



**Impactos das
Tecnologias na
Engenharia Química**

**Carmen Lúcia Voigt
(Organizadora)**

Atena
Editora

Ano 2019

Carmen Lúcia Voigt
(Organizadora)

Impactos das Tecnologias na Engenharia Química

Atena Editora
2019

2019 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação e Edição de Arte: Natália Sandrini e Lorena Prestes

Revisão: Os autores

Conselho Editorial

- Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista
Profª Drª Deusilene Souza Vieira Dall’Acqua – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Profª Drª Juliane Sant’Ana Bento – Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

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

134	Impactos das tecnologias na engenharia química [recurso eletrônico] / Organizadora Carmen Lúcia Voigt. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2019. – (Impactos das Tecnologias na Engenharia Química; v. 1) Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader. Modo de acesso: World Wide Web. Inclui bibliografia ISBN 978-85-7247-237-1 DOI 10.22533/at.ed.371190304 1. Engenharia química – Pesquisa – Brasil. I. Voigt, Carmen Lúcia. II. Série. CDD 660.76
-----	--

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores.

2019

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.

www.atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

Inovações tecnológicas surgem a todo o momento, em todo o mundo, sendo utilizadas como uma ferramenta estratégica para manutenção e crescimento dos negócios nas indústrias. A Engenharia Química foi uma das carreiras que mais contribuiu para a evolução da Era Industrial para a Era Moderna.

A preocupação em desenvolver produtos e processos de produção torna a Engenharia Química responsável por pesquisas e projetos em relação aos materiais que passam por mudanças físicas e químicas, adquirindo outras características.

A Engenharia Química trabalha com a manipulação de compostos e substâncias para se criar novos produtos. Estes produtos proporcionam uma melhoria na qualidade de vida humana, pois além de pesquisas relacionadas, existe a preocupação em viabilizar as invenções, criar métodos baratos e eficientes de fabricação em massa, implementando processos químico-industriais cada vez melhores, mais econômicos e mais ecológicos.

Neste primeiro volume, organizado para você, apresentamos o papel do Engenheiro Químico no mercado de trabalho, pois este aplica conhecimentos adquiridos no estudo de Química e de Engenharia para criar soluções voltadas à produção ou ao uso de substâncias químicas. É o profissional que constrói um elo entre a ciência e a manufatura. Cabe ao engenheiro químico lidar com a formulação e a solução de problemas associados à indústria química, bem como trabalhar na operação e manutenção de sistemas. Também são expostos, neste volume, trabalhos relacionados ao ensino teórico e prático de Engenharia Química.

Além disso, encontram-se trabalhos relacionados com aplicações estatísticas, simulações e otimização de processos para melhoria de utilização de produtos e subprodutos. Assim como são expostos trabalhos de caracterização de materiais e alterações em processos químicos utilizando novas técnicas de análise de produto, avaliando comportamento, característica de sistemas, propriedades físico-químicas e alteração de composição de produtos já utilizados no mercado.

Baseado nestes trabalhos, convidamos você a aperfeiçoar seus conhecimentos na área da Engenharia Química. Os trabalhos selecionados oportunizam uma nova visão de materiais, processos e técnicas na área, mostrando o impacto tecnológico no desenvolvimento da indústria e sua relação direta com a sociedade e meio ambiente.

Boa leitura.

Carmen Lúcia Voigt

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
O PAPEL DO ENGENHEIRO QUÍMICO NO MERCADO DE TRABALHO: PRODUÇÃO DE UM GUIA PRÁTICO DIGITAL DESTINADO AOS GRADUANDOS E DEMAIS INTERESSADOS NA PROFISSÃO	
Raphael Carlos Rosa Pereira Eder Dias da Silva	
DOI 10.22533/at.ed.3711903041	
CAPÍTULO 2	8
GAMEQ: JOGO PARA O ENSINO NA ENGENHARIA QUIMICA	
Riccardo Cafagna Miguel do Valle Fróes Negreiros Falcão Felipe Emmanouil Martires Stamoglou Ana Lucia Barbosa de Souza Ewerton Emmanuel da Silva Calixto Fernando Luiz Pellegrini Pessoa	
DOI 10.22533/at.ed.3711903042	
CAPÍTULO 3	17
ELABORAÇÃO E AUTOMAÇÃO DE PROTÓTIPO DE REATOR CSTR CONSTRUÍDO COM MATERIAIS DE BAIXO CUSTO VOLTADO À EDUCAÇÃO DE ENGENHARIA QUÍMICA	
Cristiane Daliassi Ramos de Souza Sauro Franceschi de Carvalho Emeson de Souza Lemos Kevelyn Carolina Motta Sbravati	
DOI 10.22533/at.ed.3711903043	
CAPÍTULO 4	27
PROJETO DE DIMENSIONAMENTO DE MÓDULO CONTÍNUO A PARTIR DE MATERIAIS DE BAIXO CUSTO COMO IMPLEMENTAÇÃO DO ENSINO EXPERIMENTAL DE ENGENHARIA QUÍMICA	
Cristiane Daliassi Ramos de Souza Igor Moraes Bezerra Calixto Sauro Franceschi de Carvalho Matheus Macedo Teixeira Rafaela Misseia Cinque de Lima Marco Antônio de Alcântara Rocha	
DOI 10.22533/at.ed.3711903044	
CAPÍTULO 5	36
O SIMULADOR DO FUTURO APLICADO À INDÚSTRIA	
Fernanda Martins	
DOI 10.22533/at.ed.3711903045	
CAPÍTULO 6	43
TERMODINÂMICA QUÍMICA – COMPREENDENDO DE FORÇAS INTERMOLECULARES A COEFICIENTE DE ATIVIDADE	
Lisandra Ferreira de Lima Admilson Lopes Vieira	
DOI 10.22533/at.ed.3711903046	

