

AVALIAÇÃO DE SEGURANÇA AMBIENTAL DE CAPACITORES ELÉTRICOS DE CAMADA DUPLA RECOBERTOS POR MWCNT

Natália de S. B. de Almeida¹;
Lenon Henrique Costa²;
Elisabeth Pelosi Teixeira³;
Sílvia Pierre Irazusta⁴

Aluna de Graduação em Tecnologia em Sistemas Biomédicos¹;
Doutorando da faculdade de Engenharia Elétrica e da Computação - Unicamp Doutorando²;
Professor co-orientador FATEC Sorocaba (elisabeth.pelosi@gmail.com)³;
Orientadora da FATEC Sorocaba (silvia.pierre@hotmail.com)⁴

Área do conhecimento: Ecotoxicologia/Biotecnologia

Palavras-chave: Eletrodos de dupla camada (EDLC); nanotubos de carbono de parede múltipla (MWCNTs); Ecotoxicidade; *Raphidocelis subcapitata*; *Escherichia coli*.

INTRODUÇÃO

O Brasil possui um grande desafio nas próximas décadas para buscar soluções que atendam aos crescentes requisitos de serviços de energia e satisfazer critérios de sustentabilidade, economia, saúde e acesso universal. Os EDLC's são dispositivos de armazenamento de energia baseados na carga e descarga de interfaces eletrodo-eletrólito de materiais de alta superfície, como os MWCNT (nanotubos de carbono de parede múltipla.) (LU, 2013). Os MWCNT constituem uma das classes mais promissoras da nanotecnologia (PETERSEN *et al.*, 2012). Eles são compostos de extensões de átomos de carbono sp² dispostos em anéis de benzeno fundidos. Suas estruturas dão propriedades materiais excepcionais, tendo aplicações em materiais compósitos, sensores, células de armazenamento de energia, além de várias aplicações ambientais (DILLON *et al.*, 1997; SNOW *et al.*) Ainda que demonstrem grande aplicabilidade, ainda existem poucos estudos referentes aos possíveis impactos desses dispositivos no meio ambiente. Os produtos contendo nanomateriais podem gerar resíduos de fabricação, descarte e outros fatores prejudiciais.

OBJETIVOS

O projeto em questão teve como objetivo analisar os potenciais efeitos tóxicos dos nanotubos de carbono de parede múltipla (MWCNTs) em ambientes aquáticos utilizando o bioensaio com algas da espécie *Raphidocelis subcapitata* e também o modelo de avaliação microbiológica utilizando *Escherichia coli*.

METODOLOGIA

Amostra do eletrodo de carbono microporoso - capacitor elétrico de camada dupla (EDLC)

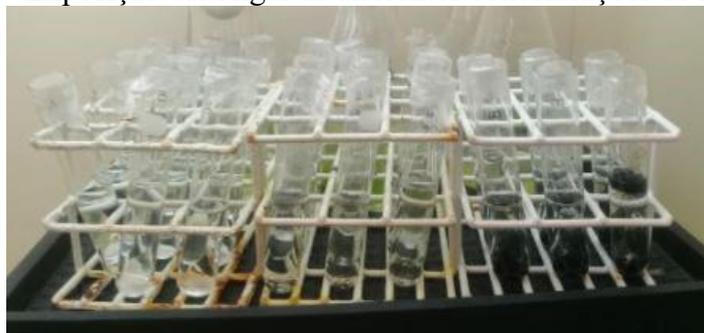
Os capacitores foram imersos em 30 ml de H₂O ultrapura sob agitação por 2 horas, até dispersão completa dos NTC na água. Após este tempo, as moedas de aço inoxidável que foram suporte para a deposição foram retiradas e o conteúdo foi transferido para um balão volumétrico de 50 ml e seu volume foi completado. A concentração final desta solução foi de 100 mg/L⁻¹. A partir da mesma, foram preparadas diluições para obter as seguintes concentrações: 10 mg/L¹, 1 mg/L⁻¹ e 0,1 mg/L⁻¹.

Ensaio de toxicidade com a alga *Raphidocelis subcapitata*.

Os EDLCs foram construídos no Carbon Sci-Tech Labs da FEEC-Unicamp. A cultura das algas foi cedida pelo Laboratório De Saneamento - Labsan, - FEC – Unicamp. O bioensaio seguiu o protocolo da Environmental Canada EPS1/ RM/ 25 (1992), onde as algas da espécie *Raphidocelis.subcapitata*

foram expostas a uma dissolução de carbono microporoso das “moedas” dos capacitores EDLC, nas concentrações de 0,1; 1,0; 10 e 100 mg/L⁻¹ em volume de 2,5 mL de água tamponada. A figura 4 ilustra a montagem do experimento. Após 72 horas determinou-se a biomassa algal, por meio da contagem em câmara Neubauer. As amostras foram preparadas em triplicata e as médias das contagens são comparadas pelo teste “t” de *Student*, assumindo 95% como intervalo de confiança.

Figura 1 – Exposição das Algas às diferentes concentrações de MWCNT.



