POLYMERIC NANOFIBERS BY SOLUTION BLOW SPINNING VIA AIRBRUSHING: A REVIEW OF PROPERTIES, TECHNOLOGICAL ADVANTAGES AND EMERGING APPLICATIONS

ABSTRACT: The optimization of polymer nanofibers has garnered substantial attention due to their high surface area, elevated porosity, and excellent mechanical performance, enabling applications in nanocomposites, optical sensing, controlled drug delivery, tissue engineering, energy harvesting, and water treatment. Traditionally, electrospinning has been the dominant technique for nanofiber production, yet it is limited by high voltage requirements and low throughput. To overcome these constraints, Solution Blow Spinning (SBS), known in Portuguese as Fiação por Sopros em Solução (FSS), was developed, employing pressurized gas as the driving force and achieving production rates 10–30 times higher than electrospinning. Recent efforts have focused on adapting SBS through airbrushing, using low-cost commercial airbrush systems capable of rapidly depositing fibers onto diverse substrates. This review discusses the evolution of nanofiber fabrication methods, emphasizing the SBS/airbrushing mechanism, its advantages, and current research trends, particularly its emerging role in the development of membranes for water purification and environmental remediation.

KEYWORDS: nanofibers; solution blow spinning; airbrushing; polymer properties; water treatment.

1. APRESENTAÇÃO

A crescente liberação de efluentes contendo contaminantes tóxicos em decorrência das atividades humanas configura uma preocupação socioambiental significativa na atualidade. Diversos compostos utilizados na agropecuária, na agricultura e em processos industriais de alta tecnologia acabam dissolvidos nos corpos hídricos, sendo de difícil separação. Esse cenário favorece a disseminação de poluentes orgânicos e inorgânicos que podem atingir a cadeia alimentar e, conseqüentemente, representar riscos à saúde humana.

Entre esses contaminantes, destacam-se corantes, herbicidas, pesticidas e íons metálicos, cuja presença em ambientes aquáticos vem gerando alerta crescente, dado seu impacto direto na qualidade da água e na saúde pública. Particular atenção é direcionada aos efluentes da indústria têxtil: corantes e demais compostos tóxicos podem alcançar os lençóis freáticos e interferir em processos ecológicos, como a penetração de radiação solar, afetando organismos aquáticos e potencialmente acumulando-se em níveis superiores da cadeia alimentar. Diante desse cenário, torna-se essencial o desenvolvimento de tecnologias eficientes para a remoção desses poluentes.

O presente trabalho tem como objetivo investigar a produção de nanofibras poliméricas por meio da técnica de Fiação por Sopro em Solução (FSS), com ênfase na adaptação do processo para sistemas de aerografia utilizando aerógrafos comerciais. A análise concentra-se nos fundamentos fluidodinâmicos e nos mecanismos de estiramento e solidificação da solução polimérica sob fluxo de ar pressurizado, bem como na influência dos parâmetros operacionais decorrentes do uso de bicos de aerógrafo.

A crescente demanda por nanomateriais com elevada área superficial, alta porosidade e excelentes propriedades mecânicas tem impulsionado pesquisas em nanofibras para aplicações em diversas áreas, incluindo engenharia de tecidos, liberação controlada de fármacos, sensores, geração e armazenamento de energia, como reforço de compósitos e, especialmente, no tratamento de água e efluentes.

Historicamente, a técnica de eletrofiação consolidou-se como o método pioneiro para obtenção de nanofibras. No entanto, suas limitações como a necessidade de altas tensões elétricas, baixa produtividade e restrições ao uso em superfícies vivas ou irregulares motivaram o desenvolvimento de alternativas tecnológicas. Nesse contexto, a FSS surge como método promissor, uma vez que utiliza gás pressurizado como força motriz, elimina a dependência de campo elétrico e permite taxas de produção até dez vezes maiores que as obtidas pela eletrofiação tradicional.

A adaptação da FSS via aerografia, tema central desta revisão, apresenta vantagens significativas: simplicidade operacional, baixo custo, grande disponibilidade comercial dos dispositivos, elevada versatilidade e possibilidade de deposição direta sobre substratos planos, irregulares ou biológicos. Estudos recentes demonstram que essa abordagem permite a obtenção de nanofibras com excelentes propriedades morfológicas e funcionais, incluindo a manutenção de fases cristalográficas em determinados polímeros, característica frequentemente comprometida em processos de eletrofiação devido às intensas forças eletrostáticas envolvidas.

Neste Sentido, o mesmo reúne os fundamentos físicos e químicos da técnica, discute parâmetros críticos do processo (pressão, concentração, viscosidade, distância de trabalho), apresenta resultados consolidados na literatura e evidencia o potencial crescente da aerografia como rota rápida, simples e acessível para a produção de nanofibras. A partir dessa análise, busca-se destacar o avanço tecnológico proporcionado por essa metodologia, bem como suas perspectivas de aplicação em áreas emergentes, especialmente no tratamento de água.

2. NANOFIBRAS POLIMÉRICAS: PROPRIEDADES E APLICAÇÕES

A produção e o estudo de nanofibras poliméricas têm ganhado destaque na área de materiais devido ao conjunto de funcionalidades que emergem quando polímeros naturais ou sintéticos são estruturados em escala nanométrica. Além das características já consolidadas, como elevada área específica e porosidade intrínseca resultante da interconectividade da rede formada, essas arquiteturas possibilitam maior capacidade de incorporação de agentes ativos e melhorias significativas no desempenho mecânico, ampliando sua aplicabilidade em diferentes tecnologias.

Entre as principais aplicações, destacam-se seu uso em filtros e membranas de separação empregadas em processos de adsorção, ultrafiltração e destilação. Na área da saúde, as nanofibras têm sido exploradas em sistemas de liberação controlada de fármacos, na engenharia de tecidos, além do desenvolvimento de selantes cirúrgicos. Outras frentes de aplicação incluem sua utilização como fase de reforço em nanocompósitos, em sensores ópticos, em tecnologias de geração e armazenamento de energia e em dispositivos nanoestruturados de alta funcionalidade.

Estudos recentes evidenciam o crescente interesse em materiais voltados ao tratamento de efluentes, destacando-se, por exemplo, nanofibras termoplásticas como alternativas promissoras para membranas de destilação devido à boa estabilidade térmica e alta porosidade. Além disso, a incorporação de nanomateriais em nanofibras obtidas via FSS demonstra grande potencial para o desenvolvimento de materiais com capacidades aprimoradas de adsorção.

Figura 1. Sínteses e aplicações emergentes relacionadas às nanofibras poliméricas.



Fonte: Adaptado de Kenry & ChweeTeck Lim (2017).