CAPÍTULO 7	53
DETERMINAÇÃO DE CURVAS DE EQUILÍBRIO SÓLIDO-LÍQUIDO DE SOLVENTES EUTÉTICOS PROFUNDOS (DES) EMPREGANDO A CALORIMETRIA EXPLORATÓRIA DIFERENCIAL (DSC)	
Helena Pletsch Mariana Carolina Gipiela Corrêa Dias Marcos Rogério Mafra	
DOI 10.22533/at.ed.3711903047	
CAPÍTULO 8	59
ANÁLISE E DIAGNÓSTICO DE FALHAS POR TÉCNICAS ESTATÍSTICAS APLICADAS A SISTEMAS DE BOMBEAMENTO HIDRÁULICO	
Rebeca Albino de Jesus Ezequiel José da Silva Honorato Fábio George Nogueira Cruz José Nilton Silva	
DOI 10.22533/at.ed.3711903048	
CAPÍTULO 9	73
COMPARAÇÃO DE PERFIS DE VELOCIDADE OBTIDOS POR TUBO DE PITOT E POR SOFTWARE DE SIMULAÇÃO ANSYS CFX	
Victor Felipe Arthur Coutinho Ladeia Rosilanny Soares Carvalho Anna Clara Marques de Queiroz João Carlos Gonçalves	
DOI 10.22533/at.ed.3711903049	
CAPÍTULO 10	80
ENGENHARIA DE PROCESSOS: DIMENSIONAMENTO, SIMULAÇÃO E ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DE SISTEMAS DE EVAPORAÇÃO MÚLTIPLO EFEITO DE INDÚSTRIAS DE CELULOSE <i>KRAFT</i>	
Jamilly Marques Gasparoni Cássia Regina Santos Nunes Almeida Gustavo Matheus de Almeida	
DOI 10.22533/at.ed.37119030410	
CAPÍTULO 11	96
PROJETO DE HIDROCICLONES USANDO OTIMIZAÇÃO ROBUSTA E ESTUDO DO EFEITO DA ROBUSTEZ	
Vitor Alves Garcia Fran Sérgio Lobato Luiz Gustavo Martins Vieira	
DOI 10.22533/at.ed.37119030411	
CAPÍTULO 12	111
SELEÇÃO DE VARIÁVEIS E CONTROLE DE COMPOSIÇÃO POR INFERÊNCIA DE TEMPERATURA EM PROCESSO PRODUTIVO DO ETILBENZENO	
Arioston Araújo de Moraes Júnior Leopoldo Oswaldo Alcazar Rojas Paulo Romero de Araujo Mariz Emanuella Francisca de Lacerda Vieira Marcelo da Silva Pedro Jonas Laedson Marinho da Silva Santos	
DOI 10.22533/at.ed.37119030412	

