

REVISTA AIDIS

de Ingeniería y Ciencias Ambientales:
Investigación, desarrollo y práctica.

ANÁLISE COMPARATIVA DE TÉCNICAS DE DESINFECÇÃO EM EFLUENTE DE ETE UTILIZANDO MICRORGANISMOS INDICADORES

* Thaís Kovalski¹
Carlos Raphael Pedroso¹
Jeanette Beber de Souza¹
Grasiele Soares Cavallini²

COMPARATIVE ANALYSIS OF DISINFECTION TECHNIQUES IN WASTEWATER OF ETE USING MICROORGANISM INDICATORS

Recibido el 21 de noviembre de 2018; Aceptado el 30 de abril de 2020

Abstract

This study evaluated the efficiency of individual disinfection methods using peracetic acid (PAA), hydrogen peroxide (H_2O_2) and UV radiation and the combined disinfection methods of PAA/UV and H_2O_2 /UV for final effluent of wastewater treatment plant. It was evaluated the performance of the disinfectants used according to the inactivation efficiency of the indicator microorganisms, *Escherichia coli*, total coliforms, *Clostridium perfringens* and coliphages. To the experimental conditions adopted, the concentrations of PAA and H_2O_2 were 2 and 3 mg L⁻¹ and contact time of 10 and 20 minutes, with mean exposure doses ranging from 30.62 to 206.65 mWs.cm² for UV radiation. The PAA/UV and H_2O_2 /UV disinfection consisted of a combination of the times, concentrations and doses of disinfectants adopted in individual methods. The results obtained in the disinfection tests with peracetic acid and hydrogen peroxide did not promoted significant inactivations for any of the indicator microorganisms, under the experimental conditions employed. The UV radiation showed to be more effective in the reduction of all the indicator microorganisms, showing superior results compared to the other disinfectants. The disinfection processes PAA/UV and H_2O_2 /UV showed similar inactivations to those obtained by UV radiation method. *Clostridium perfringens* was the microorganism that showed higher resistance to inactivation for all disinfectants used. The occurrence of synergism was observed for *Escherichia coli*, *Clostridium perfringens* and coliphages, only in the concentrations and times of superior contacts. There was a significant increase of 1 log of inactivation for *C. perfringens*, when combined H_2O_2 /UV disinfection method was used.

Keywords: advanced oxidative processes, hydrogen peroxide, peracetic acid, UV radiation, synergism.

¹ Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade Estadual do Centro-Oeste, Brasil.

² Universidade Federal do Tocantins, Brasil.

* *Autor correspondente:* Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade Estadual do Centro-Oeste. PR 153, Km 7, s/n – Riozinho, Irati, Paraná. 84500000. Brasil. Email: thaiskovalski.ambiental@gmail.com

Resumo

Neste estudo foi avaliada a eficiência dos métodos individuais de desinfecção empregando ácido peracético (APA), peróxido de hidrogênio (H_2O_2) e radiação UV e os métodos de desinfecção combinados APA/UV e H_2O_2 /UV para efluente final de Estação de Tratamento de Esgoto. Avaliou-se o desempenho dos desinfetantes empregados em função da eficiência das inativações dos microrganismos indicadores, *Escherichia coli*, coliformes totais, *Clostridium perfringens* e colifagos. Para as condições experimentais adotadas, as concentrações de APA e H_2O_2 foram de 2 e 3 mg L⁻¹ e tempos de contato de 10 e 20 minutos, e doses médias de exposição variando de 30.62 a 206.65 mWs.cm² para radiação UV. A desinfecção APA/UV e H_2O_2 /UV consistiu na combinação dos tempos, concentrações e doses de desinfetantes adotados nos métodos individuais. Os resultados obtidos nos ensaios de desinfecção com ácido peracético e peróxido de hidrogênio não promoveram inativações significativas para nenhum dos microrganismos indicadores, nas condições experimentais empregadas. A radiação UV mostrou-se mais efetiva na redução de todos os microrganismos indicadores, apresentando resultados superiores comparados aos demais desinfetantes. Os processos de desinfecção APA/UV e H_2O_2 /UV apresentaram inativações similares às obtidas pelo método de radiação UV. *Clostridium perfringens* foi o microrganismo que apresentou maior resistência à inativação para todos os desinfetantes utilizados. A ocorrência de sinergismo foi observada para *Escherichia coli*, *Clostridium perfringens* e colifagos, apenas nas concentrações e tempos de contatos superiores adotados. Houve um aumento significativo de 1 log de inativação para *Clostridium perfringens*, utilizando-se do método combinado H_2O_2 /UV.

