



## **Desinfecção de água para consumo empregando poliamida impregnadas com nanopartículas de zinco**

**Luciano André Deitos Koslowski<sup>1</sup>  
André Lourenço Nogueira<sup>2</sup>, Adrieny Taliny Comper<sup>3</sup>, Cristiane Gracieli Kloth<sup>4</sup>,  
Silvana Licodiedoff<sup>5</sup>**

<sup>1</sup>UDESC (lucianoandre@yahoo.com)

<sup>2</sup>UNIVILLE (nogueira.a.l@hotmail.com); <sup>3</sup>UDESC (adri.comper@hotmail.com); <sup>4</sup>UDESC (cristianekloth@hotmail.com); <sup>5</sup>FURB (silvana.licoo@gmail.com)

### **Resumo**

O aumento progressivo do consumo de água potável e as condições climáticas têm intensificado a diminuição das fontes disponíveis de água doce destinada ao consumo humano. Deste modo, faz-se necessário a busca de formas alternativas para o processo de desinfecção da água, com o intuito de atender aos padrões de potabilidade exigidos para o fornecimento de água para consumo humano. O presente estudo tem por objetivo empregar Nanopartículas de zinco funcionalizadas em percentual de 3% em massa, em matriz polimérica (Poliamida 66), para desinfecção da água contaminada com a bactéria *E.coli* (organismo indicador de contaminação fecal), considerando como variáveis o tempo de residência (1, 2 ou 3h), a temperatura (25 e 35°C) e a condição de agitação ou repouso. A média dos valores em duplicata demonstram que a condição de repouso se faz mais eficaz em termos de letalidade do microrganismo indicador e que a temperatura de 35°C, para o intervalo de tempo de 3h, permite a redução da atividade microbiana em 85,99%.

Palavras-chave: nanopartículas de zinco; desinfecção da água; contaminação fecal

Área Temática: Tecnologias Ambientais

## **functionalized zinc nanoparticles impregnated in polyamide 66 supports for potable water disinfection**

### **Abstract**

The progressive increase of potable water consumption and the weather conditions have influenced the decrease of the available sources of potable water to human consumption. Thus, it is necessary to seek alternative ways of disinfecting water, with the purpose of meeting the drinkability standards required for the water supplying to the human consumption. The present study has the objective of employing functionalized zinc Nanoparticles in a 3% percentage in mass, in polymeric matrix (Polyamide 66) for disinfecting water contaminated with *E.coli* bacteria (organism indicating fecal contamination), taking into account as variables the residence time (1, 2 or 3h), the temperature (25 and 35°C) and the agitation or resting condition. The average of the values in duplicate shows that the resting condition is more efficient in terms of lethality of the indicator microorganism and that the temperature of 35°C, for the 3h time interval, allows the reduction of the microbial activity in 85.99%.



**Keywords:** nanoparticles of zinc; disinfection of water; fecal contamination

**Theme Area:** Environmental Technologies

## 1. Introdução

O planeta está enfrentando diversos desafios com o propósito de atender às demandas crescentes de água potável, tendo em vista que as fontes disponíveis de água doce estão diminuindo devido às secas prolongadas (Vorosmarty et al, 2000). Portanto, torna-se imprescindível a procura por tecnologias alternativas a fim de atender os padrões de potabilidade da água requeridos para o consumo humano, impostos pela Portaria MS 2.914/2011. O estudo em questão tem como proposta avaliar a atividade antimicrobiana sobre os microrganismos, notadamente a bactéria *E.coli*, um organismo indicador de contaminação fecal e que segundo a Portaria citada anteriormente, deve-se mostrar ausente na água. Desta forma, empregam-se nanopartículas de zinco funcionalizadas em percentual de 3% em massa sobre uma matriz polimérica (Poliamida 66).

O óxido de zinco constitui um importante material industrial e atualmente tem despertado interesse por apresentar uma combinação de propriedades físicas, como a condutividade elétrica e térmica, absorção óptica no ultravioleta e estabilidade em temperaturas elevadas, químicas, por meio da estabilidade em pH neutro, e biológica com ação antibacteriana. Os atributos do óxido de zinco são bastante relevantes, com destaque para as propriedades antifúngicas e pela capacidade de destruição seletiva de células tumorais (Mishra, 2011). O mecanismo proposto para a atividade antibacteriana do óxido de zinco sugere três possíveis caminhos: a) interação química entre o ZnO e componentes da membrana celular da bactéria; b) interação física entre as nanopartículas de ZnO e a membrana celular da bactéria; c) combinação sinérgica da interação química e física (Mishra, 2011).

## 2. Materiais e Métodos

### 2.1. Obtenção das Nanopartículas de zinco

As sínteses das nanopartículas de óxido de zinco foram realizadas através da dissolução de acetato de zinco di-hidratado em monoetileno glicol, sob controle de temperatura (200°C) e agitação constante. O sistema foi mantido nestas condições por 180 minutos e, ao término da reação, o produto foi diluído em acetona e a separação foi dada por meio da centrifugação. Na etapa seguinte, procedeu-se a secagem em estufa a 70°C por 24 horas. Na etapa final, o pó resultante de coloração branca foi utilizado como aditivo antibacteriano incorporado nas matrizes de poliamida 66 para produção dos pellets, conforme apresentado na Figura 1, e estes foram utilizados para desinfecção da água.

