

A INATIVAÇÃO DE *ESCHERICHIA COLI* E O COMPORTAMENTO FÍSICO-QUÍMICO DA ÁGUA EM UM EQUIPAMENTO TIPO JATO CAVITANTE

Maiara P. Assis Gratieri, Thais V. Omido, Ana I. B. Genovez e José Gilberto Dalfré Filho

Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Unicamp, Brasil.

E-mail: dalfre@fec.unicamp.br

Resumo

A inativação de bactérias patogênicas na água é essencial para a saúde pública. O fenômeno da cavitação para a inativação de bactérias é uma alternativa promissora. Porém, são necessários estudos laboratoriais para obtenção de informação a respeito da eficiência de inativação e do comportamento físico-químico das amostras. O objetivo deste estudo foi avaliar a influência da geometria dos bocais na inativação de *Escherichia coli* utilizando o equipamento tipo jato cavitante com três configurações de bocais diferentes - bocal cônico de 132°, bocal cônico de 20° e bocal circular. A configuração que apresentou melhor resultado foi com o bocal cônico de 132°, orifício de diâmetro 2.00 mm, em que a taxa de inativação de 65.0% foi obtida no tempo de 2700 segundos.

Introdução

As *Escherichia coli* são bactérias que podem ser encontradas nos intestinos de animais de sangue quente. Portanto, indicam contaminação quando encontradas em água. Para o abastecimento humano, é crucial eliminar patógenos da água a ser servida.

Cavitação é a vaporização do líquido, quando a pressão abaixa até o valor da pressão de vapor, à temperatura constante. Quando a pressão posteriormente se normaliza, ocorrem às implosões das bolhas ou cavidades e ondas de pressão e micro jatos são produzidos e propagados pelo líquido. A água não tratada contém impurezas, sólidos e gases dissolvidos, compostos orgânicos e microrganismos, que indicam a condição básica para a formação de cavidades, na cavitação (Tullis, 1989).

Estudos como Jyoti e Pandit (2001) e Dular *et al.* (2015) mostram que a cavitação é viável para a desinfecção de água e Azuma *et al.* (2007) e Mezulea *et al.* (2009) mostram que a cavitação é eficiente na inativação de *Escherichia coli* em água. Ainda, Kalumuck *et al.* (2003), Assis *et al.* (2013), Dalfré Filho *et al.* (2015a) e Dalfré Filho *et al.* (2015b) apresentam o equipamento tipo jato cavitante como uma das diversas maneiras de gerar a cavitação. O jato cavitante é uma das técnicas da cavitação hidrodinâmica que apresenta resultados mais eficientes que outras técnicas, como a cavitação ultrassônica (Tiehim, 2001). O equipamento tipo jato cavitante permite variar a pressão e a geometria dos bocais, de maneira a encontrar uma condição ótima de inativação.

O objetivo deste estudo foi avaliar a influência da geometria dos bocais na inativação de *Escherichia coli* utilizando um equipamento tipo jato cavitante compacto e econômico.

Materiais e métodos

A instalação experimental construída no Laboratório de Hidráulica e Mecânica dos Fluidos da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas, Unicamp, Brasil, pode ser vista na Figura 1. Ela consiste de uma bomba de deslocamento positivo de alta pressão e baixa vazão que recircula 40.00x10⁻³ m³ de água. Na

saída da bomba, há uma válvula que permite regular a pressão durante os testes, controlada por um transdutor de pressão. Uma tubulação de diâmetro (Ø) 12.70 mm conduz a água até um bocal de aço inoxidável que se encontra dentro do reservatório de inativação. As geometrias de bocais e diâmetros são apresentados em Dalfré Filho e Genovez (2008), como segue: bocais cônicos de 20° e 132° e um bocal circular, com orifício de diâmetro (D) 2.00 mm.

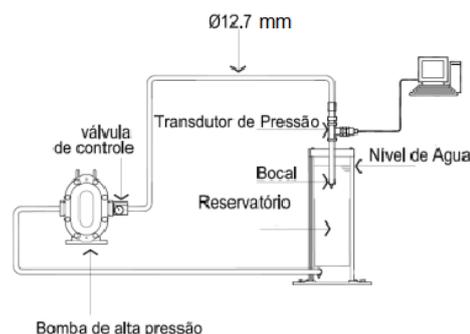


Figura 1.- Esquema do equipamento. Adaptado de Dalfré Filho et al. (2015a).