3. O DESENVOLVIMENTO DA METODOLOGIA DE OBTENÇÃO DE NANOFIBRAS

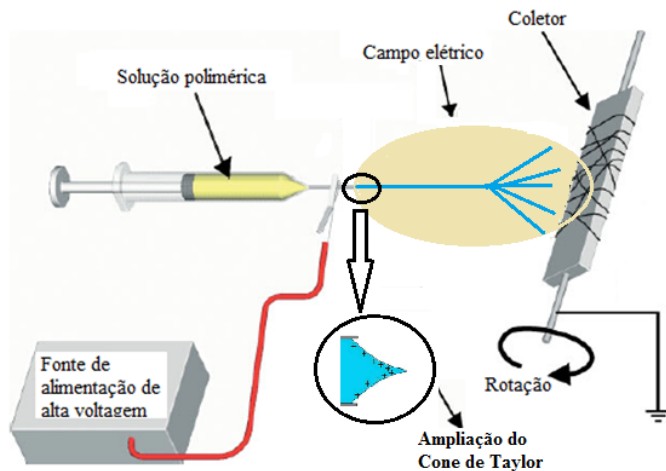
Eletrofiação (Electrospinning)

A eletrofiação é o método de referência dominante para a produção de nanofibras em escala laboratorial, baseado na ejeção de um jato de solução polimérica ou polímero fundido sob a influência de um campo eletrostático de alta intensidade, resultando na deposição controlada das fibras sobre um coletor aterrado.

À medida que a diferença de potencial aumenta, a gota da solução se alonga e forma o Cone de Taylor, momento em que as interações eletrostáticas superam a tensão superficial e dão origem a um jato que se desloca em direção ao coletor. Embora eficiente, a técnica apresenta limitações significativas, o que inviabiliza sua aplicação direta em tecidos vivos, além de operar com baixas velocidades e baixa eficiência em processos de grande escala, elevando seus custos.

Soma-se a isso a limitação relacionada ao uso de solventes que não interagem adequadamente com o campo elétrico, o que restringe ainda mais suas possibilidades de aplicação.

Figura 2. Esquema utilizado em experimentos de eletrofiação.



Fonte: Adaptado de Martins, A.; Araujo, J. V.; Reis, R. L.; Neves, N. M (2007).

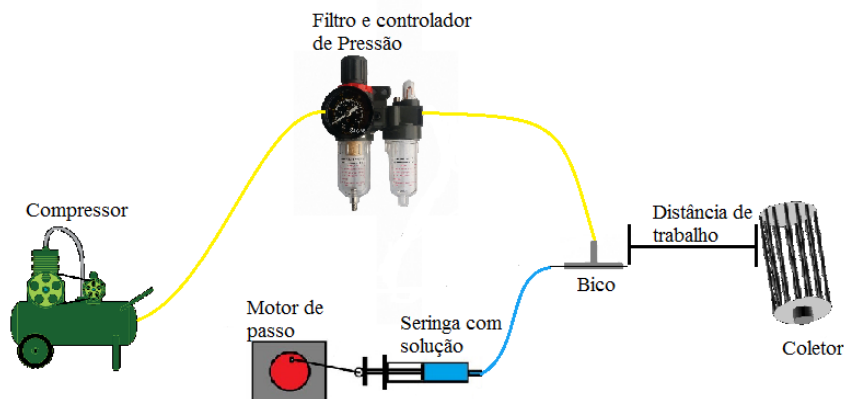
Fiação por Sopros em Solução (FSS)

A técnica de Fiação por Sopros em Solução (FSS), desenvolvida por Medeiros e colaboradores, surgiu como alternativa para superar limitações da eletrofiação, em especial a dependência de tensões elétricas elevadas. Seu funcionamento baseia-se na utilização de dois fluxos concêntricos: um contendo a solução polimérica e outro composto por um gás pressurizado (ar, nitrogênio ou argônio), que atua como força motriz responsável pelo estiramento e pela aceleração do jato polimérico.

Ao deixar o bocal externo, o gás sofre uma rápida redução de pressão ao entrar em contato com a pressão atmosférica, o que aumenta sua velocidade de escoamento e provoca uma queda de pressão no centro do jato; essa diferença gera a força motriz responsável por acelerar o fluido polimérico.

A alta velocidade do gás também induz cisalhamento na interface gás/solução, superando a tensão superficial da gota e promovendo o estiramento do polímero até a formação de micro e nanofibras. A FSS tem se mostrado eficiente para a fiação de diversos polímeros comuns à eletrofiação, como poliestireno, polimetil-metacrilato e polilático, alcançando taxas de alimentação significativamente superiores às típicas da eletrofiação.

Figura 3. Esquema experimental da FSS.



Fonte: Reirado de Zadorosny, L. (2017).

4. AEROGRAFIA: UMA ADAPTAÇÃO PROMISSORA DA FSS

O conceito de aerografia, baseado na pulverização de soluções, remonta à pré-história, como evidenciado em pinturas rupestres, embora o dispositivo moderno tenha sido inventado apenas em 1879 por Francis Edgar Stanley e posteriormente aprimorado por Charles Burdick, cujo design serviu de base para os aerógrafos profissionais atuais.

O aerógrafo funciona pela mistura de ar comprimido com tinta ou solução polimérica, gerando um jato direcionado ao substrato. Sua classificação considera dois aspectos principais: o tipo de mistura e o tipo de acionamento. Quanto à mistura, o aerógrafo pode ser do tipo externo, em que ar e solução se combinam apenas na saída do bico, adequado para aplicações mais amplas, ou interno, no qual a mistura ocorre dentro do corpo do dispositivo, permitindo maior uniformidade do jato e traços mais finos. Quanto ao acionamento, os modelos podem ser de ação simples, em que o gatilho controla apenas o fluxo de ar, exigindo ajuste independente do fluido, ou de dupla ação, que possibilita regular simultaneamente ar e solução, conferindo maior precisão e controle sobre a formação do jato.

A adaptação do aerógrafo comercial para a técnica de FSS tem se mostrado promissora quando comparada à eletrofiação, apresentando vantagens como ampla disponibilidade dos dispositivos, altas taxas de produção, baixo custo operacional, versatilidade de manuseio, possibilidade de deposição das fibras sobre qualquer tipo de superfície, inclusive *in vivo*, uma vez que o processo utiliza apenas gás comprimido. e obtenção de nanofibras com elevada porosidade e menores diâmetros.

Entretanto, limitações como a impossibilidade de controlar a taxa de alimentação da solução, a necessidade de concentrações menores, ocorrência de entupimentos por altas viscosidades e restrições de pressão estabelecidas pelo fabricante ainda representam desafios.

A morfologia das nanofibras obtidas por aerografia depende de forma crítica de parâmetros como concentração da solução, pressão do gás e distância de trabalho: Concentrações poliméricas baixas resultam em fibras defeituosas, devido à evaporação insuficiente do solvente, enquanto concentrações elevadas aumentam a viscosidade e o risco de obstrução aumenta. Como a pressão atua como força motriz, pressões maiores geraram aglomerados, e por fim, distâncias curtas entre o bocal e o coletor impedem a completa evaporação do solvente, causando aderência indesejada, enquanto distâncias muito grandes reduzem a quantidade de material que efetivamente atinge o coletor.]