Palavras chave: procesos oxidativos avanzados, ácido peracético, peróxido de hidrogênio, radiação UV, sinergismo.

Introdução

A desinfecção de esgotos configura-se como a alternativa mais segura e econômica para o controle de agentes transmissores de doenças pela água que repercutem na saúde da população. Entretanto, a prática da desinfecção de esgotos ainda não é usual nos sistemas de tratamento no Brasil, haja vista as poucas estações brasileiras que são projetadas e construídas com dispositivos para atender tal objetivo.

A desinfecção pode ser realizada por meio de diversas técnicas como a cloração, a ozonização e a radiação ultravioleta, apenas para citar algumas das mais empregadas mundialmente. Sendo que cada uma em particular deve ser avaliada a partir de um cenário em que devem ser ponderados aspectos como: características dos esgotos a serem tratados e do corpo d'água receptor, a partir do estudo dos padrões ambientais de classificação dos corpos d'água, dos padrões de potabilidade, de balneabilidade, de uso agrícola dentre outros que levem em conta os usos preponderantes dos corpos de água receptores.

O cloro (líquido ou gasoso) é o desinfetante mais utilizado mundialmente para o tratamento de águas e de esgotos, por apresentar caráter econômico de baixo custo e elevada eficácia comprovada na inativação de diversos microrganismos indicadores e patogênicos (USEPA, 1999a). Porém, sua utilização em águas de abastecimento e águas residuárias é questionada, pois podem propiciar a geração de subprodutos nocivos à saúde humana e ao meio ambiente (USEPA, 1999a; Guo, *et al.*, 2011).

Por esta razão, em muitos países o uso do cloro vem sendo regulado, e a busca por soluções alternativas para a desinfecção de águas de abastecimento e águas residuárias tornou-se uma preocupação contínua visando a preservação da saúde pública e da vida aquática.

Assim, métodos alternativos ao cloro ganham atenção crescente no meio científico como, por exemplo, a radiação ultravioleta, ou outros processos químicos de desinfecção, como ácido peracético, peróxido de hidrogênio e processos oxidativos avançados.

A radiação ultravioleta é um método físico de desinfecção, emitida por lâmpadas germicidas, onde a energia encontra-se associada ao comprimento de onda de 254 nm (Billota e Daniel, 2012). A inativação microbiana por meio da radiação UV ocorre pela absorção da luz, resultando em uma reação fotoquímica capaz de interferir na biossíntese e na reprodução celular, o que ocasiona danos aos ácidos nucleicos (DNA e RNA) dos microrganismos, inativando-os (USEPA, 1999a; Aguiar, 2000).

Pode-se dizer que a radiação UV é uma técnica promissora do ponto de vista econômico (Metcalf e Eddy, 2003; Tinôco, 2011). Além disso, as vantagens desta tecnologia são: eficácia na inativação microbiana, não geração de subprodutos potencialmente tóxicos, menor requisito de área e simplicidade operacional (Hijnen, Beerendonk e Medema, 2006; USEPA, 1999b).

O ácido peracético ($\text{CH}_3\text{CO}_3\text{H}$) é um composto orgânico, formado a partir da reação de peróxido de hidrogênio e ácido acético: destaca-se como um forte oxidante, comparativamente ao cloro e ao dióxido de cloro (Gehr *et al.*, 2003; Rossi, 2007), e em países europeus é utilizado em maior escala também como desinfetante químico.

O peróxido de hidrogênio (H_2O_2) por sua vez, apresenta-se como um oxidante comercialmente acessível e estável à temperatura ambiente: seu armazenamento pode ocorrer no local de sua utilização e sua ação desinfetante ocorre devido ao poder de oxidar constituintes intracelulares (Ksibi, 2006).

Na literatura, muitos são os trabalhos com processos oxidativos avançados (POA) na degradação de compostos orgânicos e inorgânicos poluentes tóxicos (Cordeiro *et al.*, 2004), e dentre estes processos destacam-se a utilização de $\text{O}_3/\text{H}_2\text{O}_2$, $\text{O}_3/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$, $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$, TiO_2/UV , $\text{Fe}^{2+}/\text{H}_2\text{O}_2/\text{H}^+$ e $\text{Fe}^{2+}/\text{H}_2\text{O}_2/\text{H}^+/\text{UV}$. De acordo com Mattos *et al.* (2003) a característica comum destes processos é a geração do radical hidroxila ($\cdot\text{OH}$), que apresenta potencial oxidativo superior a outros agentes químicos.