A pressão foi mantida em 4.00 MPa para os testes, com uma vazão de 1.47x10⁻⁴ m³/s, de maneira a manter a temperatura da água do reservatório inferior a 40°C. Desta forma, não há interferência da temperatura da água na inativação das bactérias. A bactéria não patogênica *Escherichia coli* foi utilizada para os testes microbiológicos. O método Colilert® foi utilizado para a contagem de células viáveis da bactéria, em amostras retiradas a cada 900 s de teste, até o tempo total de 2700 s, utilizando o método aprovado pela USEPA (*United States Environmental Protection Agency*), incluso no *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater Manual* (Rice et al., 2017). Todas as amostras (T0, T900, T1800 e T2700) foram testadas sem diluição e nas concentrações 10⁻¹ e 10⁻². Os resultados foram analisados depois de 24 horas de incubação, a 35°C.

Adicionalmente, foram avaliados os parâmetros físico-químicos ao longo dos ensaios, de acordo com as resoluções brasileiras CONAMA 257/2005 e 430/2011, que estabelecem padrões mínimos para lançamento de efluentes. Os ensaios realizados foram de oxigênio dissolvido, pH, turbidez, condutividade e cor aparente. A temperatura foi medida ao longo dos testes.

Resultados e análises

O índice de cavitação (σ) para um jato é dado pela equação 1.

$$\sigma = \frac{2(P_e - P_v)}{\rho V^2} \quad [1]$$

onde P_e é a pressão do jato, P_v é a pressão de vapor, ρ é a massa específica e V é a velocidade média do jato. Considerando que a temperatura média da água ficou em 25 graus Celsius, que a massa específica e a pressão de vapor para essa temperatura são, respectivamente, 997,05 kg/m³ e 3,2 kPa, o valor do índice de cavitação dos ensaios é de $\sigma = 3,66$. Como o estudo emprega

organismos vivos, os resultados obtidos apresentam tendências diversas. A Figura 2 mostra os resultados obtidos ao final dos testes para o bocal cônico de 132° (inativação de 65.0%), para o bocal cônico de 20° (inativação de 64.0%) e para o bocal circular (inativação de 61.9%). Considerando-se o desempenho ligeiramente melhor do bocal cônico de 132° e que Dalfré Filho e Genovez (2008) evidenciam maior eficiência deste tipo de geometria de bocal no desenvolvimento da cavitação, considerou-se que esta é a geometria mais adequada.

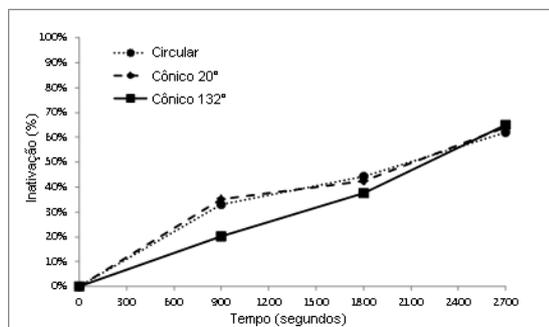


Figura 2. - Inativação para diferentes geometrias, à pressão 4.00 MPa.

A Figura 3 mostra os resultados das análises físico-químicas realizadas.

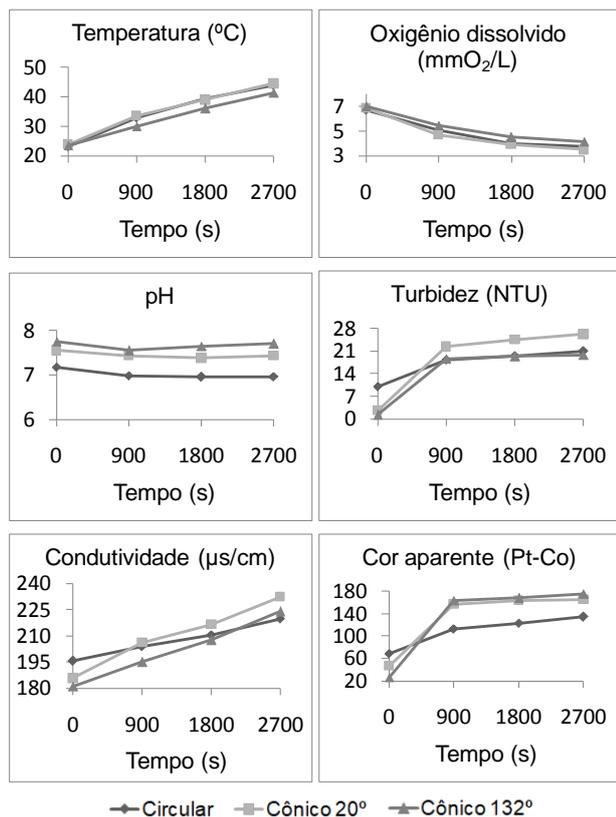


Figura 3. -Resultados das análises físico-químicas.