CAPÍTULO 13	119
INFLUÊNCIA DA VARIAÇÃO DE PH, TEMPERATURA E TEMPO DE VAPORIZAÇÃO NO PROCESSO DE TINGIMENTO DE TECIDOS	
Wanyr Romero Ferreira Wilson Costa Resende Aline Pereira Leite Nunes	
DOI 10.22533/at.ed.37119030413	
CAPÍTULO 14	128
ANÁLISE CORROSIVA DO AÇO 304 QUANDO SUBMETIDO AO PROCEDIMENTO DE GALVANOPLASTIA	
Renata de Oliveira Marinho Marcelo Batista Queiroz Eudesio Oliveira Vilar Márcia Cristina de Sousa	
DOI 10.22533/at.ed.37119030414	
CAPÍTULO 15	140
EFEITO DA DENSIDADE DE CORRENTE NO PROCESSO DE OBTENÇÃO DE REVESTIMENTOS DE Co-W OBTIDOS POR ELETRODEPOSIÇÃO	
Arthur Filgueira de Almeida Bianca Oliveira Evaristo Josiane Dantas Costa Mikarla Baía de Sousa Nathália Cristina Morais Lia Fook Renato Alexandre Costa de Santana Ana Regina Nascimento Campos	
DOI 10.22533/at.ed.37119030415	
CAPÍTULO 16	148
FILTRO DE KALMAN ESTENDIDO E REDE NEURAL ARTIFICIAL NA ESTIMATIVA DE CONCENTRAÇÃO EM UM REATOR QUÍMICO NÃO ISOTÉRMICO	
Arioston Araújo de Moraes Júnior Leopoldo Oswaldo Alcazar Rojas Marcelo da Silva Pedro Paulo Romero de Araujo Mariz Emanuella Francisca de Lacerda Vieira Jonas Laedson Marinho da Silva Santos Rodrigo Marinho Guimarães	
DOI 10.22533/at.ed.37119030416	
CAPÍTULO 17	153
COMPÓSITO DE NANOCELULOSE BACTERIANA E NANOTUBOS DE CARBONO	
Guilherme Colla Vinícius Heidemann de Souza Fernanda Vieira Berti Luismar Marques Porto	
DOI 10.22533/at.ed.37119030417	

CAPÍTULO 18	160
IMOBILIZAÇÃO DE COLÁGENO HUMANO TIPO I EM MEMBRANAS DE NANOCELULOSE BACTERIANA	
Ana Carolina Jorge Meyer Emily Marques dos Reis Luismar Marques Porto	
DOI 10.22533/at.ed.37119030418	
CAPÍTULO 19	167
CENTRIFUGATION STEP CONTROL OF CELLULOSE NANOCRYSTALS SUSPENSION BY pH AND TURBIDITY MEASUREMENTS	
Mayara Felix Santana Bárbara Castro Moreira Flávia Mitsue Yamashita Nilda de Fátima Ferreira Soares José Mauro de Almeida Alvaro Vianna Novaes de Carvalho Teixeira Deusanilde de Jesus Silva	
DOI 10.22533/at.ed.37119030419	
CAPÍTULO 20	173
ESTUDO TERMODINÂMICO DA ADSORÇÃO DO CORANTE CRISTAL VIOLETA EM NANOTUBOS DE CARBONO FUNCIONALIZADOS	
Leonardo Martins Vargas Gabriel Facciochi Dörtzbacher Guilherme Luiz Dotto	
DOI 10.22533/at.ed.37119030420	
CAPÍTULO 21	181
ESTUDO DA REOLOGIA E DA SALINIDADE DE MICROEMULSÕES À BASE DE GLICERINA PARA SEREM UTILIZADAS NA RECUPERAÇÃO DE PETRÓLEO	
Amanda Brito de Carvalho Fabiola Dias da Silva Curbelo Elayne Andrade Araújo Alfredo Ismael Curbelo Garnica	
DOI 10.22533/at.ed.37119030421	
CAPÍTULO 22	196
ORGANOFILIZAÇÃO DE ARGILAS BENTONÍICAS PARA APLICAÇÃO EM FLUIDOS DE PERFURAÇÃO BASE MICROEMULSIONADA	
Renata Rodrigues Magalhães Roxana Pereira Fernandes de Sousa Alfredo Ismael Curbelo Garnica Fabiola Dias da Silva Curbelo Thaine Taumaturgo Caminha	
DOI 10.22533/at.ed.37119030422	