Quando combinados, os desinfetantes podem promover aumento efetivo na inativação de microrganismos, em valores superiores à soma dos efeitos individuais de cada desinfetante, por sinergismo (Souza, 2006). Os efeitos sinérgicos podem conduzir à minimização de subprodutos

de desinfecção, à redução da dose e do tempo de contato do desinfetante, ocasionando benefícios econômicos, como redução de custos operacionais (Cho *et al.*, 2006).

Diante do exposto, o objetivo do presente trabalho consiste em verificar a eficiência de inativação de diferentes microrganismos indicadores de agentes patogênicos, sob diferentes condições operacionais e métodos de desinfecção em escala de laboratório. Foram testados: radiação UV, ácido peracético (APA), peróxido de hidrogênio (H_2O_2) e os processos oxidativos avançados APA/UV e H_2O_2 /UV. Os microrganismos empregados foram: coliformes totais (CT) e *Escherichia coli* (*E. coli*), como indicadores de bactérias: colifagos como indicadores de vírus entéricos e *Clostridium perfringens* (*C. perfringens*) como indicadores de protozoários.

Materiais e métodos

Efluentes

As amostras de efluente utilizadas neste estudo foram coletadas na saída do filtro anaeróbio de uma estação de tratamento de esgoto (ETE), cujo fluxograma era constituído por: grade, calha parshall, reator anaeróbio de leito fluidizado (RALF) e filtro anaeróbio. As coletas foram realizadas nos meses de maio a setembro de 2016. Os efluentes foram armazenados em galões de 20 L e utilizados no mesmo dia da coleta.

Caracterização da amostra

Os parâmetros avaliados em todos os tratamentos por desinfecção foram: cor aparente, cor verdadeira, demanda química de oxigênio (DQO), pH, série de sólidos, turbidez e, no caso dos tratamentos com radiação UV, a absorvância 254 nm. Os ensaios foram realizados em conformidade com o Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2012).

Para determinação CT e *E. coli* foi empregada a técnica de filtração em membranas (APHA, 2012), para *C. perfringens* a técnica de tubos múltiplos segundo a Norma L5.213 (CETESB, 1990) e para colifagos o ensaio de placa - Norma L5.225 (CETESB, 1993).

Todos os ensaios foram realizados em triplicata, sendo computados como base para a interpretação dos resultados a média aritmética e o desvio padrão amostral.

Procedimento

Os processos de desinfecção dependem da intensidade dos agentes físicos ou químicos utilizados. Nos processos físicos como a radiação UV a dose é o produto da intensidade da radiação (I) pelo tempo de exposição (t), e, na desinfecção química recorre-se ao fator CT, que é o produto da concentração do agente químico empregado pelo tempo de contato.

Na presente pesquisa, no ensaio 1, os tempos de exposição à radiação UV foram de 15, 30 e 50 s, que refletiram em doses, respectivamente, de 62.02, 123.99 e 206.65 mWs/cm², doses essas que também foram empregadas no proceso combinado APA/UV; e no ensaio 2 as doses de UV foram de 30.62, 60.77 e 101.28 mWs/cm², bem como, para o processo combinado H₂O₂/UV. As concentrações aplicadas dos agentes químicos APA e H₂O₂ foram de 2 e 3 mg L⁻¹ e os tempos de contato empregados foram de 10 e 20 minutos para cada concentração utilizada.

Salienta-se que as doses, as concentrações dos agentes químicos e os tempos de exposição e/ou contato utilizados nesse estudo tiveram como referência os autores: Souza (2006); Sartori (2004); Tinôco (2011); Souza *et al.* (2012) e Pedroso (2015).

Os efluentes, em todos os experimentos, foram mantidos sob constante agitação magnética a fim de simular as condições reais de operação, mantendo a amostra constantemente homogeneizada e evitando a sedimentação de sólidos em suspensão.

Decorrido o tempo de contato, alíquotas do efluente eram coletadas para a realização dos exames microbiológicos e obtenção do número final de microrganismos (N). Todos os ensaios de desinfecção foram realizados em escala de laboratório, com operação em batelada e em triplicata.

Ensaio de desinfecção com radiação UV

Antecedendo os ensaios de desinfecção com radiação UV, foram realizadas medições da intensidade de radiação emitida pelas lâmpadas acopladas ao reator, com radiômetro (Vilber Loumart) com sensor detector de radiação UV no comprimento de onda 254 nm. As doses de radiação UV foram determinadas seguindo o roteiro descrito por Daniel (2001) e estudo realizado por Souza *et al.* (2012).