Figura 1: Produção por extrusão da poliamida 66 suportadas com ZnNPs.





Para a caracterização do óxido de zinco sintetizado, foi adicionado 0,1 mL de amostra de ZnO seco e diluído em 8,0 mL de etilenoglicol, e analisado por 3 vezes em um espectrofotômetro (Cary Bio UV/Vis Varian) permitindo comparar a radiação transmitida ou absorvida pela solução empregando uma cubeta de quartzo com caminho ótico de 10 mm.

## 2.2. Ensaios microbiológicos

Os *pellets* funcionalizados, obtidos por meio da impregnação do pó na matriz polimérica, foram submetidos aos ensaios microbiológicos a fim de avaliar a atividade antimicrobiana do mesmo. Para a análise quantitativa fez-se uso da metodologia de contagem do Número Mais Provável (NMP) proposta no *Standard Methods* ASTM 9222D, empregando a bactéria *E.coli* como bioindicador de contaminação fecal e mensurando os efeitos das nanopartículas de zinco na taxa de letalidade destes organismos. A bactéria *Escherichia coli* foi selecionada para os ensaios por estar diretamente relacionada com problemas de saúde gerados pelo consumo de água contaminada. A análise de controle foi realizada empregando frascos estéreis graduados, com capacidade para 100 mL, flaconetes com meio de cultura Colilert®-18, cartelas estéreis com 97 cavidades e seladora Quanti-Tray, marca IDEXX.

Realizou-se o ensaio de quantificação da eficiência dos *pellets* funcionalizados por meio da inserção de 0,5 g destes em 100 ml de água deionizada estéril. Para a preparação do inóculo, utilizou-se o microrganismo *Escherichia Coli*, solubilizando 0,8 g de ágar bacteriológico em 100 mL de água destilada. Nessa solução, após seu resfriamento, foi adicionada em cabine de segurança biológica certa quantidade desconhecida de bactérias *E.coli* e em seguida, incubada por 18h na temperatura de 37°C e agitação de 130 rpm. Após o tempo de incubação, a solução apresentou coloração dourada e aspecto turvo, que visivelmente comprovou o crescimento bacteriológico. Na etapa final, adicionou-se 1 ml de solução aquosa diluída de *E.coli* e submeteu-se, em seguida, a mistura às condições apresentadas na Tabela 1, para as temperaturas de 25 e 35°C, respectivamente.

Tabela 1: Ensaio microbiológicos.

Condição	Tempo de residência
Agitação	1h
Agitação	2h
Agitação	3h
Repouso	1h
Repouso	2h
Repouso	3h

As temperaturas foram padronizadas em 25 e 35°C para realização dos ensaios. A primeira temperatura em questão, 25°C, refere-se a condição de temperatura média ambiente. A temperatura de 35°C, assim como reportado por Bell e Kyriakides (1998), favorece a fase exponencial de desenvolvimento da *E.coli*, a qual é obtida na faixa de 35 a 40°C.

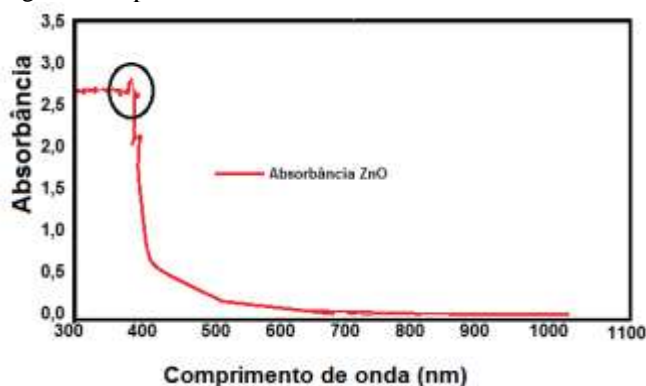
## 3. Resultados e Análise dos Resultados

### 3.1 Espectrofotometria UV-Visível



A refletância total difusa das nanopartículas de óxido de zinco empregadas neste estudo, foi mensurada para uma faixa de comprimento de onda entre 300 e 1000 nm. Conforme apresentado na Figura 2, nota-se que no intervalo de 360 e 400 nm ocorre uma absorção da radiação incidente sobre a amostra.

Figura 2: Espectro de refletância total do óxido de zinco (Do autor).



No entanto, no início da região do UV, há uma banda de absorção relativamente acentuada na faixa de 360-400 nm. Estes resultados estão de acordo com os espectros de absorção de amostras de filmes de óxido de zinco obtidos por Tezumen et al. (2013). Os espectros obtidos e apresentados na Figura 3 apresentam uma absorção acentuada na faixa de comprimento de onda de 350 a 400 nm, muito semelhante ao espectro obtido para a amostra de óxido de zinco produzido no presente trabalho. Portanto, esta análise comparada com os resultados reportados na literatura, evidencia que as amostras apresentam comportamento óptico característico do óxido de zinco.