Figura 4. Fotografia digital de aerógrafo comercial; (a) detalhes do bico, (b) estrutura e (c) detalhes do reservatório.



Fonte: Retirado de DIAS e colaboradores (2019).

5. APLICAÇÕES E TRABALHOS RELACIONADOS: UM BREVE EXEMPLO

A versatilidade da aerografia tem permitido sua aplicação em diferentes áreas antes dominadas pela eletrofiação, destacando-se especialmente sua eficiência em procedimentos *in situ* sobre tecidos vivos, algo inviável na técnica eletrofiada.

Estudos da literatura avaliaram a viabilidade da blenda polimérica de poli(ácido láctico-co-glicólico) (PLGA) e polietilenoglicol (PEG), obtida pela técnica de fiação por sopro em solução (FSS), como selante cirúrgico para anastomoses intestinais em dois modelos pré-clínicos. No primeiro, camundongos foram submetidos a transecção parcial do ceco sem suturas, e a FSS foi comparada a três selantes comerciais, cola de fibrina, hidrogel de PEG e cianoacrilato quanto à capacidade de vedação, pressão de ruptura e taxa de sobrevivência. Os resultados evidenciaram que a FSS promoveu pressões de ruptura significativamente mais elevadas e melhorou as taxas de sobrevivência dos

animais em relação aos grupos tratados com cola de fibrina e hidrogel de PEG, alcançando desempenho comparável ao cianoacrilato.

Na etapa seguinte, a FSS foi aplicada como reforço de uma anastomose suturada do intestino delgado em um modelo pré-clínico de leitões. Nesse cenário, todos os animais sobreviveram por 14 dias, sem ocorrência de vazamentos anastomóticos. A aplicação da FSS também resultou em aumento expressivo da pressão de ruptura, quase quatro vezes maior, quando comparada ao segmento apenas suturado.

Do ponto de vista de aplicabilidade clínica, a FSS apresentou manuseio simples e controlado, podendo ser aplicada com um aerógrafo convencional, aderindo adequadamente a tecidos ligeiramente úmidos e permitindo remoção fácil quando depositada em excesso. Em contraste, alguns selantes comerciais mostraram maior dificuldade de aplicação ou induziram respostas inflamatórias mais intensas.

Em conjunto, esses resultados consolidam a FSS como uma alternativa promissora para o reforço de anastomoses gastrointestinais, combinando desempenho mecânico superior, boa aplicabilidade cirúrgica e potencial translacional relevante, um panorama geral da possibilidade de trabalhos é apresentado nos trabalhos de Kern, N.G, Behrens A. M, Srinivasan P, Rossi, C.T., Daristotle, J.L, Kofinas, P. Sandler A. D (2017).

A técnica de FSS/Aerografia também tem se mostrado eficaz na produção de compósitos, permitindo a incorporação uniforme de nanopartículas e em aplicações em células solares.

Neste sentido, a literatura tem demonstrado avanços significativos na utilização de técnicas de deposição por spray, utilizando aerógrafos para a fabricação de dispositivos fotovoltaicos orgânicos. Nesse contexto, destaca-se o estudo que investigou a produção de células solares de heterojunção em massa utilizando a blenda P3HT (poli(3-hexiltiofeno)): PCBM ([6,6]-fenil-C₆₁-butirato de metil-éster) como camada ativa. O uso do aerógrafo para deposição desse filme polimérico mostrou-se uma alternativa atraente aos métodos tradicionais, por permitir processamento de baixo custo, aplicação sobre áreas extensas e compatibilidade com tecnologias de produção em larga escala, como impressão e revestimento contínuo.

A eficiência do processo depende fortemente do controle preciso dos parâmetros de deposição, os quais foram sistematicamente avaliados no estudo em questão. Entre eles, destacaram-se temperatura do substrato, otimizada em 40 °C, distância de pulverização de aproximadamente 17 cm, e a escolha de uma mistura de co-solventes, constituída por orto-diclorobenzeno e clorobenzeno na proporção 1:5, responsável por melhorar a uniformidade e reduzir defeitos morfológicos durante a formação do filme.

Os dispositivos fabricados nessas condições alcançaram eficiência de conversão de energia de 4,1%, com camada ativa de espessura média de 270 nm, apresentando morfologia adequada ao transporte de cargas, ainda que com rugosidade superior à de filmes produzidos por spin-coating. Esses resultados evidenciam que o spray-coating constitui uma técnica eficaz e potencialmente competitiva em relação aos métodos tradicionais, tanto em qualidade de filme quanto em desempenho fotovoltaico, como apresentado no trabalho de Susanna G., Salamandra, L., Brown, T. M., di Carlo, A., Brunetti, F., Reale, A.(2011).

Outro estudo utilizou a técnica de Fiação por Sopro de Solução (FSS) para produzir, pela primeira vez, nanofibras do supercondutor $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ (YBCO – óxido de ítrio-bário-cobre). Os autores, Rotta, M.; Zadorosny, L.; Carvalho, C. L.; Malmonge, J. A.; Malmonge, L. F.; zadorosny, R (2016) demonstram que a FSS mostrou-se especialmente promissora por eliminar a necessidade de altas tensões elétricas e coletores condutores, além de apresentar taxas de produção significativamente superiores às da eletrofiação.

Para a preparação da solução precursora, foram utilizados acetatos metálicos de ítrio, bário e cobre combinados ao PVP (polivinilpirrolidona) como agente estruturante, em duas razões Ac:PVP (1:1 e 5:1). As fibras obtidas inicialmente apresentaram morfologia contínua, com diâmetros médios entre 389 e 426 nm. Após etapas controladas de secagem, calcinação e sinterização sob fluxo de oxigênio, formaram-se nanofibras cerâmicas de YBCO com diâmetros finais de 359 e 375 nm, mantendo estrutura fibrosa e exibindo superfícies granulares típicas de materiais cerâmicos.

Esses resultados evidenciaram o potencial da FSS como uma rota eficiente, econômica e escalonável para a produção de nanofibras cerâmicas supercondutoras, com aplicações em eletrônica de alta frequência, dispositivos de potência e circuitos em escala manométrica.

A técnica de Fiação por Sopro de Solução (FSS) foi utilizada para produzir nanocompósitos de (fluoreto de polivinilideno (PVDF) contendo diferentes teores de dióxido de titânio (TiO_2), gerando filmes com morfologia fibrilar e boa dispersão das nanopartículas. A adição de TiO_2 modificou a taxa de evaporação do solvente durante o processamento, influenciando a rugosidade e a topografia das fibras, embora não tenha alterado significativamente as fases cristalinas do PVDF, que permaneceu majoritariamente na fase β .

