

758 - INATIVAÇÃO DE ESCHERICHIA COLI EM ÁGUA POR TECNOLOGIA DE PLASMA NÃO-TÉRMICO

Italo César Rosa Mol⁽¹⁾

Graduando em Engenharia Ambiental

Bolsista do Programa de Educação Tutorial - Ministério da Educação

Eliza Maria da Silva

Graduanda em Engenharia Ambiental

Bolsista do Programa de Educação Tutorial - Ministério da Educação

Karoline Martins Teixeira

Graduanda em Engenharia Ambiental

Glívia Braga Faria

Mestranda pelo Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental

Marina de Medeiros Machado

Professora adjunta do Departamento de Engenharia Ambiental

Endereço⁽¹⁾: Universidade Federal de Ouro Preto: Campus Morro do Cruzeiro, s/n - Bauxita - Ouro Preto - MG - CEP: 35400-000 Email: italo.mol@aluno.ufop.edu.br

RESUMO

Este estudo tem como objetivo avaliar o desempenho de um reator de plasma frio não térmico (PNT) em relação à inativação de *Escherichia coli* e às propriedades físicas e químicas da água tratada. A tecnologia de PNT tem sido considerada uma alternativa promissora e ambientalmente correta para a desinfecção da água, devido à sua capacidade de inativar microrganismos patogênicos sem a geração de subprodutos. Neste estudo, serão avaliados três parâmetros operacionais do reator: fluxo de gás, tensão aplicada e tempo. Espera-se estabelecer correlações entre cada um desses parâmetros e a inativação de *E. coli*, bem como com as propriedades físicas e químicas da água tratada. Os resultados deste estudo contribuirão para o avanço da pesquisa em desinfecção de água e para o desenvolvimento da tecnologia de plasma frio, além de fornecer informações valiosas para a implementação dessa tecnologia em escala industrial.

PALAVRAS-CHAVE: Plasma não-térmico, Desinfecção de água, *Escherichia coli*, Oxidação.

INTRODUÇÃO

A contaminação da água por microrganismos patogênicos é uma grande ameaça à saúde humana e ambiental (MURUGESAN, 2020). Os riscos para a saúde relacionados à ingestão da água contaminada podem dar-se tanto por agentes biológicos, como por bactérias ou vírus, como por derivados de poluentes químicos e efluentes industriais (ANA, 2013). A ingestão da água contaminada pode ocasionar diversos problemas de saúde, como diarreia e doenças endêmicas. Consta no Relatório da Organização das Nações Unidas que, no mundo, cerca de 829 mil pessoas morrem por complicações decorrentes do consumo de água contaminada (ONU, 2021). No Brasil, em 2019, mais de 2 mil mortes foram causadas por doenças de veiculação hídrica (BRASIL, 2019).

A Portaria nº 888/2021 do Ministério da Saúde regulamenta o controle e a vigilância da qualidade de água no país: o Art. 24 define que toda água para consumo humano deve passar por processo de desinfecção (BRASIL, 2021) e o padrão a ser alcançado é a ausência de *Escherichia coli* em uma amostra de 100 ml. Para tal, existem diferentes métodos de tratamento. O tratamento convencional inclui coagulação, floculação, sedimentação, filtração e desinfecção (LIBÂNIO, 2010); na desinfecção, são utilizadas espécies de cloro, que são adicionadas à água antes de ser distribuída à população. Tendo em vista a possibilidade de formação de subprodutos químicos na desinfecção convencional, existe um incentivo para a pesquisa em métodos alternativos, onde se destacam os processos oxidativos avançados, em que se encaixa a tecnologia de plasma não-térmico (PNT) (HASHIM, 2016).

O PNT, além de apresentar resultados eficazes, é considerado ambientalmente correto, configurando-se como um método promissor para a desinfecção da água (MURUGESAN, 2020). Sua formação ocorre quando um gás é totalmente ou parcialmente ionizado, estabelecendo um meio composto por elétrons, fótons e íons juntamente com moléculas neutras (FRIDMAN, 2008). Na água, o plasma forma espécies reativas de oxigênio (ERO), que contribuem para a purificação da água (CUBAS, 2019). A funcionalidade dos reatores PNT advém de diversos fatores, como o gás de trabalho, a tensão aplicada e outros parâmetros operacionais (BRUGGEMAN, 2009); em um estudo sobre o arranjo de eletrodos, Gallisa et al. (2022) concluíram pela precedência da geometria ponta-plano. Este projeto busca investigar a tecnologia de PNT na inativação da bactéria *E. coli* para fins de tratamento microbiológico da água.

MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia do projeto se constitui de três etapas: preparação da amostra, tratamento e análise. Na preparação da amostra foi realizada a lavagem, utilizando solução salina 0,85%, de uma placa de Petri previamente semeada com *Escherichia coli* (ATCC 25922) em ágar eosin methylene blue (EMB) e incubada a 37° por 24h. Logo após, a solução resultante foi utilizada para inocular um meio de cultivo BHI, a ser incubado a 37° por 24h. Após o cultivo, a amostra a ser tratada (PRÉ-PLASMA) foi obtida por meio de diluição até que se obtenha a concentração de 10⁷-10⁸ UFC/ml; ao final da etapa, foi aferido o pH, o OD e a condutividade da amostra PRÉ-PLASMA.

Na etapa de tratamento, cada amostra preparada é submetida a uma combinação de três parâmetros, totalizando nove ensaios. O sistema a ser utilizado é composto por um variador de tensão ligado à rede de energia do edifício, uma fonte de alta tensão e o reator ponta-plano, conectados em série (Figura 1). As combinações de parâmetros estão demonstradas na Tabela 1. A solução resultante de cada tratamento será chamada PÓS-PLASMA.

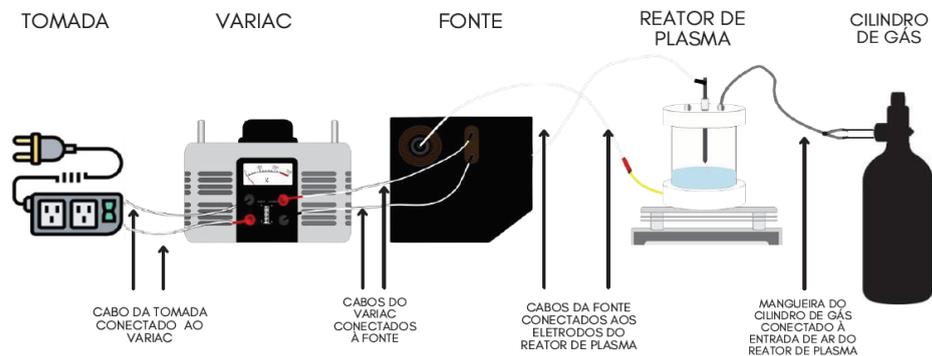


Figura 1: Configuração do sistema do reator PNT (adaptado de GALLISA et al. (2021)).

Tabela 1: Parâmetros de operação do reator PNT.

VAZÃO GÁS(1/min)	TENSÃO	TEMPO (min)
1	0,2	5
1	0,6	15
1	1	10
2	0,2	15
2	0,6	10
2	1	5
3	0,2	10
3	0,6	5
3	1	15

Nos procedimentos da etapa de análise, será realizada a aferição do pH, do OD e da condutividade da amostra PÓS-PLASMA. A quantificação de *E. coli* será realizada por meio de diluição seriada e semeaduras, de cada tubo, em triplicatas de placas de Petri com ágar EMB a serem incubadas a 37° por 24h.

RESULTADOS ESPERADOS

A pesquisa encontra-se em andamento, já com alguns resultados preliminares; ainda assim, espera-se obter a inativação total de *E. coli* em meio aquoso, em uma análise comparativa entre a concentração, em UFC/ml, da amostra antes do tratamento e após o tratamento. Espera-se que seja possível determinar correlações entre as variáveis do reator (tempo, fluxo de gás e tensão elétrica) e a inativação da bactéria. Existem evidências que demonstram a correlação de cada um dos três parâmetros sendo diretamente proporcional à inativação bacteriana; também espera-se estabelecer correlações entre as variáveis do reator e as propriedades físicas e químicas da amostra: pH, oxigênio dissolvido e condutividade elétrica; as alterações de propriedades serão obtidas por aferições antes e após o tratamento. O comportamento esperado do pH é de decrescer tanto quanto maiores forem os parâmetros do reator (tempo, fluxo de gás e tensão); o mesmo se espera do oxigênio dissolvido, enquanto a condutividade deve sofrer uma variação positiva.

Em experimentos preliminares, realizados entre abril e junho de 2022, com metodologia diferente da aqui apresentada (fluxo de argônio fixado em 1 l/min e sem a aferição de oxigênio dissolvido e condutividade elétrica), foram obtidos resultados que corroboram com as expectativas do presente estudo. A inativação de *E. coli* se mostrou diretamente proporcional à tensão aplicada e ao tempo de exposição ao plasma: 25% de inativação com 3,4 kV, em 5 min; 46% de inativação com 10,2 kV, em 10 min e 100% de inativação com 17 kV em 15 min; a tendência pode ser visualizada na Figura 2. Da mesma forma, o pH também variou proporcionalmente à tensão aplicada e ao tempo de exposição: variação de -3,3 com 3,4 kV em 5 min, variação de -3,9 com 10,2 kV em 10 min e variação de -5,6 com 17 kV em 15 min; a tendência pode ser visualizada na Figura 3. A metodologia dos testes preliminares foi descontinuada por conta de problemas procedimentais relacionados ao cultivo e ao manejo de *E. coli*.