CAPÍTULO 23	201
PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS E VOLUMÉTRICAS DO QUEROSENE DE AVIAÇÃO E DO BIOQUEROSENE	
Idila Rafaela Carvalho Gonçalves Ana Clara Cazarin Queiroz Luciana Loureiro de Pinho Rolemberg de Andrade Sílvia Maria Zanini Sebrão Krishnaswamy Rajagopal	
DOI 10.22533/at.ed.37119030423	
CAPÍTULO 24	210
AVALIAÇÃO REOLÓGICA DE TINTAS ACRÍLICAS COMERCIAIS E ADITIVADAS COM CARGA CONDUTORA	
Alex da Silva Sirqueira Mônica Cristina dos Santos Vieira Mônica Feijó Naccache Stanley Pires de Alcântara	
DOI 10.22533/at.ed.37119030424	
CAPÍTULO 25	222
EFEITO DA ADIÇÃO DA CINZA GASEIFICADA DE CARVÃO PULVERIZADO NA FORMULAÇÃO DE CERÂMICA VERMELHA	
Gabryella Cerri Mendonça Cristiano Corrêa Ferreira	
DOI 10.22533/at.ed.37119030425	
CAPÍTULO 26	232
TRANSFERÊNCIA DE CALOR EM SISTEMAS PARTICULADOS: DETERMINAÇÃO DA CONDUTIVIDADE TÉRMICA EFETIVA DE FERTILIZANTES GRANULADOS NA ESTAGNAÇÃO DE AR	
Hugo Perazzini Maira Tonon Bitti Perazzini Rayssa Caroline Ribeiro Bernardes João Marcos Cardoso Silva	
DOI 10.22533/at.ed.37119030426	
CAPÍTULO 27	248
DETERMINAÇÃO DA SOLUBILIDADE DA UREIA EM SOLUÇÕES AQUOSAS DE ETANOL	
Raquel de Oliveira Silva Ana Paula Silva Capuci Raíssa Araújo de Oliveira Campos Ricardo Amâncio Malagoni	
DOI 10.22533/at.ed.37119030427	
CAPÍTULO 28	255
CALIBRAÇÃO DE MEDIDORES DE VAZÃO COM ALTAS VAZÕES E VISCOSIDADES ELEVADAS: UMA ALTERNATIVA TÉCNICA À LEGISLAÇÃO BRASILEIRA DE ROYALTIES E PARTICIPAÇÕES ESPECIAIS	
Carlos Eduardo Ribeiro de Barros Barateiro Romulo Carlos da Silva Emerik	
DOI 10.22533/at.ed.37119030428	
SOBRE A ORGANIZADORA	271

COMPÓSITO DE NANOCELULOSE BACTERIANA E NANOTUBOS DE CARBONO

Guilherme Colla

Universidade Federal de Santa Catarina
Florianópolis – SC

Vinícius Heidemann de Souza

Universidade Federal de Santa Catarina
Florianópolis – SC

Fernanda Vieira Berti

Universidade Federal de Santa Catarina
Florianópolis – SC

Luismar Marques Porto

Universidade Federal de Santa Catarina
Florianópolis – SC

RESUMO: A nanocelulose bacteriana (BNC) e os nanotubos de carbono (NTCs) possuem propriedades que instigam o uso desses materiais na área biomédica. No entanto, a utilização de dispositivos biomédicos contendo NTCs precisa ser acompanhada de estudos de citotoxicidade e biocompatibilidade. Foram produzidas membranas de BNC e de BNC+NTCs que indicaram visualmente a incorporação dos NTCs na membrana de BNC. As amostras também foram analisadas quanto à sua microestrutura, citotoxicidade e condutividade elétrica. Quanto à microestrutura do compósito de BNC+NTCs pode-se notar a incorporação e adesão superficial dos NTCs na membrana de BNC. A concentração de NTCs usada no inóculo

demonstrou não ser citotóxica em linhagem de fibroblastos L929 e conseguiu-se atingir uma condutividade elétrica de $0,00040 \text{ S}\cdot\text{cm}^{-1}$ o que aponta que o método utilizado para obtenção do compósito pode ser um método alternativo para obtenção de compósitos eletroativos com base em BNC.

PALRAVAS-CHAVE: Nanocelulose bacteriana; Nanotubos de carbono; citotoxicidade; condutividade elétrica; compósitos eletroativos.

ABSTRACT: Bacterial nanocellulose (BNC) and carbon nanotubes (NTCs) have properties that instigate the use of these materials in biomedical area. However, the use of biomedical devices containing NTCs needs to be followed by cytotoxicity and biocompatibility studies. BNC and BNC+NTC membranes were produced which visually indicated the incorporation of NTCs into the BNC membrane. The samples were also analyzed for their microstructure, cytotoxicity and electrical conductivity. Regarding the microstructure of the BNC+NTC composite, the incorporation and superficial adhesion of the NTCs into the BNC membrane was noted. The concentration of NTCs used in the inoculum was shown to be non-cytotoxic in L929 fibroblast lineage and an electrical conductivity of $0.00040 \text{ S}\cdot\text{cm}^{-1}$ was achieved, aiming that the method used to obtain the composite may be an alternative method for

obtaining of electroactive composites based on BNC.

KEYWORDS: Bacterial nanocellulose; Carbon nanotubes; cytotoxicity; electrical conductivity; electroactive composites.