O trabalho de González-benito, J. Teno J., González-gaitano G., Xu, S., Chiang, M.Y.(2017) dão outra ideia de formação de compósitos, neste, as análises de superfície mostraram que concentrações crescentes de TiO_2 aumentaram

inicialmente a contribuição polar da energia livre de superfície, levando, em teores maiores, a superfícies mais hidrofóbicas. Ensaios de adesão celular indicaram que a presença de TiO_2 elevou a força de adesão de *Streptococcus mutans*, efeito atribuído predominantemente a interações específicas com os grupos funcionais do material. Esses resultados demonstraram que a FSS foi uma rota eficaz para a produção de nanocompósitos PVDF/ TiO_2 com propriedades morfológicas e de superfície moduláveis para aplicações biomédicas.

6. O CENÁRIO ATUAL DA PESQUISA EM NANOFIBRAS POLIMÉRICAS

A pesquisa em nanofibras poliméricas tem apresentado um crescimento contínuo e significativo ao longo da última década, tendência que se consolidou entre 2020 e 2025. Esse avanço é corroborado pelo aumento expressivo de publicações relacionadas à eletrofiação e técnicas correlatas, que passaram de cerca de mil artigos anuais em 2014 para mais de 2.500 em 2024. Estima-se que mais de 200 polímeros já foram processados por eletrofiação com sucesso, demonstrando a versatilidade do campo.

No mesmo período, observou-se também uma expansão consistente do interesse pela técnica Fiação por sopro ou “aerografia. Revisões recentes mostram que o número de trabalhos sobre FSS cresce de forma sistemática desde meados dos anos 2010, alcançando seus maiores índices de publicação entre 2022 e 2024, o que evidencia o amadurecimento científico da técnica e sua consolidação em diversas áreas de aplicação.

As pesquisas envolvendo nanofibras poliméricas permanecem fortemente concentradas nos campos de Ciência dos Polímeros, Ciência e Engenharia de Materiais, Química Multidisciplinar, Físico-Química e Nanociência e Nanotecnologia. Além disso, cresce o número de estudos voltados para tratamento de água e efluentes, ultrafiltração e desenvolvimento de membranas seletivas. Tais áreas respondem por grande parte da produção científica recente, refletindo tanto o avanço das metodologias de obtenção quanto a expansão das aplicações industriais e ambientais.

Publicações entre 2020 e 2024 destacam seu uso em aplicações biomédicas, filtros de ar e água, materiais funcionais, além de sua utilidade em processos emergenciais, como na fabricação acelerada de nanofibras para máscaras do tipo N95.

O termo aerografia, embora menos difundido na literatura nacional, também tem ganhado tração em publicações internacionais relacionadas à deposição e otimização de fibras.

Apesar do robusto crescimento global, a pesquisa em FSS no Brasil ainda é relativamente incipiente, com poucos grupos dedicando-se exclusivamente ao

desenvolvimento teórico e experimental da técnica. Essa lacuna, entretanto, representa uma oportunidade estratégica para consolidação nacional da área, sobretudo considerando a demanda crescente por métodos de produção de nanomateriais mais rápidos, versáteis e economicamente viáveis. Dessa forma, a evolução da eletrofiação e da FSS no período de 2020 a 2025 confirma o dinamismo e o potencial tecnológico das nanofibras poliméricas, reforçando sua relevância tanto para geração de conhecimento quanto para aplicações industriais emergentes.

A adaptação da Fiação por Sopro em Solução por meio da Aerografia permite altas taxas de produção e a capacidade de depositar nanofibras em substratos irregulares ou vivos. Embora a Aerografia apresente desafios na otimização de parâmetros (como risco de entupimento com soluções mais concentradas e limitações de pressão do equipamento comercial), a otimização de variáveis (como 20% m/v de PVDF a 5 bar) demonstrou a capacidade de produzir nanofibras de qualidade nanométrica (138.4 nm) com a desejada fase preservada.

O desenvolvimento e a simplificação da tecnologia de obtenção de nanofibras por aerografia abrem espaço para futuras melhorias e a ampla utilização em diversas áreas, especialmente na área biomédica e na produção de filtros avançados para o tratamento de água.

7. ALGUMAS CONSIDERAÇÕES

A aerografia, como adaptação simplificada da FSS, como já mencionado anteriormente, demonstra elevado potencial para a produção rápida de nanofibras com diâmetros reduzidos, alta porosidade e excelente capacidade de deposição sobre diferentes tipos de substratos, e apesar dos desafios ainda existentes, como entupimentos, limitações de pressão e controle menos preciso da taxa de alimentação, os resultados apresentados na literatura comprovam que ajustes adequados de parâmetros (como concentrações otimizadas de polímero e pressões moderadas) permitem a obtenção de fibras de alta qualidade.

O cenário atual demonstra que, enquanto internacionalmente a técnica FSS/Aerografia avança de maneira consistente, no Brasil o campo ainda se encontra em desenvolvimento inicial, com poucos grupos dedicados à sua investigação.

O avanço contínuo das investigações nessa área tende a consolidar essa técnica como uma das estratégias mais promissoras para a produção de nanomateriais de alto desempenho nos próximos anos.

Dessa forma, conclui-se que a FSS via aerografia configura uma plataforma tecnológica robusta e em expansão, capaz de democratizar o acesso à produção de nanofibras poliméricas e de ampliar significativamente suas aplicações científicas, ambientais e industriais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Huang, Z.-M., Zhang, Y.-Z., Kotakic, M., Ramakrishna, S. A review on polymer nanofibers by electrospinning and their applications in nanocomposites. *Composites Science and Technology*. V.63(15). p.2223-2253. 2003.
2. Kenry, Lim T., C. Nanofiber technology: current status and emerging developments. *Progress in Polymer Science*. n.70 p.1-17. 2017.
3. Gopal, R.; Kaur, S.; Ma, Z.; Chan, C.; Ramakrishna, S.; Matsuura, T. Electrospun nanofibrous filtration membrane. *Journal of Membrane Science*, Amsterdam, v. 281, p.581-586, 2006.
4. Trindade, R. S. Caracterização de membranas poliméricas aplicadas ao processo de microfiltração. 2010. 74 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS, Porto Alegre, 2010. Fd.
5. Wolf, C.; Tscherner, M.; Köstler, S. Ultra-fast opto-chemical sensors by using electrospun nanofibers as sensing layers. *Sensors And Actuators B: Chemical*, Amsterdam, v. 209, p.1064-1069, mar. 2015.
6. Costa, R. G. F.; Oliveira, J. E.; Paula, G. F.; Piccianl, P. H. S.; Medeiros, E. S.; Mattoso, L. H. C. Eletrofição de polímeros em solução. Parte II: Aplicações e perspectivas. *Polímeros*, São Carlos, v. 22, n. 2, p. 178-185, 2012.
7. Martins, A.; Araujo, J. V.; Reis, R. L.; Neves, N. M. Electrospun nanostructured scaffolds for tissue engineering applications. *Nanomedicine*, London, v. 2, n. 6, p. 929-942, 2007.
8. Liao, S.; Li, B.; Ma, W.; Wei, H.; Chan, C.; Ramakishna, S. Biomimetic electrospun nanofibers for tissue regeneration. *Biomedic Materials*, Bristol, v. 1, n. 3, p. R45-R53, 2006.
9. Hassanzadeh P, Kharaziha M, Nikkhah M, Shin SR, Jin J, He S, et al. Chitinnanofiber micropatterned flexible substrates for tissue engineering. *J MaterChem B* 2013;1:4217-24.
10. Shah S, Yin PT, Uehara TM, Chueng STD, Yang L, Lee KB. Guiding stem cell differentiation into oligodendrocytes using graphene-nanofiber hybrid scaffolds. *Adv Mater* 2014;26:3673-80.
11. Yang X, Zou W, Su Y, Zhu Y, Jiang H, Shen J, et al. Activated nitrogen-doped carbon nanofibers with hierarchical pore as efficient oxygen reduction reaction catalyst for microbial fuel cells. *J Power Sources* 2014;266:36-42.
12. Shang M, Wang W, Sun S, Gao E, Zhang Z, Zhang L, et al. The design and realization of a large-area flexible nanofiber-based mat for pollutant degradation: an application in photocatalysis. *Nanoscale* 2013;5:50 36-42.
13. Cheng L, Ma SY, Wang TT, Li XB, Luo J, Li WQ, et al. Synthesis and characterization of hollow nanofibers by electrospinning for ethanol sensing properties. *Mater Lett* 2014;131:23-6.
14. Wu Q, Tran T, Lu W, Wu J. Electrospun silicon/carbon/titanium oxide composite nanofibers for lithium ion batteries. *J Power Sources* 2014;258: 39-45.