A configuração do reator UV em escala laboratorial, utilizado neste estudo é mostrada na Figura 1. Os experimentos foram realizados com altura de lâmina líquida (LL) do efluente de 2 cm, totalizando volume de 3.6 L de efluente em um reator com as seguintes características: retangular (40cm x 45cm x 15cm), construído em aço inox, com cúpula removível de alumínio de 10 cm de altura; Com seis lâmpadas emersas de baixa pressão de vapor de mercúrio, no comprimento de onda de 254 nm, distanciadas entre si em 2.2 cm e 15 W de potência nominal cada uma e interruptores individuais de energia.

Previamente aos ensaios de desinfecção, para aquecimento das lâmpadas e estabilização da corrente, as seis lâmpadas do reator eram ligadas por um período de 15 minutos.

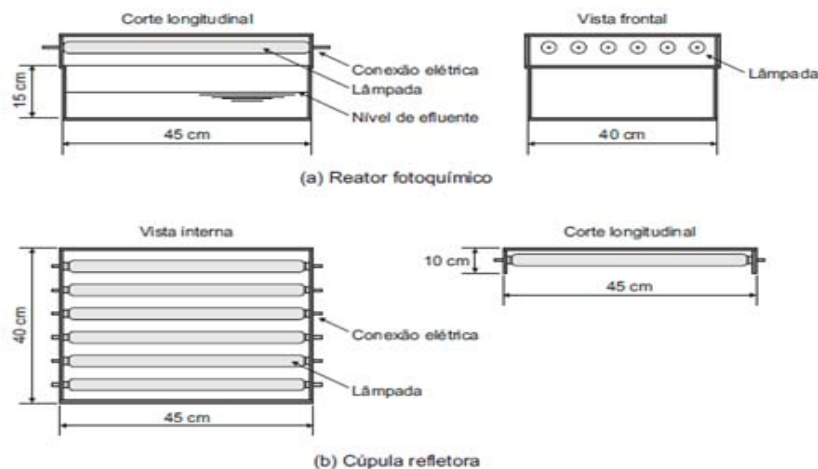


Figura 1 Esquema ilustrativo do reator UV de bancada. Adaptado de Bilotta e Daniel (2012).

Ensaio de desinfecção com APA

Nos ensaios de desinfecção com APA foi utilizado o produto comercial PROXITANE® 1512 que é uma mistura quaternária em equilíbrio contendo ácido peracético (15%), peróxido de hidrogênio (23%), ácido acético (16%) e veículo estabilizante (100%). Para a realização do ensaio foram utilizados béqueres de vidro borossilicato com capacidade de 2L cada.

Para inibir a ação do APA residual, após a conclusão dos tempos de contato especificados, era adicionado tiosulfato de sódio (3%) na proporção de 0.1 mL para cada 100 mL de amostra. O APA residual foi medido utilizando-se o método colorimétrico de leitura fotométrica DPD com leitura em espectrofotômetro no comprimento de onda de 515 nm.

Ensaio de desinfecção com H_2O_2

Para este tratamento os procedimentos, as dosagens de H_2O_2 e os tempos de contato foram iguais aos utilizados nos ensaios de desinfecção com APA. O produto comercial utilizado foi o INTEROX® H_2O_2 35-20 (35%). Para a leitura do H_2O_2 remanescente foi utilizada uma solução de 2 mL de metavanadato de amônia (coloração amarela) e 1 mL de amostra. As leituras eram realizadas imediatamente após os tratamentos de desinfecção em espectrofotômetro em comprimento de onda de 446 nm.

Ensaio de desinfecção com Processos Oxidativos Avançados (POA): APA/UV e H_2O_2 /UV

Nos tratamentos com POA foram empregados os mesmos procedimentos dos métodos individuais de desinfecção, os quais foram utilizados como controle para avaliação de ocorrência

de efeito sinérgico. Os ensaios foram realizados no reator UV, com volume de 3.6 L, sob constante agitação. Nestes ensaios não foram utilizados inibidores, como exposto no ensaio com APA.

Para o ensaio de desinfecção com APA/UV foi utilizado como desinfetante primário o APA para os tempos de contato adotados 10 e 20 minutos e, decorrido este tempo, o efluente era exposto às doses previamente estabelecidas de radiação UV 62.02, 123.99 e 206.65 mWs/cm².

O mesmo procedimento ocorreu com o ensaio de desinfecção com H₂O₂/UV, em que o desinfetante primário foi o H₂O₂ para os tempos de contato já descritos e, como tratamento secundário, doses de radiação UV 30.62, 60.77, 101.28 mWs/cm².

