

I-267 - ANÁLISE DE FOTORREATIVAÇÃO E RECUPERAÇÃO NO ESCURO EM ÁGUA DE LAVAGEM DE FILTRO PRÉ-DESINFETADA POR MEIO DE RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA

Carlos Magno de Sousa Vidal ⁽¹⁾

Ciências Biológicas pela Universidade Federal de São Carlos. Mestre e Doutor em Engenharia Civil pela EESC/USP. Professor Associado do Departamento de Engenharia Ambiental da Universidade Estadual do Centro-Oeste (UNICENTRO).

Jeanette Beber de Souza ⁽²⁾

Engenheira Civil pela Universidade Federal de Ouro Preto. Mestre e Doutora em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP). Professora Associada do Departamento de Engenharia Ambiental da Universidade Estadual do Centro-Oeste (UNICENTRO).

Karoline de Souza Cardoso ⁽³⁾

Engenheira Ambiental pela Universidade Estadual do Centro-Oeste (UNICENTRO). Bolsista técnica no projeto “Apoio Técnico para Centros de Pesquisa e Laboratórios Multiusuários dos Programas de Pós-Graduação da UNICENTRO”, financiado pela Fundação Araucária.

Andressa Filipaki ⁽⁴⁾

Engenheira Ambiental pela Universidade Estadual do Centro-Oeste (UNICENTRO). Mestre em Engenharia Sanitária e Ambiental pela Universidade Estadual do Centro-Oeste (UNICENTRO).

Endereço⁽¹⁾: BR 153 – Km 7 - Riozinho- Irati - PR - CEP: 84500-000 - Brasil - Tel: (42) 3421-3211 - e-mail: cmsvidal@unicentro.br

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar a fotorreativação e a recuperação no escuro de *E. coli* e coliformes totais (CT) em água de lavagem de filtro (ALF) pré-desinfetada por radiação ultravioleta (UV). Para isso, realizou-se a desinfecção com um reator UV de bancada e foram realizados ensaios de fotorreativação, em que foram coletadas alíquotas de 100 ml de cada ensaio, que foram deixadas por 3 horas em ambiente aberto para recebimento de radiação solar natural. Da mesma forma, foram coletadas alíquotas para a análise de recuperação no escuro dos microrganismos, em que as amostras foram colocadas em frascos de plástico e envoltas por papel de alumínio e ficaram armazenadas numa caixa de papelão também durante 3 horas. Foram realizados exames de *E. coli*, e coliformes totais (CT). Na primeira coleta, apenas os CT conseguiram obter uma pequena recuperação, na altura de lâmina líquida (ALL) de 2 cm, tanto na fotorreativação, na dose de 40 mWs.cm⁻², quanto na recuperação no escuro, nas doses de 40 e 80 mWs.cm⁻². Já na segunda, ocorreu recuperação de *E. coli* e CT, sendo a dose de 20 mWs.cm⁻² a que apresentou a recuperação maior de todos os microrganismos. Por fim, concluiu-se que a fotorreativação e a recuperação no escuro não apresentaram resultados muito significativos, visto que em nenhum dos casos avaliados o crescimento bacteriano alcançou ao menos 1 log, contudo, estes fenômenos não podem ser ignorados no momento da realização da desinfecção da ALF de ETA, caso o objetivo seja o reuso dessa água para consumo humano.

PALAVRAS-CHAVE: Desinfecção de Água, Radiação UV, Fotorreativação, Recuperação no Escuro, Água de Lavagem de Filtro.

INTRODUÇÃO

Durante a operação dos filtros em Estações de Tratamento de Água (ETA), após um determinado período, ocorre o encerramento da carreira de filtração devido ao entupimento do leito necessitando-se da lavagem do mesmo. A lavagem ocorre com a introdução de água e/ou ar promovendo-se a expansão do leito e com isso o carreamento das impurezas impregnadas gerando como resíduo a água de lavagem de filtro (ALF).

A lavagem dos filtros é uma operação fundamental nas Estações de Tratamento de Água (ETA) e grande fonte de geração de resíduos durante o processo de potabilização, correspondendo conforme Di Bernardo, Dantas e Voltan (2012) a uma variação entre 0,5 a 3% do volume tratado diariamente nas ETA de ciclo completo.