15. Liu Y, Zhao L, Li M, Guo L. core-shell nanofiber film for photoelectrochemical hydrogen generation. *Nanoscale* 2014;6:7397–404.
16. Shi H, Zhou M, Song D, Pan X, Fu J, Zhou J, et al. Highly porous electrospun nanofibers with high photocatalytic activities. *Ceram Intern* 2014;40:10383–93.
17. Liao Y, Li XG, Hoek EMV, Kaner RB. Carbon nanotube/polyaniline nanofiber ultrafiltration membranes. *J Mater Chem A* 2013;1:15390–6.
18. Wang Y, Zhang X, He X, Zhang W, Zhang X, Lu C. In situ synthesis of coated cellulose nanofibers hybrid for effective removal of methylene blue. *Carbohydr Polym* 2014;110:302–8.
19. Ayad MM, Salahuddin NA, Minisy IM, Amer WA. Chitosan/polyaniline nanofibers coating on the quartz crystal microbalance electrode for gas sensing. *Sens Actuators B* 2014;202:144–53.
20. Zhao R, Li X, Sun B, Zhang Y, Zhang D, Tang Z, et al. Electrospun chitosan/sericin composite nanofibers with antibacterial property as potential wound dressings. *Int J Biol Macromol* 2014;68:92–7.
21. Li, D.; Xia, Y. Electrospinning of nanofibers: reinventing the wheel? *Advanced Materials*, Weinheim, v. 16, n. 14, p. 1151–1170, 2004.
22. Wu, N., Wei, H. H., Zhang, L. Z. Efficient removal of heavy metal ions with biopolymer template synthesized mesoporous titania beads of hundreds of micrometers size, *Environmental Science & Technology* 46 (2012) 419–425.
23. Lan, S. H., Ju, F., Wu X. W. Treatment of wastewater containing EDTA Cu(II) using the combined process of interior microelectrolysis and fenton oxidation–coagulation, *Separation and Purification Technology* 89 (2012) 117–124.
24. Rashidi, F., Sarabi, R. S., Ghasemi, Z., Serif, A. Kinetic, equilibrium and thermodynamic studies for the removal of lead (II) and copper (II) ions from aqueous solutions by nanocrystalline, Superlattices and Microstructures 48 (2010) 577–591.
25. Machado, R. L. Despirogenação de soluções de imunoglobulina G humana: adsorção de endotoxinas em membrana de quitosana. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas/SP. 2003.
26. Armoa, M. H., Junior, M. J. Princípios e aplicações de processos de separação por membranas inorgânicas. *Ciência & Tecnologia: FATEC-JB, Jaboticabal*, v. 2, n. 1, p. 80–97, 2011. ISSN 2178-9436.
27. Morandi, C. G. Síntese, Caracterização e otimização de membranas poliméricas adsorventes para a remoção de disruptores endócrinos de águas residuais. (2011) 54f. Trabalho de Diplomação em Engenharia Química. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre 2011.
28. Mohammad A.W., Teowa, Y. H., Ang W.L., Chung Y.T., Oatley-Radcliffe D.L., HILAL, N. Nanofiltration membranes review: Recent advances and future prospects. *Desalination* n.356 p.226–254.2015.
29. Bhardwaj, N.; Kundu, S.C. Electrospinning: A fascinating fiber fabrication technique. *Biotechnology Advances*, 28, p. 325–347, 2010.
30. Doshi, J.; Reneker, D.H. Electrospinning Process and Applications of Electrospun Fibers. *Journal of Electrostatics*, 35, p 151–160, 1995.

31. Bian, S; Jayaram, S.; Cherney, E.A. Electrospinning as a new method of preparing nanofilled silicone rubber composites. *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, vol. 19, n° 3; 2012.
32. Costa, R.G.F.; Oliveira, J.E.; Paula, G.F.; Picciani, P.H.; Medeiros, E.S.; Ribeiro, C.; Mattoso, L.H.C. Eletrofiação de Polímeros em solução. Parte I: Fundamentação teórica. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, vol. 22, n° 2, p. 170-177, 2012.
33. Yarin, A.L.; Koombhongse, S.; Reneker, D.H. Taylor cone and jetting from liquid droplets in electrospinning of nanofibers. *Journal of Applied Physics*, vol 90, n° 9, p 4836-4846, 2001.
34. Oktay, B.; Apohan, N.K.; Kuruca, S.E. Fabrication of nanofiber mats from electrospinning of functionalized polymers. *Materials Science and Engineering*, 64, 2014.
35. Greiner, A.; Wendorff, J.H. Electrospinning: A fascinating method for the preparation of ultrathin fibers. *Angewandte Chemie – International Edition*, vol. 46, p. 5670 – 5703, 2007.
36. SITE INOVAÇÃO TECNOLÓGICA. Bioplásticos de fibras vegetais se equiparam à fibra de carbono. 13/04/2011. Online. Disponível em [<https://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=bioplasticos-fibras-vegetais&id=010160110413>]. Capturado em 15/08/2013.
37. Teo, W.E.; Ramakrishna, S. A review on electrospinning design and nanofibre assemblies. *Nanotechnology*, 17, p 89–106, 2006.
38. Almeida, R.S.; Boery, M.N.O.; Barra, G.M.O.; d'Ávila, M.A. Processo de eletrofiação por aplicação de CA do polímero poli(fluoreto de vinilideno) – PVDF. 7º Congresso Latino Americano de Órgãos Artificiais e Biomateriais, Natal-RN, 2012.
39. Frenot, A.; Chronakis, I.S. Polymer nanofibers assembled by electrospinning. *Current Opinion in Colloid and Interface Science*, 8, p. 64–75, 2003.
40. Guerrini, L.M.; Branciforti, M.C.; Bretas, R.E.S. Eletrofiação do poli (álcool vinílico) via solução aquosa. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, vol. 16, n° 4, p. 286-293, 2006.
41. Costa, L. M. M.; Bretas, R. E. S.; Gregório, R. Jr. Effect of solution concentration on the electrospray/ electrospinning transition and on the crystalline phase of PVDF. *Materials Sciences and Applications*, Irvine, v. 1, p. 247-252, 2010.
42. Pham, Q. P.; Sharma, U.; Mikos, A.G. Electrospinning of polymeric nanofibers for tissue engineering applications: a review. *Tissue Engineering*, New Rochelle, v. 12, p. 1197-1211, 2006.
43. Nasir, M.; Matsumoto, H.; Danno, T.; Minagawa, M.; Irisawa, T.; Shioya, M.; Tanioka, A.; Control of diameter, morphology, and structure of PVDF nanofiber fabricated by electrospray deposition. *Journal of Polymer Science: Part B: Polymer Physics*, Hoboken, v. 44, n. 5, p. 779-786, 2006.
44. Hu, X., Zhang, X., Shen, X, LI H, Takai O, Saito N. Plasma-induced synthesis of nanofibers and nanoflowers in water. *Plasma Chem Plasma Process*.v.34n.11p29–39. 2014.
45. Ren L, Ozisik R, Kotha SP, Underhill PT. Highly efficient fabrication of polymernanofiber assembly by centrifugal jet spinning: process and characterization. *Macromolecules* 2015;48:2593–602.
46. Huang Y, Duan Y, Ding Y, Bu N, Pan Y, Lu N, et al. Versatile, kinetically controlled, high precision electrohydrodynamic writing of micro/nanofibers. *Sci Rep* 2014;4(5949):1–9.