### 3.2 Ensaios microbiológicos

Com a realização das análises é possível observar nas Tabelas 2 e 3 que a condição de repouso, com tempo de residência de 3h e temperatura de 35°C apresentou maior eficiência, demonstrada pelo decaimento bacteriano mais significativo. Os resultados demonstram que a temperatura é um dos fatores mais importantes na seleção das espécies, conforme reportado Aquino et al (2007).

Conforme recomendações da norma ASTM-2149, a Equação 1 foi utilizada para calcular a porcentagem de redução das colônias de bactérias e quantificar o potencial bactericida das nanopartículas de zinco em estudo.

$$\text{Redução \%} \left( \frac{\text{UFC}}{\text{ml}} \right) = \frac{B-A}{B} \times 100 \quad (1)$$

Onde:

A: UFC/mL na amostra contendo o agente antibacteriano;

B: UFC/mL na amostra isenta do agente antibacteriano.

Tabela 2 – Ensaios sob condição de agitação.

Tabela 2: Desinfecção da água na condição de agitação.

Condição	Temperatura	Tempo	Resultado 1	Resultado 2	NMP	% de redução
Agitação	25°C	1h	20,7	25,4	2,39	60,33
Agitação	25°C	2h	8,4	10,9	3,22	83,4
Agitação	25°C	3h	9,8	7,5	6,96	85,12
Agitação	35°C	1h	22,3	20,4	39,81	26,55
Agitação	35°C	2h	14,5	16	47,96	47,53
Agitação	35°C	3h	13,1	14,2	54,44	53,09



NMP: Número mais provável.

Tabela 3: Desinfecção da água sem sistema de agitação.

Condição	Temperatura	Tempo	Resultado 1	Resultado 2	NMP	% de redução
Sem agitação	25°C	1h	3	4,1	20,53	66,83
Sem agitação	25°C	2h	7,1	0	30,27	66,88
Sem agitação	25°C	3h	3	0	5,30	85
Sem agitação	35°C	1h	5,2	5,1	27,17	51,87
Sem agitação	35°C	2h	4,1	2	15,52	71,05
Sem agitação	35°C	3h	3,1	1	8,17	85,99

NMP: Número mais provável.

Os resultados demonstram que mesmo em baixas concentrações, o agente antibacteriano nanoestruturado sintetizado e dopado na superfície da poliamida apresentou elevada eficiência bactericida. O óxido de zinco sintetizado e utilizado neste estudo, por se encontrar na escala nanométrica de tamanho, possui uma elevada relação Área Superficial/Volume, sendo capaz de promover uma maior taxa de mortalidade de bactérias. Conforme reportado por Liu et al. (2009), nanopartículas de óxido de zinco são capazes de promover ruptura de um grande número de membranas celulares bacterianas, resultando na ruptura do conteúdo intracelular e causando a letalidade das células bacterianas.

#### 4. Conclusão

Os experimentos evidenciaram que com temperatura de 35°C, condição de repouso e tempo de residência de 3h, obteve-se redução significativa de *E. coli*, se comparada a temperatura de 25°C. Desta forma percebe-se que a interação química entre o óxido de zinco e a membrana celular da bactéria, permite que ocorra mecanismos de adsorção físico-química entre as nanopartículas de ZnO e a membrana celular da bactéria, sendo possível afirmar que o tempo de contato influencia na redução da atividade microbiana. Além disso, comprovou-se que a temperatura deve ser considerada quando o intuito é promover a seleção de espécies. Os resultados obtidos também permitiram constatar que é necessário dar sequência aos estudos, com a finalidade de atingir os padrões impostos pela Portaria vigente (MS 2.914/2011), garantindo a qualidade necessária para o abastecimento humano no quesito avaliado.

#### 5. Referências Bibliográficas

APHA. Standard methods for the examination of water and wastewater: part 9222D: microbiological examination. 19. ed. Washington, p. 9-51, 1995.

AQUINO et al. Metodologias para determinação da atividade metanogênica específica (AME) em lodos anaeróbios. Eng. sanit. ambient, n.2, vol 12, p. 192-201, 2007.

BELL, C. KYRIAKIDES, A. *E. coli* – A practical approach to the organism and its control in foods. Pratical Food Microbiology Series. London, 1998.



BRASIL. Ministério da Saúde. Procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Portaria nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011. Diário Oficial da União, Brasília, DF.

LIU Y. et al. Antibacterial activities of zinc oxide nanoparticles against *Escheria coli* O157:H7. *J Appl Microbiological*. 107(4): 1193-201, 2009.

MISHRA, Y. K. Virostatic Potential of micro-nano filopodia-like ZnO structures against herpes simplex vírus-1. *Antiviral Research*, n. 92, p. 305-312, 2011.

TEZUMEN, Ebru Senadim; ELAGOZ, Sezai; SAHIN, Hulya. Effects of Annealing on Reflectance of ZnO Grown by PFCVAD. (2013). *Fen Bilim Leri Dergis*, Turkey, v. 2, n. 25, p.41-50.

VOROSMARTY et al. Global water resources: vulnerability from climate change and population growth. *Science*. n. 289, p. 284–288, 2000.