1 | INTRODUÇÃO

A nanocelulose bacteriana (BNC) possui propriedades físico-químicas interessantes para o seu uso na área biomédica em diversas aplicações, propriedades como capacidade de reter água, resistência à tração e rigidez, cristalinidade, porosidade, formação de uma rede de nanofibras, afinidade biológica e a possibilidade de ser modelada em diferentes estruturas tridimensionais por meio de seu modo de cultivo (Yan *et al.*, 2008). O uso da BNC em aplicações como biomaterial condutor ou dispositivo elétrico é impedido devido a algumas de suas características quando pura, tais como não possuir condutividade elétrica e magnetismo. À vista disso, melhorias devem ser estudadas para que o biomaterial possa se adequar a esse tipo de aplicações. (Erbas *et al.*, 2016)

Nanotubos de carbono (NTCs) são nanomateriais considerados parcialmente unidimensionais com elevadas propriedades mecânicas e elétricas. Dessa forma, os NTCs são estudados na área biomédica para aplicações como biosensores, *scaffolds*, dispositivo de liberação de fármacos, entre outros. No entanto, a utilização de dispositivos biomédicos contendo NTCs precisa ser acompanhada de estudos de citotoxicidade e biocompatibilidade. (Park *et al.*, 2009; Yan *et al.*, 2008) A viabilidade celular, por exemplo, está relacionada à atividade mitocondrial das células e indica, caso estudada em um biomaterial, a citotoxicidade do mesmo, podendo ser avaliada por diferentes métodos como a técnica fotocolorimétrica utilizando-se o reagente MTT. O MTT é um sal de tetrazólio que reduzido a um derivado formazan de cor roxa, devido à atividade oxidativa, indica a existência de função mitocondrial e, por conseguinte, a viabilidade celular (Montes-Fonseca *et al.*, 2012).

Considerando o contexto até aqui apresentado, o trabalho tem como objetivo a produção de um compósito de BNC e NTCs assim como a análise de sua estrutura, citotoxicidade dos NTCs e condutividade elétrica do compósito.

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Produção das membranas BNC+NTCS

As membranas foram preparadas em placas de 24 poços com 1 cm de diâmetro estéreis e 1 mL de inóculo da bactéria *Gluconacetobacter hansenii* em meio manitol (25 g·L⁻¹ de manitol, 5 g·L⁻¹ de extrato de levedura e 3 g·L⁻¹ de peptona bacteriológica). O inóculo é preparado no próprio meio de cultura com um pré-inóculo de 10% do volume total onde são suspensas as bactérias até que o pré-inóculo possua aproximadamente

0,150 de absorvância no espectrofotômetro no comprimento de onda de 660 nm. A uma parte do inóculo também foi adicionado 0,05 mg·mL⁻¹ de NTCs comercial marca Bayer Materials Science. O crescimento bacteriano aconteceu em condição estática a temperatura ambiente durante 12 dias. Depois de 7 dias de cultivo, as membranas foram purificados em solução 0,1 mol·L⁻¹ de NaOH a 50 °C e após esse período as membranas foram lavadas com água destilada até que pH da água de enxágue fosse equivalente ao da água usada na lavagem. Esterilizou-se o material em autoclave (121 °C e 1,1 atm). As membranas de BNC obtidas, tanto com e sem NTCs, foram analisadas em microscopia eletrônica de varredura (MEV).

2.2 Teste de citotoxicidade

O protocolo utilizado neste experimento segue o que foi determinado pelo Órgão Internacional de Padronização (International Standard Organization - ISO 10993), sendo que o ensaio in vitro é o primeiro teste para avaliar a bioatividade de qualquer substância para uso em dispositivos biomédicos.

Células de fibroblasto murino da linhagem L-929, na densidade de 2500 células por poço, foram incubadas em placas de cultura de 96 poços, contendo 100 µL por poço de meio *Dulbecco's modified Eagle's medium* (DMEM) suplementado com 10% de soro fetal bovino (Gibco, BRL), 2 mM de L-glutamina, 4,5 g·L⁻¹ de glicose, 1,5 g·L⁻¹ de bicarbonato de sódio, 10 mL de penicilina e estreptomicina e colocadas em estufa com atmosfera contendo 5% de CO₂, à temperatura de 37 °C. No grupo controle as células foram tratadas apenas com meio de cultura. Após as 24 horas iniciais de incubação o meio de cultura DMEM foi removido e as células foram tratadas com concentrações crescentes de NTC. Foram utilizadas cinco concentrações de NTC puro (0,01, 0,05, 0,1, 1 e 10 mg·mL⁻¹), todas dispersas em meio de cultura DMEM. Após 48 horas, as soluções foram removidas dos poços e a cada poço foram adicionados 100 µL de uma solução 5 mg·mL de reagente MTT (brometo de 3-[4,5-dimetil-tiazol-2-il]-2,5-difeniltetrazol) em meio de cultura DMEM, a fim de observar a atividade mitocondrial das células viáveis. As células foram novamente incubadas por 2,5 horas à temperatura de 37 °C. Logo após a remoção desses reagentes, foram adicionados 200 µL de solução dimetilsulfóxido (DMSO) por poço. A absorvância a 570 nm foi determinada em um leitor de microplacas automático. Os resultados foram expressos em porcentagem, assumindo o controle (0% de NTC) como 100% de atividade metabólica.