Os resultados das análises físico-químicas apontam que as amostras testadas se encontram dentro dos limites estabelecidos pelas resoluções brasileiras para lançamento de efluentes, porém, não atendendo as resoluções para abastecimento humano, nesta configuração.

Conclusão

A inativação de *Escherichia coli* utilizando o equipamento tipo

jato cavitante, nesta configuração, se mostrou eficiente para a finalidade de lançamento de efluentes. O método pode reduzir o lançamento de produtos químicos para inativação de bactérias, que podem causar problemas como a manutenção frequente de instalações e a formação de compostos tóxicos, entre outros problemas ambientais. De acordo com os resultados obtidos, a configuração que apresentou melhor taxa de inativação foi a do bocal cônico 132° e orifício de 2.00 mm. Outras configurações estão em testes para o atendimento das resoluções quanto ao abastecimento humano.

Agradecimentos

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelas Bolsas de Estudos (2009/53553-1 e 2011/16347-4) e pelos Auxílios à Pesquisa (2009/54278-4 e 2012/09843-8)

Referências bibliográficas

- Assis M.P., Dalfré Filho J.G., Genovez A.I.B. (2013) "Bacteria Inactivation By Means Of Cavitation Blasting Equipment In Freshwater Systems". *Proc. of the IAHR World Congress 35th*, Chengdu, China.
- Azuma Y., Kato H., Usami R., Fukushima T. (2007) "Bacterial Sterilization Using Cavitating Jet". *Journal of Fluid Science and Technology*.2(1) pp. 270-281
- CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiental. Resolução Nº. 357 de 17 de março de 2005. Classificação de águas, doces, salobras e salinas do Território Nacional (2005a) Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>>.
- CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiental. Resolução Nº. 430 de 13 de maio de 2011. Definição critérios para classificação das águas, doces, salobras e salinas do território nacional (2005b) Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>>.
- Dalfré Filho, J.G., Assis M.P., Genovez A.I.B. (2015a) "Bacterial Inactivation in Artificially And Naturally Contaminated Water Using A Cavitating Jet Apparatus". *Journal of Hydro-environment Research*. doi:10.1016/j.jher.2015.03.001
- Dalfré Filho J.G., Assis M.P., Genovez A.I.B. (2015b) *Alternative Uses of Cavitating Jets. Hydrodynamics - Concepts and Experiments*. Ed In Tech Chapter 3 doi: 10.5772/59136
- Dalfré Filho J.G., Genovez A.I.B. (2008) "Efficiency Evaluation of Cavitating Jet Apparatus". *Hydraulic Structures*. Edizione Plus, Pisa pp 107-112
- Dular M., Griessler-Bulc T., Gutierrez I., Heath E., Kosjek T., Klemenčič A.K., Oder M., Petkovšek M., Rački N., Ravnikar M., Sarc A., Širok B., Zupanc M., Žitnik M., Kompore B. (2015) "Use of hydrodynamic cavitation in (waste) water treatment". *Ultrasonics Sonochemistry*.
- Jyoti K.K., Pandit A.B. (2001) "Water Disinfection by Acoustic and Hydrodynamic Cavitation". *Biochemical Engineering Journal*. J. 7 pp. 201-212.
- Kalumuck K.M., Chahine G.L., Hsiao C.T., Choi J.K. (2003) "Remediation and disinfection of water using jet generated cavitation". *Fifth International Symposium of Cavitation*, Osaka, Japan.
- Mezulea L., Tsyfanyk S., Yakushevich V., Juhnaa T. (2009) "A simple technique for water disinfection with hydrodynamic cavitation: Effect on survival of *Escherichia coli*". *Desalination* 248 p 152–159
- Rice, E.W., Baird R.B., Eaton A.D. (2017) *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. American Public Health Association, 23rd Ed. Washington DC.
- Tiehm A, Nickel K, Zellhorn M, Neis U (2001) "Ultrasonic waste activated sludge disintegration for improving anaerobic stabilization". *Water Research* v 35, n8, p 2003-2009.
- Tullis, J.P. (1989) *Hydraulics of pipelines - pumps, valves, cavitation, transients*. New York, John Wiley and Sons. 266p.