Uma das opções empregadas como alternativa ao aproveitamento do volume de água gerado na lavagem dos filtros consiste na sua clarificação e a recirculação no início do processo, incorporando o volume recuperado à água bruta captada. No entanto, a recirculação descontrolada na ETA pode ocasionar problemas associados principalmente à acumulação de microrganismos (bactérias, vírus e cistos de protozoários). Além disso, a ALF pode conter quantidades significativas de carbono orgânico total, substâncias húmicas coloidais e precipitadas, subprodutos da desinfecção, sólidos suspensos, partículas de argila e sílica e metais (Fe, Mn e Al principalmente) (EPA, 2011; GONÇALVES et al., 1999).

É neste contexto que a radiação UV pode ser empregada para inativação de microrganismos presentes nas águas de lavagem de filtros, minimizando os problemas da recirculação deste resíduo na entrada da ETA. Ela inativa microrganismos pela absorção da luz, que causa uma reação fotoquímica que altera componentes moleculares essenciais para o funcionamento das células. Como os raios UV penetram na parede celular dos microrganismos, a energia reage com os ácidos nucleicos e outros componentes celulares vitais, resultando em dano ou morte das células expostas (EPA, 1999 e GONÇALVES, 2003).

Apesar disso, há alguns mecanismos de reparação dos ácidos nucleicos atingidos pela radiação que podem ocorrer e, portanto, devem ser evitados, os principais são a fotoreativação, em que a enzima fotoliase liga-se em alguns dímeros da pirimidina e reverte os danos utilizando energia da luz (geralmente entre 310 e 480 nm), e a recuperação no escuro, na qual o DNA comprometido é substituído por novos nucleotídeos saudáveis na ausência de luz (SINHA e HÄDER, 2002 apud GUO et al., 2017).

Mesmo havendo a possibilidade de ocorrer mecanismos de reparação dos danos, a radiação UV tem apresentado uma crescente aplicação nos processos de desinfecção de águas de abastecimento e de águas residuárias (DANIEL, 2001), portanto, ela possui uma grande potencialidade para a desinfecção de água de lavagem de filtro devido às suas características, evidenciando a importância do desenvolvimento desta pesquisa, que teve como objetivo avaliar a fotoreativação e a recuperação no escuro de *E. coli* e coliformes totais (CT) em água de lavagem de filtro pré-desinfetada por radiação ultravioleta (UV).

MATERIAIS E MÉTODOS

Para esta pesquisa foram realizadas duas campanhas amostrais da água de lavagem de filtro, que foram denominadas coleta 1 e coleta 2, respectivamente neste trabalho, em seguida foi feita a desinfecção da ALF. O reator de radiação ultravioleta para desinfecção apresentava as seguintes especificações: confeccionado em chapa de aço inoxidável com 40 cm de largura, 45 cm de comprimento e 15 cm de profundidade total. A fonte de radiação ultravioleta era constituída por seis lâmpadas de baixa pressão de vapor de mercúrio, cada uma de 15 W de potência nominal que se encaixavam numa cúpula refletora construída com chapas de alumínio polido (Figura 1). Esse refletor se encaixava sobre a unidade de desinfecção, não permitindo a perda de radiação para o meio externo (PEDROSO, 2015).

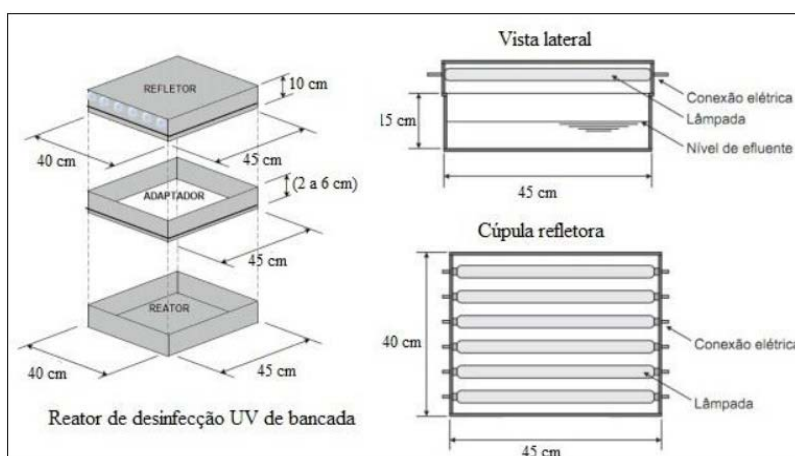


Figura 1: Unidade de desinfecção por radiação UV.

 Fonte: Adaptado de Bilotta e Daniel (2007); Tinôco (2011).