47. Park JU, Hardy M, Kang SJ, Barton K, Adair K, Mukhopadhyay Dk Lee CY, et al. High-resolution electrohydrodynamic jet printing. *Nat Mater* 2007;6:782–9.
48. Wongpajan R., Thumsorn S., Inoya, H., Okoshi, M., Hamada, H. Development of Cotton Candy Method for High Productivity Polypropylene. *Fibers Webs. Fibers and Polymers* 2018, Vol.19, No.1.
49. Medeiros, E. S.; Glenn, G. M.; Klamczynski, A. P.; Orts, W. J.; Mattoso, L. H. C. Solution blow spinning. 2010. US Patent, 0062.08.
50. Medeiros, E. S.; Glenn, G. M.; Klamczynski, A. P.; ORTS, W. J.; Mattoso, L. H.C. Solution blow spinning: a new method to produce micro- and nanofibers from polymer solutions. *Journal of Applied Polymer Science*, Hoboken, v. 113, n. 4, p. 2322–2330, 2009.
51. Behrens, A.M, Casey B.J., Sikorski, M.J., WU K. L., Tutak, WO., Sandler, A. D., Kofinas, P. In situ deposition of PLGA nanofibers via solution blow spinning. *American Chemical Society Macro Letters*.v.3 p.249–54. 2014.
52. Daristotle, J. L., Behrens A. M., Sandler, A.D., Kofinas P., A Review of the Fundamental Principles and Applications of Solution Blow Spinning. *ACS Appl. Mater. Interfaces* 2016, 8, 34951–34963.
53. Oliveira, J. E.; Moraes, E. A.; Costa, R. G. F.; Afonso, A. S.; Mattoso, L. H. C.; Orts, W. J.; Medeiros, E. S. Nano and submicrometric fibers of Poly(D,L-Lactide) obtained by solution blow spinning: process and solution variables. *Journal of Applied Polymer Science*, Hoboken, v.112, n. 5, p. 3396–3405. 2011.
54. Zadorosny, L. Produção e caracterização de micro e nanofibras de Poli (fluoreto de vinilideno) – (PVDF) obtidos pela técnica de fiação por sopro em solução. 2013. 86 f. Dissertação (Mestrado)– Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista- UNESP. Ilha Solteira, 2013.
55. Dias G.C., Zadorosny, L., Sanches, A.O., Malmonge, L.F. Produção microfibras magnéticas de Poli(fluoreto de vinilideno) e Hexaferrita de Bário-(PVDF/), obtidos pela técnica de fiação por sopro de solução (FSS). *Revista Iberoamericana de Polímeros y Materiales*. v.19. n.1.p.10-19. 2018.
56. Li, L.; Kang, W.; Zhao, Y.; Li, Y.; Shi, J.; Cheng, B. Preparation of Flexible Ultra-Fine Fiber Mats via the Solution Blowing Method. *Ceram. Int.* 2015, 41 (1), 409–415.
57. Cheng, B.; Tao, X.; Shi, L.; Yan, G.; Zhuang, X. Fabrication of Ceramic Fiber Mats by Solution Blowing Process. *Ceram. Int.* 2014, 40 (9), 15013–15018.
58. Shi, S.; Zhuang, X.; Cheng, B.; Wang, X. Solution Blowing of Nanoflake-Encapsulated Carbon Nanofibers as Electrodes for Supercapacitors. *J. Mater. Chem. A* 2013, 1 (44), 13779.
59. Jia, K.; Zhuang, X.; Cheng, B.; Shi, S.; Shi, Z.; Zhang, B. Solution Blown Aligned Carbon Nanofiber Yarn as Supercapacitor Electrode. *J. Mater. Sci.: Mater. Electron.* 2013, 24 (12), 4769–4773.
60. Farias, R. M. DA C.; Menezes, R. R.; Oliveira, J. E.; Medeiros E. S. Production of Submicrometric Fibers of Mullite by Solution Blow Spinning (SBS). *Mater. Lett.* 2015, 149, 47–49.
61. Rotta, M.; Zadorosny, L.; Carvalho, C. L.; Malmonge, J. A.; Malmonge, L. F.; zadorosny, R. YBCO Ceramic Nanofibers Obtained by the New Technique of Solution Blow Spinning. *Ceram. Int.* 2016, 42 (14), 16230–16234.
62. Dias, Y. J., Gimenes C.T., Torres, S. A. P. V., Malmonge, J. A • Gualdi, A. J., de PAULA, F. R. . fibers synthesis by solution blow spinning technique. *J Mater Sci: Mater Electron* (2018) 29:514–518 DOI 10.1007/s10854-017-7941-z.