2.3 Teste de condutividade elétrica

Para o teste de condutividade elétrica utilizou-se o método padrão quatro pontas onde uma corrente foi aplicada entre dois terminais externos, com uma fonte de tensão DC Keithley, modelo 6220. A diferença de potencial foi medida entre os terminais internos, com um eletrômetro da Keithley, modelo 6517A. O compósito foi posicionado entre os terminais externos para a medida da diferença de potencial, alterando-se a

corrente no equipamento. A condutividade elétrica foi calculada a partir da Equação 1, substituindo-se os valores de corrente e diferença de potencial.

$$\sigma = \frac{I}{V} \times \frac{1}{d} \times \frac{\ln 2}{\pi} \quad (1)$$

Na Equação 1, σ é a condutividade elétrica em $S \cdot cm^{-1}$; I é a corrente elétrica, em A; d é a espessura da amostra em cm; V é a Diferença de Potencial em V; e $\ln 2/\pi$ é o fator de correção.

3 | RESULTADOS DE DISCUSSÃO

3.1 Produção das membranas BNC+NTCS

As membranas geradas pelos inóculos podem ser observadas na Figura 1 (a), assim como as micrografias de MEV realizadas (b).

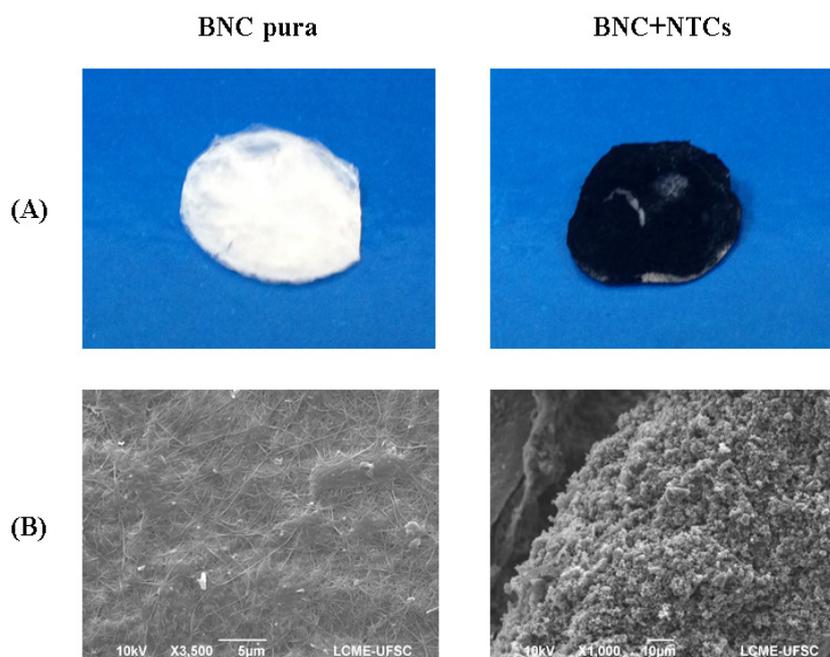


Figura 1 – (a) Imagem macroscópica da BNC e BNC+NTCs (b) micrografia das membranas.

O aspecto visual das membranas de BNC pura e BNC+NTCs divergiu bastante. A membrana de BNC pura possui cor esbranquiçada e espessura fina enquanto a membrana de BNC+NTCs possui cor preta e espessura semelhante à membrana de BNC pura. A cor preta deve-se à incorporação dos NTCs na estrutura tridimensional da membrana, principalmente na superfície porosa que ficou em contato com o meio de cultivo contendo NTCs.

Em relação à microestrutura das membranas observadas nas micrografias pode-se perceber que a de BNC apresentou a estrutura de uma rede de alta densidade de fibras livremente orientadas, como a conhecida pela literatura (Godinho *et al.*, 2015).