Esta unidade de radiação UV recebeu água de lavagem de filtro já pré-tratada por coagulação/floculação/sedimentação em *jar-test*, com condições previamente testadas por Filipaki (2018). A homogeneidade das amostras durante a desinfecção foi realizada com auxílio de 3 agitadores magnéticos.

No reator UV foram variadas a lâmina líquida de ALF e a dose de radiação UV aplicada, que está relacionada ao número de lâmpadas ligadas e ao tempo de exposição. Para este trabalho utilizaram-se três lâmpadas, do total das seis disponíveis no reator, além disso, as doses médias efetivas de radiação UV aplicadas nas amostras foram de 20, 40 e 80 mWscm⁻², determinadas com base em trabalhos anteriores (HIJNEN, BEERENDONK e MEDEMA, 2006; USEPA, 2006; FILIPAKI, 2018), e as alturas da lâmina d'água foram de 2 e 4 cm, considerando pesquisas como de Tinôco (2011), Pedrosa (2015) e Filipaki (2018).

Sendo assim, com as alturas da lâmina d'água, as doses médias efetivas desejadas, a absorvância das amostras em 254 nm e a intensidade média emitida pela fonte de radiação UV, calcularam-se os tempos de exposição para cada ensaio. E antes do início de cada processo de desinfecção o reator UV foi deixado ligado por 30 minutos para estabilização da lâmpada UV.

Após cada tempo de exposição, foram coletadas amostras para a realização de exames microbiológicos de *E. coli* e coliformes totais (indicadores de contaminação fecal). Para a realização das análises foi utilizado o método de membranas filtrantes (9222-H), conforme *Standard Methods For The Examination Of Water And Wastewater* (APHA, 1998).

Depois dos ensaios de desinfecção foram analisados os principais fenômenos de recuperação microbiológica, para isto foi seguida a metodologia, detalhada a seguir, proposta por Tinôco (2011), com adaptações.

Para realização dos ensaios de fotorreativação foram coletadas alíquotas de 100 mL de cada tempo de exposição, as quais foram inseridas em beakers de 250 mL, tampadas com papel filme de PVC, perfurado para entrada de ar, e deixadas por 3 horas (12:20 h as 15:20 h) em ambiente aberto para recebimento de radiação solar natural.

Da mesma forma, foram coletadas alíquotas de 100 mL para a análise de recuperação no escuro dos microrganismos, para isto, as amostras foram colocadas em frascos de plástico que foram envoltos por papel de alumínio, com a tampa perfurada para entrada de ar, estes recipientes, com as amostras, ficaram armazenados em local escuro durante 3 horas.

Após o período de fotorreativação e recuperação no escuro, foram realizados exames microbiológicos de *E. coli* e coliformes totais das alíquotas.

Os dados dos ensaios foram avaliados através de gráficos com os valores de inativação logarítmica dos microrganismos, para sua obtenção foi utilizada a equação 1.

$$\text{Inativação logarítmica} = \text{Log}_{10}(\text{N}/\text{N}_0) \quad \text{equação (1)}$$

Em que:

N = Número de microrganismos após a desinfecção por radiação UV;

N₀ = Número inicial de microrganismos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observando a fotorreativação e recuperação no escuro dos microrganismos, na coleta 1, foram organizados os dados e gerados os gráficos da Figura 2 e da Figura 3. Em que os resultados acima de 0 correspondem à recuperação microbiológica enquanto os valores negativos representam a continuação da inativação de microrganismos, para cada dose aplicada.