63. Costa, D. L.; Leite, R. S.; Neves, G. A.; Santana, L. N. D. L.; Medeiros, E. S.; Menezes, R. R. Synthesis of and Nano and Submicrometric Fibers by Solution Blow Spinning. *Mater. Lett.* 2016, 183, 109–113.
64. Soltan, M. A. A. An investigation into the history of the airbrush and the impact of the conservation treatment of airbrushed canvas paintings. Doctoral thesis, Northumbria University. 2015.
69. SCHWEIZER, M., GOSDAL, A.; PEREIRA C. Tipos de Aerógrafos. (2002). Disponível em [https://www.spmodelismo.com.br/material/aerografo/tipos.php]. Acesso em 14 de março de 2017.
70. Tutak, W., Gelven, G., Markle, C. and Palmer, X.-L. (2015), Rapid polymer fiber airbrushing: Impact of a device design on the fiber fabrication and matrix quality. *J. Appl. Polym. Sci.*, 132, 42813, doi:10.1002/app.42813.
71. Hoffman, K.; Skrtic, D.; Sun, J.; Tutak, W. Airbrushed Composite Polymer Nanofiber Scaffolds with Improved Cell Penetration for Bone Tissue Regeneration. *Tissue Eng., Part C* 2015, 21 (3), 284–291.
72. Vak, D., Kim, S.S., JO, J., Oh, S.H., Na, S. I., Kim, J., Kim, D.Y., Fabrication of organic bulk heterojunction solar cells by a spray deposition method for low- cost power generation. *Applied. Physics. Letters.* v.91 p.081102–081104. 2007.
73. Giroto, C., Rand, B.P., Genoe, J., Heremans, P. Exploring spray coating as a deposition technique for the fabrication of solution-processed solar cells. *Solar Energy Materials & Solar Cells* v.93 p.454–458. 2009.
74. Green, R., Morfa, A., Ferguson, A.J., Kopidakis, N., Rumbles, G., Shaheen, S.E. Performance of bulk heterojunction photovoltaic devices prepared by air- brush spray deposition. *Applied Physics. Letters.* v. 92 p033301–033303. 2008.
75. Na, S.I., Yu, B-K., Kim, S-S., Vak, D., K. S., Yeo J.S., Kim, D-Y. Fully spray-coated ITO-free organic solar cells for low-cost power generation, *Solar Energy Materials & Solar Cells* v.94 p.1333–1337. 2010.
76. Steele A, Bayer I, Loth E. Inherently Superoleophobic Nanocomposite Coatings by Spray Atomization *Nano Letters.* v. 9(1) p.501-505. 2008.
77. Pham, V.H., Cuong, T.V, Hur, S.H., Shin, E.W., Kim, J.S., Chung, J.S., Kim, E.J. Fast and simple fabrication of a large transparent chemically-converted graphene film by spray-coating. *Carbon.* v.48(7) p.1945-1951. 2010.
78. Kern, N.G, Behrens A. M, Srinivasan P, Rossi, C.T., Daristotle, J.L, Kofinas, P, Sandler A. D. Solution blow spun polymer: A novel preclinical surgical sealant for bowel anastomoses. *Journal of Pediatric Surgery.* v.52(8) 2017 p.1308-1312. 2017.
79. Susanna G., Salamandra, L., Brown, T. M., di Carlo, A., Brunetti, F., Reale, A. Airbrush spray-coating of polymer bulk-heterojunction solar cells. *Solar Energy Materials & Solar Cells* v.95 p. 1775–1778. 2011.
80. Lahlou, H., Vilanova, X., Fierro V., Celzard, A., Llobet E., Correig X. Preparation and characterisation of a planar pre-concentrator for benzene based on different activated carbon materials deposited by air-brushing. *Sensors and Actuators B* v.154 p.213–219. 2011.
81. González-benito, J. Teno J., González-gaitano G., Xu, S., Chiang, M.Y. PVDF/TiO₂ nanocomposites prepared by solution blow spinning: Surface properties and their relation with S. Mutans adhesion. *Polymer Testing* v.58. p.21-30. 2017.

82. Srinivasan S, Chhatre S.S., Mabry, J. M., Cohen RE, Mckinley GH. Solution spraying of poly(methyl methacrylate) blends to fabricate microtextured, superoleophobic surfaces. *Polymer*. v. 52(14). p.3209-18. 2011.
83. Vural, M.; Behrens, A. M.; Ayyub, O. B.; Ayoub, J. J.; Kofinas, P. Sprayable Elastic Conductors Based on Block Copolymer Silver Nanoparticle Composites. *American Chemical Society Nano*. v.9 (1) p.336–344. 2015.
84. Tutak, W.; Sarkar, S.; Lin-gibson, S.; Farooque, T. M.; Jyotsnendu, G.; Wang, D.; Kohn, J.; Bolikal, D.; Simon, C. G. The Support of Bone Marrow Stromal Cell Differentiation by Airbrushed Nanofiber Scaffolds. *Biomaterials*. v.34 (10) p. 2389–2398. 2013.
85. Jin, T., Wang, J., Zhu, X, Xu, Y, Zhou, X, Yang, L. A new transient expression system for large-scale production of recombinant proteins in plants based on air-brushing an *Agrobacterium* suspension. *Biotechnology Reports*. v. 6 p.36–40. 2015.
86. de Windt T.S., Vonk L.A., Buskermolen J.K., Visser J., Karperien M. Bleys, R.L.A.W, Dhert , W.J.A., Saris D.B.F. Arthroscopic airbrush assisted cell implantation for cartilage repair in the knee: a controlled laboratory and human cadaveric study. *Osteoarthritis and Cartilage* v. 23 p.143-150. 2015.
87. Dias, G.C., Cellet, T.S.P., Santos. M. C., Sanches, A. O., Malmonge, L.F. PVDF Nanofibers Obtained by Solution Blow Spinning With use of a Commercial Airbrush. *Journal of Polymer Research* accept Febuary 2019 [URL do artigo].
88. REMPEL, S. P. Obtenção de micro/nanofibras poliméricas por fiação por sopro :parâmetros e aplicação no controle de pragas agrícolas (2018).76 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade de Caxias do Sul, Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência dos Materiais, 2018.
91. Gregório Jr R, Notoci NCPS (1995) Effect of PMMA addiction on the solution crystallization of the alpha-phase and beta-phase of poly (vinylidene fluoride)(PVDF). *Journal Physics D: Applied Phys* 28:432–436.
92. Lovinger AJ (1982) Poly(vinylidene fluoride). In: Basset DC (ed) *Developments in crystalline polymers*. Applied Science Publishers, London, chapter 5. pp 196–273.
93. Kepler R G, Nalwa, H S (1995) (Ed.). *Ferroelectric polymers: chemistry, physics, and applications*. New York: Marcel Dekker, Cap. 3: 183–185.
94. Reneker DH, Chun I (1996) Nanometre diameter fibres of polymer, produced by electrospinning. *Nanotechnology, Bristol* 7:216–223.
95. Benito JG, Teno J, Torres D, DíazM (2017) Solution blow spinning and obtaining submicrometric fibers of different polymers. *Int J Nanoparticles Nanotech* 3:5–10.
96. Shuai W, Yapeng L, Xiaoliang F, Mingda S, Chaoqun Z, Yahxian L, Qingbiao Y, Xia H (2011) Preparation of a durable superhydrophobic membrane by electrospinning poly (vinylidene fluoride) () mixed with epoxy–siloxane modified nanoparticles: a possible route to superhydrophobic surfaces with low water sliding angle and high water contact angle. *J Colloid Interface Sci* 359:380–388.
97. Roach P, Shirtcliffe NJ, Newton MI (2008) Progress in superhydrophobic surface development. *Soft Matter* 4:224–240.
98. Cai X, Lei T, Sund D, Lind L (2017) A critical analysis of the , and phases in poly(vinylidene fluoride) using FTIR. *RSC Adv* 7: 15382–15389.