A microestrutura das membranas de BNC+NTCs apresentou uma forma fragmentada em toda a superfície, à qual foi atribuída aos NTCs aderidos superficialmente por toda a extensão da membrana.

3.2 Teste De Citotoxicidade

A Figura 2 mostra os resultados de viabilidade celular das células L929 cultivadas em contato direto com as membranas de BNC e BNC+NTCs para as diversas concentrações de NTCs estudadas.

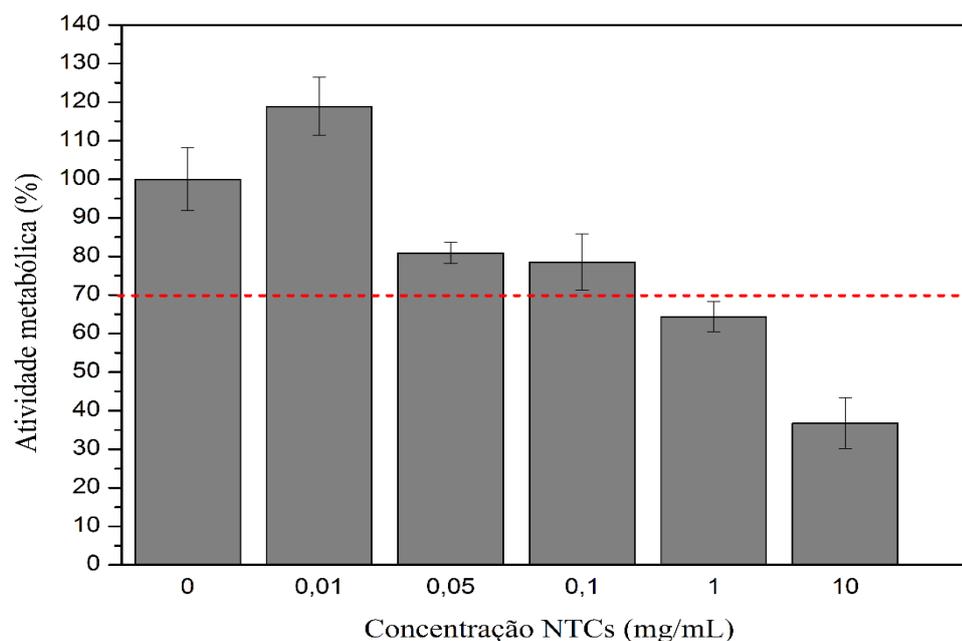


Figura 2 – Resultado da atividade metabólica dos fibroblastos L929, alterando-se as concentrações de NTCs após 24h de exposição.

No gráfico a linha vermelha representa o 70% de viabilidade celular, sendo que todas as concentrações em que a viabilidade celular excedeu os 70% são consideradas não citotóxicas, e ainda na concentração de 0,01 mg·mL⁻¹ houve um estímulo no crescimento das células quando comparados com o controle positivo. Considerando-se o método testado, a concentração de 0,05% utilizada para a produção das membranas é considerada não citotóxica. Os NTCs apresentaram toxicidade a partir da concentração de 0,1 mg·mL⁻¹ após 24h de exposição. Além disso, sabe-se que a atividade metabólica das células L929 em BNC pura não excede o valor de 70% (Godinho *et al.*, 2015).

3.3 Teste de condutividade elétrica

A Tabela apresenta valores de compósitos de nanocelulose bacteriana e suas respectivas condutividades. O teste realizado resultou em uma condutividade média de 0,00040 S·cm⁻¹ para o compósito de BNC+NTCs.

Compósito	Método de produção	Auxiliar de processo	Condutividade Elétrica (S·cm ⁻¹)	Referência
BNC com 0,02%(m/v) NTCs	Adsorção de NTCs	Sulfactante (CTAB)	0,000037	Zhang <i>et al.</i> , 2012
BNC com 0,05 mg·mL⁻¹ de NTCs	Dispersão dos NTCs no inóculo	Nenhum	0,00040	Presente trabalho
BNC com 9,6% (m/v) de NTCs	Imersão da BNC em uma dispersão de NTCs	Sulfactante (CTAB)	0,14	Yoon <i>et al.</i> , 2006
BNC com 8,32% (m/v) de NTCs	Dispersão dos NTCs na superfície da BNC	Propanossulfonato e alginato de sódio	0,189	Fugetsu <i>et al.</i> , 2008.

Tabela 1 – Comparação entre a condutividade elétrica do presente trabalho e de outros que constam na literatura.

Considerando a baixa complexidade do método utilizado, o fato de que não se adiciona nenhum auxiliar de processo, e a concentração utilizada de NTCs, que demonstrou não ser citotóxica, obteve-se uma condutividade elétrica baixa, mas considerável em relação aos outros métodos.