Fonte: Autora.

Ensaio de toxicidade com modelo bactericida utilizando *Escherichia coli*.

Em um tubo de 5 mL de PBS estéril, foi preparado a suspensão mãe com turvação correspondente a escala 2 de McFarland (6 x 10⁸ bact/mL). 2,5 mL desta suspensão mãe foi transferida para um tubo contendo 10 mL de meio quimicamente definido (MQD) chegando a escala 0,5 de McFarland (1,5 x 10⁸ bact/mL). A partir da escala 0,5 de McFarland foi realizado a diluição bacteriana da *E. coli* em 10⁻¹; 10⁻² e 10⁻³. Na diluição 10⁻¹ foi transferido 400 µL turvação 0,5 de McFarland em 3,6 mL do meio quimicamente definido estéril. Na diluição 10⁻² foi transferido 400 µL da diluição 10⁻¹ em 3,6 mL do MQD estéril e a diluição 10⁻³ foi feito o mesmo procedimento transferindo da solução 10⁻². Os tubos contendo as diluições foram então expostas ao MWCNT das amostras obtidas da dissolução de carbono microporoso das “moedas” dos capacitores EDLC, nas concentrações 0,1; 1,0; 10 e 100 mg/L⁻¹. Os tubos foram mantidos por 2 horas em estufa bacteriológica 37°C. Após 2 horas, 1 mL das diluições foi vertida em placa petri estéril e vertido 20 mL de PCA (*Plate Count Agar*) realizando a técnica de *pour plate*. As placas retornam novamente para a estufa e após 24 horas foi feita a contagem em contador de colônia.

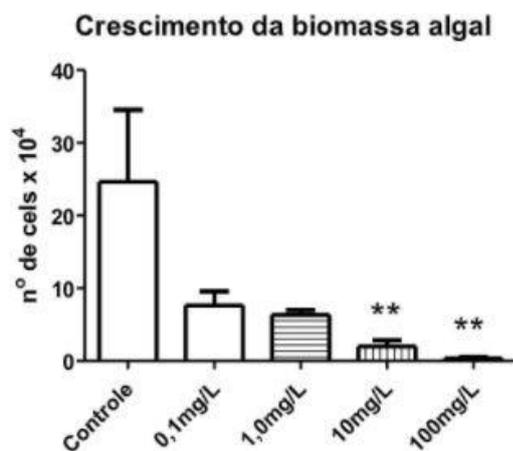
RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ensaio de toxicidade da interação MWCNT com *Raphidocelis subcapitata*.

Na figura 2 estão representadas as contagens da célula após 72 horas de exposição. O ensaio de toxicidade mostrou que houve uma inibição dependente da dose a partir de 10 mg/L¹, isto é, quanto maior a dose, maior a inibição.

Estudos semelhantes a este foram realizados por este grupo, com o bioindicador aquático *R. subcapitata*. GOMES *et al.*(2018) estudaram a toxicidade de MWCNTs sintetizados por técnica de deposição por arco elétrico, com resultados semelhantes aos deste trabalho, isto é, as concentrações tóxicas estavam acima de 10 mg/L⁻¹ e portanto, sem relevância ambiental. FERREIRA (2019) observou as mesmas respostas das algas expostas ao óxido de grafeno reduzido (rGO), outra nanopartícula carbonácea, nas mesmas concentrações. Nestes dois últimos trabalhos, também foi demonstrada a interação das células algais com as nanopartículas, incluindo sua internalização, visualizada por meio de microscopia eletrônica de transmissão (MET).

Figura 2 – Crescimento da Biomassa algal. **p< 0,05.



Fonte: Autora

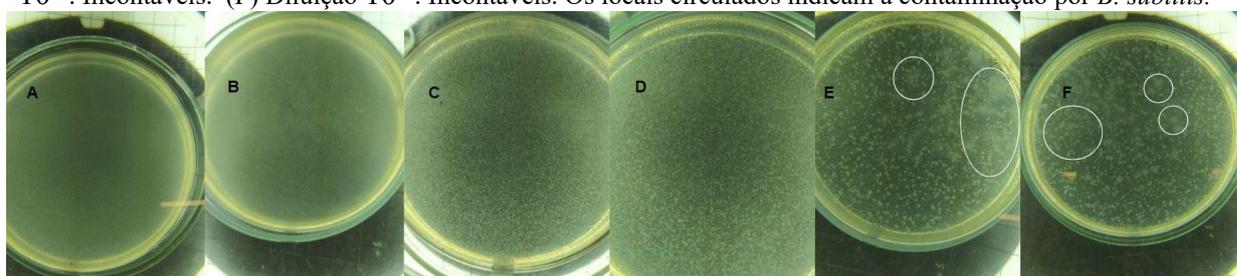
Ensaio de toxicidade da interação MWCNT com a bactéria *Escherichia coli*.