99. Lanceros-Mendez S, Mano JF, Costa AM, Schmidt VH (2001) FTIR and DSC studies of mechanically deformed -pvdf films. *Macromol Sci Physics* 40:517–527.
100. Gregório RF (1993) Influência das condições de cristalização na morfologia de filmes de polifluoreto de vinilideno (). *Polímeros: Ciência e Tecnologia* 3:20–27.
101. Guo Z, Nilsson E, Rigdahl M, Hagström B (2013) Melt spinning of fibers with enhanced phase structure. *J Appl Polym Sci* 130:2603–2609.
102. Liu Z, Maréchal P, Jérôme R (1997) DMA and DSC investigations of the transition of poly (vinylidene fluoride). *Polymer* 38:4925–4929.
103. Zulfiqar S, Zulfiqar M, Munir A (1994) Study of the thermal-degradation of polychlorotrifluoroethylene, poly(vinylidene fluoride) and copolymers of chlorotri fluoroethylene and vinylidene fluoride. *Polym Degrad Stab* 43:423–430.
104. Cena CR, Silva MJ, Malmonge LF, Malmonge JA (2018) Poly(vinyl pyrrolidone) sub-microfibers produced by solution blow spinning. *J Polym Res* 25:238–246.
105. Young An M, Kim HT, Chang DR (2014) Multilayered separator based on porous polyethylene layer, layer, and electrospun nanofiber layer for lithium batteries. *J Solid State Electrochem* 18:1807–1814.
106. Francis L, Ghaffour N, Alsaadi S, Nunes SP, Amy GL (2013) Hollow fibers and nanofiber membranes for fresh water recovery using membrane distillation. *J Mater Sci* 49:2015–2053.

ABOUT THE ORGANIZER

Emilio Castro Otero é professor da área de Bioengenharia na *Universitat Internacional de Catalunya*, Barcelona, Espanha. Pesquisador com ampla trajetória científica nas áreas de biomateriais, nanotecnologia, química física de polímeros e sistemas nanoestruturados aplicados à medicina regenerativa e à liberação controlada de fármacos. Sua produção abrange estudos fundamentais sobre auto-organização molecular, interações entre copolímeros e surfactantes, estabilidade proteica e desenvolvimento de nanopartículas e hidrogéis inteligentes, contribuindo de maneira significativa para a compreensão dos mecanismos físico-químicos que governam materiais avançados e sua aplicabilidade biomédica. Seu trabalho mais recente, publicado em *Acta Biomaterialia* (2023), aborda o papel angiogênico e imunomodulador de íons nas fases iniciais da regeneração óssea, consolidando sua atuação no campo dos biomateriais bioativos. Ao longo de sua carreira, publicou artigos de impacto em periódicos como *Langmuir*, *Biomacromolecules*, *Journal of Biomedical Nanotechnology*, *Macromolecular Bioscience*, *Journal of Physical Chemistry B*, *Chemical Physics* e *Journal of Colloid and Interface Science*, além de contribuir com capítulo de livro na área de nanomedicina, ampliando sua presença internacional na literatura científica.

Entre suas contribuições relevantes, destacam-se estudos sobre auto-organização de elastina recombinante e copolímeros responsivos à temperatura, síntese e caracterização de nanopartículas funcionalizadas, incluindo magnetita pegulada e nanocápsulas multifuncionais, e sistemas poliméricos capazes de encapsular e liberar fármacos de forma controlada, com foco em aplicações oncológicas e terapêuticas avançadas. Sua pesquisa também inclui extensas investigações termodinâmicas envolvendo surfactantes, copolímeros e sistemas micelares complexos, bem como análises detalhadas de interações entre proteínas e fármacos anfífilicos, contribuindo para o entendimento de processos de dobramento, estabilidade e agregação proteica. Com forte perfil interdisciplinar, o pesquisador tem colaborado com grupos internacionais de renome em bioengenharia, físico-química de materiais, nanotecnologia e biotecnologia aplicada, contribuindo para o desenvolvimento de estratégias inovadoras em engenharia de tecidos, medicina regenerativa e materiais biomiméticos.

Ao longo de quase duas décadas de produção científica contínua, Emilio Castro Otero consolidou uma carreira marcada pela investigação rigorosa, inovação metodológica e abordagem integrada da ciência dos materiais, oferecendo contribuições relevantes tanto para o avanço do conhecimento fundamental quanto para o desenvolvimento de soluções tecnológicas com potencial translacional na área biomédica.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7491-4169>

INDEX

A

Adsorption 13, 80, 96, 97, 98, 100, 101, 102, 103, 104, 105

Aerografia 15, 16, 17, 18, 21, 22, 23, 25, 26, 27

Antiseptics 86, 87

Arsenic 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 105

B

Bactericidal 86, 87

Blood vessel 75, 84

C

Chemical vapor deposition 1, 14

Conductive hydrogel 75

Cromo 50, 51, 53, 54, 58, 59

Cucurbita moschata 60, 61, 62, 63, 68, 70, 71, 72, 73

E

Electrodeposición 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56

Emulsions 61, 63, 64, 73

F

Fiação por Sopro de Solução 16, 22, 24, 30

G

Graphene 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 27, 31, 34, 35

Graphene transfer 1, 4, 9

Groundwater 96, 97, 98, 99, 105

I

Inflammatory breast neoplasms 61

Iron nanoparticles 96, 100, 101, 104, 105

Iron oxide 96, 97, 100, 101, 102, 104, 105

L

Low-cost filter 96

M

Morfología 22, 24, 33, 47, 51, 53, 56, 57

N

Nanocompuesto 34, 36, 37, 38, 43, 47

Nanofibras 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 24, 25, 26, 27, 30, 32

Nanoparticles 32, 35, 51, 62, 69, 72, 74, 75, 77, 78, 80, 81, 82, 83, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 96, 97, 100, 101, 102, 103, 104, 105

Nanopartículas de óxidos metálicos 34

Nanopartículas metálicas 51, 52

O

Óxido de grafeno 34, 36, 39, 40, 48, 49

P

PEDOT nanoparticles 74, 75, 77, 78, 81, 82, 83

Propiedades poliméricas 16

R

Raman spectroscopy 1, 5, 11, 13, 14, 35

Recubrimientos nanoestructurados 50, 51, 53, 59

S

Sensores de gas 34, 36

Smooth muscle cells 74, 75, 82, 84

T

Toxicity tests 61

Tratamento de água 15, 16, 17, 18, 25, 26

V

Vascular regeneration 74, 75, 83

Virucidal and bioactive compounds 86