4 | CONCLUSÕES

O compósito de Nanocelulose Bacteriana e Nanotubos de Carbono foi produzido com sucesso através da produção *in situ* de membranas de BNC associadas com NTCs. As membranas demonstraram a incorporação dos NTCs, principalmente na superfície, através das análises de MEV pode-se notar a presença dos NTCs aderidos uniformemente à microestrutura do BNC.

Acitotoxicidade dos NTCs foi totalmente dependente da concentração. A utilização de NTCs na proporção de 0,05 mg·mL⁻¹ demonstrou não ser citotóxica para as células L929 após 24h de cultivo. O compósito apresentou uma condutividade elétrica de 0,0004 S·cm⁻¹, o que aponta que o método utilizado para obtenção do compósito pode ser um método alternativo para obtenção de compósitos eletroativos com base em BNC.

REFERÊNCIAS

ERBAS, E.; KIZILTAS, A.; RHODES, K.; EMANETOGLU, N. W.; BLUMENTRITT, M.; GARDNER, D. J. **Electrically conductive nano graphite-filled bacterial cellulose composites**. Carbohydrate Polymers, v. 136, 1144–1151, 2016.

FUGETSU, B.; SANO, E.; SUNADA, M.; SAMBONGI, Y.; SHIBUYA, T.; WANG, X. S. **Electrical conductivity and electromagnetic interference shielding efficiency of carbon nanotube/cellulose composite paper**. Carbon, v. 46, 1256–1258, 2008.

GODINHO, J. F.; BERTI, F. V.; MÜLLER, D.; RAMBO, C. R.; PORTO, L. M. **Incorporation of Aloe vera extracts into nanocellulose during biosynthesis**. Cellulose, v. 23(1), 545-555, 2016.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, “**Biological Evaluation of Medical Devices. Part 5: Tests for In Vitro Cytotoxicity**” ISO 10993–5., vol. 5, pp. 1 – 52, 2009.

MONTES-FONSECA, S. L.; ORRANTIA-BORUNDA, E.; AGUILAR-ELGUEZABAL, A.; HORTA, C. G.; TALAMÁS-ROHANA, P.; SÁNCHEZ-RAMÍREZ, B. **Cytotoxicity of functionalized carbon nanotubes in J774A macrophages. Nanomedicine: Nanotechnology, Biology, and Medicine**, v. 8(6), 853–859, 2012.

PARK, W.; KIM, H.; KWON, S.; HONG, Y.; JIN, H.. **Synthesis of bacterial celluloses in multiwalled carbon nanotube-dispersed medium. Carbohydrate Polymers**, v. 77(3), p. 457–463, 2009.

YAN, Z.; CHEN, S.; WANG, H.; WANG, B.; JIANG, J. (2008). **Biosynthesis of bacterial cellulose / multi-walled carbon nanotubes in agitated culture. Carbohydrate Polymers**, v. 74, p. 659–665, 2008.

YOON, S. H.; JIN, H. J.; KOOK, M. C.; & PYUN, Y. R. **Electrically conductive bacterial cellulose by incorporation of carbon nanotubes. Biomacromolecules**, v. 7, 1280–1284, 2006.

ZHANG, X.; LIU, X.; ZHENG, W.; ZHU, J. **Regenerated cellulose/graphene nanocomposite films prepared in DMAC/LiCl solution. Carbohydrate Polymers**, v. 88, 26–30, 2012.

SOBRE A ORGANIZADORA

CARMEN LÚCIA VOIGT Doutora em Química na área de Química Analítica e Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela Universidade Estadual de Ponta Grossa. Especialista em Química para a Educação Básica pela Universidade Estadual de Londrina. Graduada em Licenciatura em Química pela Universidade Estadual de Ponta Grossa. Experiência há mais de 10 anos na área de Educação com ênfase em avaliação de matérias-primas, técnicas analíticas, ensino de ciências e química e gestão ambiental. Das diferentes atividades desenvolvidas destaca-se uma atuação por resultado, como: supervisora de laboratórios na indústria de alimentos; professora de ensino médio; professora de ensino superior atuando em várias graduações; professora de pós-graduação *lato sensu*; palestrante; pesquisadora; avaliadora de artigos e projetos; revisora de revistas científicas; membro de bancas examinadoras de trabalhos de conclusão de cursos de graduação. Autora de artigos científicos. Atuou em laboratório multiusuário com utilização de técnicas avançadas de caracterização e identificação de amostras para pesquisa e pós-graduação em instituição estadual.

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-7247-237-1