Na primeira realização do experimento, usamos todas as concentrações do MWCNT (0,1; 1,0; 10 e 100 mg/L⁻¹). Porém como não houve diferença, decidimos escolher uma concentração intermediária que seria uma referência para desenhar os próximos experimentos. A concentração que utilizamos foi o de 10 mg/L⁻¹.

A Diluição da cultura de 10⁻¹, exposta aos nanotubos nos forneceu uma quantidade incontável de colônias, de tal forma que as colônias ficaram emendadas, sem diferença do controle (figura 3 A e B). Na diluição 10⁻² exposta ao MWCNT nas concentração de 10 mg/L⁻¹ também houve quantidade incontável de colônias, porém já foi possível individualizá-las.

Também aqui não houve diferença em relação ao controle (Figura 3 C e D). Se conclui que o MWCNT não teve efeito tóxico sobre esta cepa de bactéria. No teste com a diluição de 10⁻³ das bactérias houve contaminação indesejada (Figura 3 E). Esta colônia do tipo ramificada/rizoide é muito típica do gênero *Bacillus subtilis*. E este gênero é muito comum no solo e pode ter sido transferido a partir da poeira. Este fato pode ser decorrente deste período de estiagem intensa que possibilita a suspensão de partículas no ar. A diluição 10⁻³ exposta ao MWCNT de 10 mg/L⁻¹ também parece ter sido contaminada, entretanto o resultado foi igual aos anteriores (Figura 3 F).

Figura 3 – Placas Petri em contador de colônia. (A) Controle da diluição 10⁻¹. Incontáveis. (B) Diluição 10⁻¹. Incontáveis. (C) Controle da diluição 10⁻². Incontáveis. (D) Diluição 10⁻². Incontáveis. (E) Controle da diluição 10⁻³. Incontáveis. (F) Diluição 10⁻³. Incontáveis. Os locais circulos indicam a contaminação por *B. subtilis*.



Fonte: Autora

CONCLUSÕES

Ensaio de toxicidade da interação MWCNT com *Raphidocelis subcapitata*.

Considerando-se os resultados obtidos, o ensaio revelou que nas concentrações 0,1 e 1,0 ppm ou mg/L-1 do MWCNT, não foi observada toxicidade significativa. Já nas concentrações de 10 e 100 mg/L-1 do MWCNT houve toxicidade, resultando na inibição do crescimento algal. Conclui-se então que, mesmo

que haja inibição significativa, essas concentrações de 10 e 100 mg/ L-1 dos MWCNT são seguras do ponto de vista ecotoxicológico, visto que não possuem relevância ambiental. Entretanto, apesar da ausência de toxicidade, é possível haver interação das nanopartículas com as células algais

Ensaio de toxicidade da interação MWCNT com a bactéria *Escherichia coli*.

Considerando-se os resultados obtidos a partir dos ensaios das exposições da *E. coli* ao MWCNT, conclui-se que os MWCNTs não modificam o desenvolvimento das culturas de *E. coli*, nas condições estudadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DILLON, A. C.; JONES, K. M.; BEKKEDAHL, T. A.; KIANG, C. H.; BETHUNE, D. S.; HEBEN, M. J. **Storage of hydrogen in single-walled carbon nanotubes.** *Nature*, v. 386: 377-379, 1997.

FERREIRA, M. S. **Possível Interação de óxido de grafeno reduzido com *Raphidocelis subcapitata*: Análise Ultraestrutural.** Trabalho de conclusão de curso, 2018. 1-29 p. Curso de Tecnologia em Sistemas Biomédicos, Fatec Sorocaba José Crespo Gonzales, 2018. Disponível em: <http://www.fatecsorocaba.edu.br/iniciacao/Relatorio-Marjorie-Ferreira.pdf>. Acesso em: 01 out. 2020.

GOMES, A. L. S.; BALSAM, P. J.; SPROGIS, A.; CERAGIOLLI, H. J.; SILVA, T. N.; OLIVEIRA, E. C.; CACURO, T. A.; IRAZUSTA, S. P. **Avaliação de toxicidade de nanotubos de carbono de parede múltipla (MWCNT).** *Boletim Técnico da Faculdade de Tecnologia de São Paulo.*, v. 45, p. 16-22, 2018.
LU, M. **Supercapacitors: materials, systems and applications.** Wiley, New York, 2013. p. 236.

PETERSEN, E.J.; HENRY, E. B. **Methodological considerations for testing the ecotoxicity of carbon nanotubes and fullerenes: review.** *Environ. Toxicol. and Chem.*, 31 (1): 60–72, 2012.

SNOW, E. S.; PERKINS, F. K.; HOUSER, E. J.; BADESCU, S. C.; REINECKE, T. L.; **Chemical detection with a single-walled carbon nanotube capacitor.** *Science*, v. 307:1942–1945, 2005.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Hudson Zanin que gentilmente abriu seu laboratório (laboratório Carbon Sci-Tech Labs da FEEC-Unicamp) e ao doutorando Lenon Henrique Costa, aluno por nos ajudar a fazer a Espectroscopia Raman.

Agradeço também ao CNPq pela concessão da bolsa de Iniciação Científica.