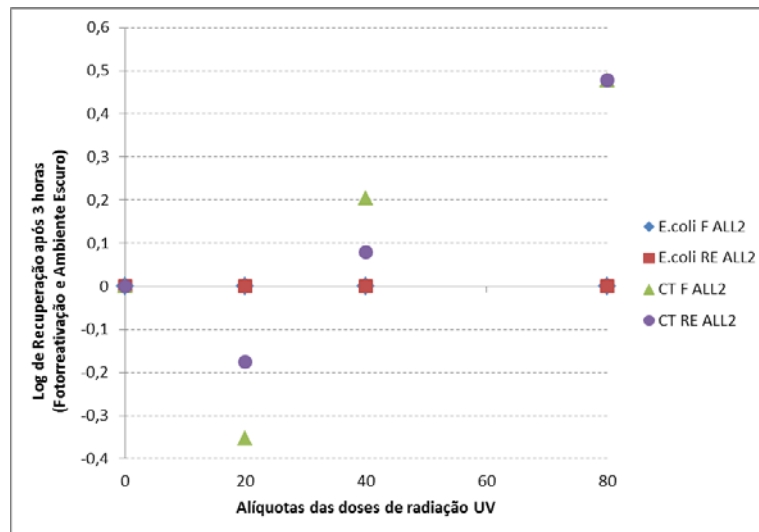


Figura 2: Resultados dos ensaios de fotorreativação (F) e recuperação no escuro (RE), da coleta 1, para a altura de lâmina líquida (ALL) de 2 cm, com as doses de 20, 40 e 80 mWs.cm⁻².

Fonte: Autores.

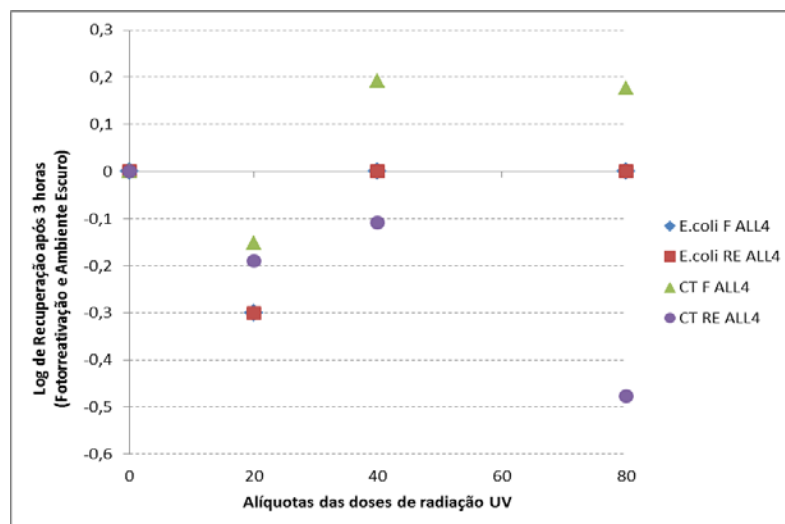


Figura 3: Resultados dos ensaios de fotorreativação (F) e recuperação no escuro (RE), da coleta 1, para a altura de lâmina líquida (ALL) de 4 cm, com as doses de 20, 40 e 80 mWs.cm⁻².

Fonte: Autores.

Observa-se, na coleta 1, que os fenômenos de fotorreativação e recuperação no escuro ocorreram apenas para CT, evidenciando que este grupo de microrganismos possui maior propensão para recuperação. O fato disso não ter acontecido com a *E. coli* é positivo, visto que ela é o principal indicador de contaminação fecal e, dessa forma, sua ausência é uma característica importante para uma boa qualidade da ALF. Além disso, verificou-se que, de forma geral (ALL2 e ALL4), a fotorreativação se destacou em relação à recuperação no escuro.

Também é possível ressaltar que a maior dose de radiação de UV empregada não garantiu a menor recuperação microbiológica, Kollu e Örmeci (2015) analisaram o potencial de recrescimento de *E. coli* e outras bactérias, em diferentes amostras, entre elas do efluente de um clarificador secundário antes de desinfecção, e também observaram uma maior elevação na concentração de *E. coli*, após um tempo de repouso, tanto na luz quanto no escuro, que variou entre 6 e 48 horas, na sua maior dose de radiação UV aplicada (40 mJcm⁻²) quando comparada com a menor (15 mJcm⁻²).

Ainda, observando separadamente os resultados, nota-se que não foi atingido nem 1 log de recuperação, demonstrando que a parcela recuperada não foi significativa em relação à desinfecção obtida (inativação = 3,6 log).

Com a realização da fotorreativação e a recuperação no escuro, na coleta 2, obtiveram-se os gráficos da Figura 4 e Figura 5, a seguir.