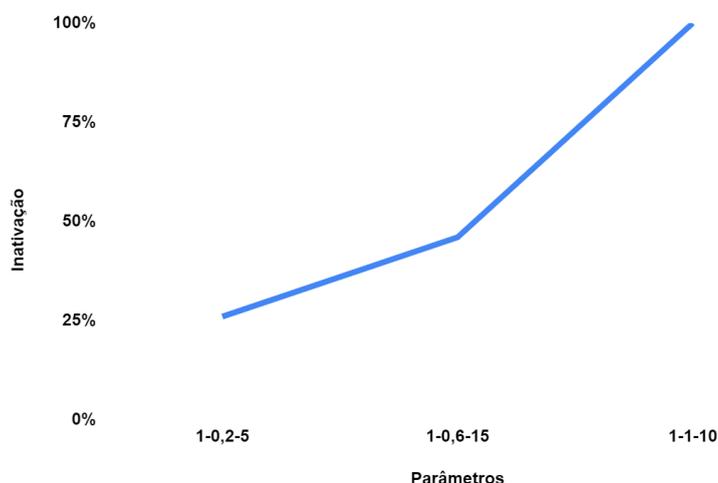


Figura 2: Inativação bacteriana versus parâmetros operacionais obtidos em experimentos preliminares.

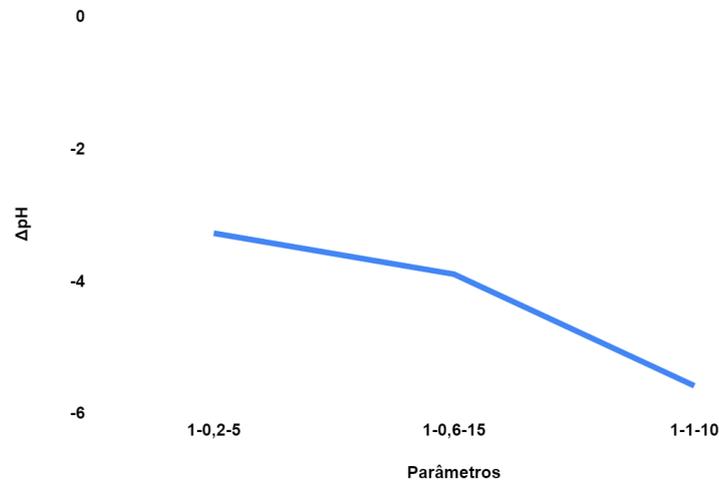


Figura 3: Variação de pH versus parâmetros operacionais obtidos em experimentos preliminares.

DISCUSSÃO DOS RESULTADOS ESPERADOS

Acredita-se que a inativação de microrganismos em meio aquoso submetido ao PNT se dê pela ação de espécies reativas de oxigênio (ERO), capazes de destruir as estruturas de proteção das células (JI et al, 2018), de modo que a quantificação da inativação é proporcional à tensão aplicada e ao tempo de exposição das amostras ao tratamento (XU et al., 2020). A acidez do meio aquoso também é um fator que contribui para a inativação bacteriana (MURUGESAN et al., 2018) e a redução do pH das soluções aquosas submetidas ao plasma é um fenômeno recorrentemente registrado na literatura científica sobre a tecnologia de PNT (WEN et al., 2016; PATANGE et al., 2018).

Cubas et al. (2019) utilizaram dois gases distintos para os experimentos: ar e argônio; os resultados obtidos levaram à conclusão de que a formação de espécies reativas de nitrogênio (ERN), mais do que de ERO, são responsáveis tanto pela diminuição de pH, como pelo aumento da condutividade elétrica. Os autores assim concluíram porque a variação dos dois parâmetros foi praticamente nula nos experimentos realizados com gás argônio. Patange et al. (2018), utilizando gás oxigênio, também explicam a redução de pH pela formação de ERN, o que propicia a formação de ácido nítrico no meio. Não obstante, Xu et al. (2020) concebem a redução de pH do meio como um resultado do mecanismo de liberação de prótons H^+ após a quebra de moléculas de água; nesse mecanismo, a atuação principal é das ROS, uma vez que a adição de antioxidantes no meio inibiu a variação da acidificação. Em complemento, HASHIM et al. (2016) obtiveram a redução da demanda química de oxigênio (DQO), mas um inesperado aumento de demanda bioquímica de oxigênio (DBO); os autores argumentaram que o incremento de DBO ocorreu pela presença de nitrato na amostra. Contudo, considerando que o decréscimo de DQO foi baixo (13%), pode-se adicionar o argumento de que o aumento de DBO pode ser um efeito da redução de OD disponível no meio, uma vez que as moléculas de oxigênio são utilizadas para a formação de ROS.