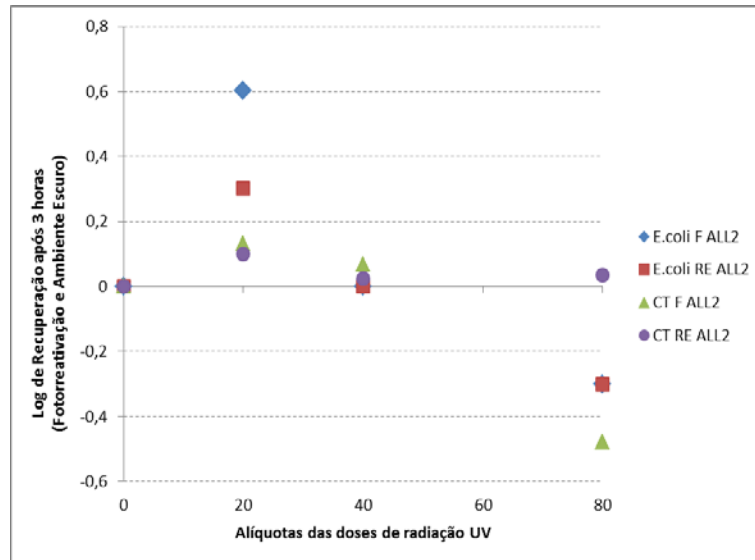


Figura 4: Resultados dos ensaios de fotorreativação (F) e recuperação no escuro (RE), da coleta 2, para a altura de lâmina líquida (ALL) de 2 cm, com as doses de 20, 40 e 80 mWs.cm⁻².

Fonte: Autores.

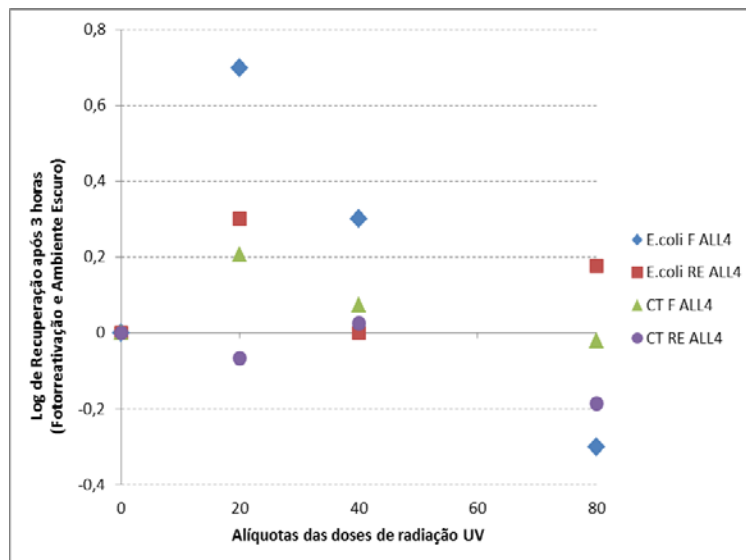


Figura 5: Resultados dos ensaios de fotorreativação (F) e recuperação no escuro (RE), da coleta 2, para a altura de lâmina líquida (ALL) de 4 cm, com as doses de 20, 40 e 80 mWs.cm⁻².

Fonte: Autores.

Na coleta 2, foi possível observar os fenômenos de recuperação no escuro e fotorreativação tanto para *E. coli* quanto para CT. Além disso, diferente do que ocorreu na primeira coleta, nesta os maiores índices de recuperação microbiológica são notados na menor dose de radiação UV aplicada, assim como é evidente a continuação do decaimento bacteriano na maior dose empregada. Pode-se afirmar que a fotorreativação continuou se sobressaindo em relação ao processo de recuperação no escuro.

Guo et al. (2011), que realizaram ensaios de desinfecção por meio de radiação UV, em amostras de efluentes secundários e terciários de uma estação de tratamento biológico de águas residuárias, na China, e analisaram os fenômenos de fotorreativação e recuperação no escuro de algumas bactérias, entre elas *E. coli* e CT, também observaram em seus resultados que nas menores doses de radiação ocorreram os maiores valores de recuperação dos microrganismos, nesse estudo a fotorreativação também foi mais perceptível quando comparada com a recuperação no escuro.

Como na primeira coleta, na segunda o decaimento bacteriano foi muito mais significativo do que os fenômenos de recuperação analisados, evidenciando o potencial de desinfecção da água de lavagem de filtro através da radiação UV.

CONCLUSÕES

Com a realização desta pesquisa foi possível concluir que:

Os fenômenos de fotorreativação e a recuperação no escuro ocorreram em todos os ensaios, contudo não apresentaram resultados muito significativos, visto que em nenhum dos casos avaliados o crescimento bacteriano alcançou ao menos 1 log, sendo que a maior recuperação foi visualizada na fotorreativação da ALL de 4 cm, na dose de 20 mWs.cm⁻² para *E. coli*, com um crescimento bacteriano de aproximadamente 0,7 log;

Apesar de serem pouco significativos, estes fenômenos não podem ser ignorados no momento da realização da desinfecção da água de lavagem de filtro de Estações de Tratamento de Água (ETA), caso o objetivo seja o reuso dessa água para consumo humano.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 20ª edição, Washington, APHA/AWWA/WEF, 1998.
2. BILOTTA, P.; DANIEL, L.A. Ozônio e radiação UV na inativação de indicadores patogênicos em esgoto sanitário: análise comparativa. *Minerva*, v.3, n.2, p. 199-207. 2007.
3. DANIEL, L.A. (Coord.). Processos de desinfecção e desinfetantes alternativos na produção de água potável. São Paulo, 149 p., 2001. Disponível em: <<https://www.finep.gov.br/images/apoio-e-financiamento/historico-de-programas/prosab/LuizDaniel.pdf>>. Acesso em: 08 nov. 2016.
4. DI BERNARDO, L.; DANTAS, A.D.B.; VOLTAN, P.E.N. Métodos e técnicas de tratamento e disposição final dos resíduos gerados em estações de tratamento de água. São Paulo: LDiBe, 2012. 540 p.
5. EPA (United States Environmental Protection Agency). *Alternative disinfectants and oxidants guidance manual*, 255p, 1999. Disponível em: <www.epa.gov>. Acesso em: 29 out. 2016.
6. EPA (United States Environmental Protection Agency). *Drinking water treatment plant residuals*. 2011. Disponível em: <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-11/documents/dw-treatment-residu_als_mgmt-tech-report-sept-2011.pdf>. Acesso em 29 out. 2016.
7. FILIPAKI, A. Estudo da tratabilidade de água de lavagem de filtro empregando coagulante recuperado de lodo decantador. 2018. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental – Universidade Estadual do Centro-Oeste, Irati-PR, 2018.
8. GONÇALVES, R.F. (Coord.). Desinfecção de efluentes sanitários. Rio de Janeiro: Rima, ABES, 438 p., 2003. Disponível em: <<https://www.finep.gov.br/images/apoio-e-financiamento/historico-de-programas/prosab/ProsabRicardo.pdf>>. Acesso em: 06 nov. 2016.
9. GONÇALVES, R.F. et al. Recuperação de coagulantes de lodos de estações de tratamento de águas. In: REALI, M.A.P. (Coord.). Noções gerais de tratamento e disposição final de lodos de estações de tratamento de água. Rio de Janeiro: ABES, 1999.
10. GUO, M.T.; HUANG, J.J.; LIU, W.J. *Growth and repair potential of three species of bacteria in reclaimed wastewater after UV disinfection*. *Biomedical and Environmental Sciences*. China, v. 24, n. 4, p. 400-407, jan. 2011.
11. GUO, Q.L.; WEN, L.W.; ZHENG, Y.H.; YUN, L. HONG, Y.H. *Comparison of UV-LED and low pressure UV for water disinfection: Photoreactivation and dark repair of Escherichia coli*. *Water Research*, v. 126, p. 134-143, 2017.

12. HIJNEN, W. A. M.; BEERENDONK, E. F.; MEDEMA, G. J. *Inactivation credit of UV radiation for viruses, bacteria and protozoan (oo)cysts in water: A review. Water Research.* 40, p. 3-22, 2006.
13. PEDROSO, C. R. Uso da radiação ultravioleta para desinfecção de efluente de reator anaeróbio. 2015, 69 f. Dissertação (Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental. Área de concentração em Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos) – Universidade Estadual do Centro-Oeste, Irati-PR, 2015.
14. KOLLU, K.; ÖRMECI, B. *Regrowth Potential of Bacteria after Ultraviolet Disinfection in the Absence of Light and Dark Repair. Journal of Environmental Engineering*, v. 141, n. 3, 2015.
15. SINHA, R.P.; HÄDER, D.P.; 2002. *UV-induced DNA damage and repair: a review. Photochem. Photobiol. Sci.*, v. 1, n. 4, p. 225-236, 2002.
16. TINÔCO, J.D. Desinfecção por radiação ultravioleta: estudo do desempenho do processo e avaliação econômica. 2011; 222 f. Tese (Doutorado em Engenharia Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.
17. USEPA. *Ultraviolet disinfection guidance manual for the final long term 2 enhanced surface water treatment rule.* (EPA 815-R-06-007). Washington, DC. 2006.