Desta forma, considerando os resultados preliminares expostos pode-se preconizar que os resultados esperados deste estudo conformar-se-ão com os resultados reportados na literatura sobre a tecnologia de plasma.

CONCLUSÕES

Sendo a qualidade da água de extrema importância para a preservação dos ecossistemas e da vida humana, faz-se necessária a busca por métodos cada vez mais avançados de desinfecção da mesma. A tecnologia de plasma frio é uma alternativa ambientalmente correta para a desinfecção de água, que promove a inativação de microrganismos patogênicos pela ação de espécies reativas de oxigênio. Neste estudo, propõe-se estudar o desempenho de um reator de PNT em três diferentes parâmetros operacionais: fluxo de gás, tensão aplicada e tempo. Espera-se determinar correlações entre cada um dos três parâmetros e a inativação de *Escherichia coli*.

Da mesma forma, espera-se obter correlações entre cada um dos três parâmetros e as propriedades físicas e químicas da água tratada; evidências da literatura científica levam a crer que haverá proporcionalidade direta entre os parâmetros do reator e a condutividade e que haverá proporcionalidade inversa entre os parâmetros e as variações de pH e oxigênio dissolvido. Portanto, o estudo contribui tanto para a pesquisa em desinfecção de água, no geral, quanto para o desenvolvimento da pesquisa sobre a tecnologia de plasma, em específico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALSHEYAB, M.; MUÑOZ, A. Comparative study of ozone and MnO₂/O₃ effects on the elimination of TOC and COD of raw water at the Valmayor station. *Desalination*, v.207, p.179-183, 2007.
2. BRASIL, M. D. S. Banco de dados do Sistema Único de Saúde-DATASUS. [S.l.]. 2019.
3. BRASIL. Res. ANA Nº 903/2013. Agência Nacional de Águas. Disponível em: <http://arquivos.ana.gov.br/resolucoes/2013/903-2013.pdf>.
4. BRUGGEMAN, P.; LEYS, C. Non-thermal plasmas in and in contact with liquids. *Journal of Physics D: Applied Physics*, v.42, n.5, p.053001, 2009.
5. CUBAS, A.; MACHADO, M.; SANTOS, J.; ZANCO, J.; RIBEIRO, D.; ANDRÉ, A.; DEBACHER, N.; MOECKE, E. Effect of chemical species generated by different geometries of air and argon non-thermal plasma reactors on bacteria inactivation in water. *Separ & Purif Tech*, v. 222, p.68-74, 2019.
6. FRIDMAN, A. *Plasma Chemistry*. New York: Cambridge University Press, 2008. 1022p.
7. GALLISA, V. do S.; GONÇALVES, F. I.; MOL, I. C. R.; FERREIRA, J. F.; MEDEIROS, M. M. de. Tratamento microbiológico de água por plasma. In: 31º Congresso da ABES. Curitiba, 2021.
8. HASHIM, S.; SAMSUDIN, F.; WONG, C.; BAKAR, K.; YAP, S.; ZIN, M. Non-thermal plasma for air and water remediation. *Archiv of Biochem & Biophysics*, v.605, p.34-40, 2016.
9. JI, S.; KI, S.; AHN, J.; SHIN, J.; HONG, E.; KIM, Y.; CHOI, E. Inactivation of *E. coli* and *Staphylococcus aureus* on contaminated perilla leaves by Dielectric Barrier Discharge (DBD) plasma treatment. *Archiv of Biochem & Biophysics*, v.643, p.32-41, 2018.
10. LIBÂNIO, M. *Fundamentos de Qualidade e Tratamento de Água*. 3. ed. Campinas, SP: Editora Átomo, 2010.
11. MURUGESAN, Pramila et al. Water decontamination of using non-thermal plasma: Concepts, applications, and prospects. *Journal of Env Chem Eng*, p. 104377, 2020.
12. ONU. O valor da água. Relatório Mundial das NU sobre Desenv. dos Recursos Hídricos, 2021.
13. PATANGE, A.; BOEHM, D.; GILTRAP, M.; LU, P.; CULLEN, P. J.; BOURKE, P. Assessment of the disinfection capacity and eco-toxicological impact of atmospheric cold plasma for treatment of food industry effluents. *Sci of the Total Env*, v.631, p.298-307, 2018.
14. WEN, Y.; YI, J.; ZHAO, S.; JIANG, S.; CHI, Y.; LIU, K. Non-thermal plasma treatment of *Radix aconiti* wastewater generated by traditional Chinese medicine processing. *Journal of Env Chem Eng*, v.44, p.99-108, 2016.
15. XU, H.; MA, R.; ZHU, Y.; DU, M.; ZHANG, H.; JIAO, Z.; A systematic study of the antimicrobial mechanisms of cold atmospheric-pressure plasma for water disinfection. *Sci of the Total Env*, v.703, 2020.