Verificação de sinergismo

Para os tratamentos de desinfecção com POA (APA/UV e H₂O₂/UV) foi verificada a possível ocorrência de sinergismo, considerando o modelo adotado por Finch *et al.* (2000), em que:

$$\text{Sinergismo: } I_r - (I_1 + I_2)$$

Equação (1)

Onde:

I_r: inativação decorrente do processo sequencial

I₁: inativação decorrente do desinfetante primário

I₂: inativação decorrente do desinfetante secundário

I: inativação - Log (N/No)

N: número final de microrganismos

NO: número inicial de microrganismos

Análise estatística

Utilizou-se um delineamento experimental inteiramente casualizado (DIC) e aos resultados obtidos foram aplicados análise de variância empregando-se o teste F, ANOVA com um fator. Após a análise de variância, foram realizados testes de comparações das médias para cada parâmetro, pelo teste de Tukey ao nível de significância de 5% (p<0.05).

Resultados e discussões

Os resultados apresentados a seguir referem-se à avaliação dos efeitos de desinfecção com radiação UV, pelos processos oxidativos APA e H₂O₂ e processos oxidativos avançados APA/UV e H₂O₂/UV, além da verificação de sinergismo nos processos combinados de desinfecção, por meio da inativação dos microrganismos: *E. coli*, CT, *C. perfringens* e colifagos.

Caracterização do efluente

Na Tabela 1 são apresentados os resultados das características físicas, químicas e microbiológicas do efluente.

Tabela 1. Caracterização física, química e microbiológica do efluente do filtro anaeróbio utilizados nos ensaios de desinfecção.

| Parâmetros | Ensaio 1 | Ensaio 2 |
|--|--|--|
| Absorbância (254 nm) | 0.36±0.3 | 0.15±0.1 |
| Cor aparente (uC) | 327±178 | 244±93.4 |
| Cor verdadeira (uC) | 123±51.4 | 91.6±46.8 |
| DQO (mg L ⁻¹) | 91.4±17.8 | 63.1±17.1 |
| Sólidos totais (mg L ⁻¹) | 288±116.5 | 193±79.6 |
| Sólidos suspensos totais (mg L ⁻¹) | 20±8.8 | 18±3.6 |
| pH | 7.4±0.2 | 7.1±0.1 |
| Turbidez (uT) | 45.4±21.3 | 35.4±21.4 |
| <i>E. coli</i> (UFC/100 mL) | 1.4x10 ⁶ ±7.3x10 ⁵ | 1.5x10 ⁶ ±6.7x10 ⁵ |
| CT (UFC/100 mL) | 5.7x10 ⁶ ±5.0x10 ⁶ | 4.1x10 ⁶ ±3.4x10 ⁶ |
| <i>C. perfringens</i> (NMP/100 mL) | >1.6x10 ⁴ | >1.6x10 ⁴ |
| colifagos (UFP/100 mL) | 1.1x10 ³ ±4.5x10 ² | 2.6x10 ³ ±6.2x10 ² |

Nota: Denominou-se ensaio 1 aqueles realizados com UV, APA e APA/UV; e ensaio 2 aqueles realizados com UV (com outras doses) e com H₂O₂, H₂O₂/UV.

Os resultados das análises de absorbância a 254 nm, DQO, SST e turbidez, variaram respectivamente, de 0.15 a 0.36, de 63.1 a 91.4 mg L⁻¹, de 18 a 20 mg L⁻¹ e 35.4 a 45.4 uT do primeiro para o segundo ensaio. As concentrações de sólidos suspensos presentes comumente nos efluentes sanitários têm papel relevante para a desinfecção com radiação UV, APA e H₂O₂, pois oferecem proteção aos microrganismos, interferindo na ação dos desinfetantes (Lazarova *et al.*, 1999).

A absorbância a 254 nm, SST e turbidez interferem na eficácia da desinfecção por UV, APA e H₂O₂, pois, estes sólidos oferecem proteção aos microrganismos interferindo na ação dos desinfetantes (Lazarova *et al.*, 1999; USEPA, 1999a). A turbidez possui relação com SST e, os valores destes encontram-se abaixo do mínimo recomendado de 30 mg L⁻¹ pela USEPA (1999b). A absorbância relaciona-se com as doses de radiação. A USEPA (1999a) classifica os valores de absorbância 254 nm para a desinfecção por radiação UV em: 0,022 como excelente, 0,071 como bom e 0,125 como razoável. Na pesquisa, mesmo os valores de absorbância 254 nm terem se apresentado superiores aos recomendados pela USEPA (1999a), não foi observado efeito negativo na eficiência da desinfecção.

Com relação ao potencial hidrogeniônico (pH), em todas as análises os valores não apresentaram variações significativas, mantendo-se em valores próximos à neutralidade: valores médios de 7.4±0.2 no ensaio 1 e 7.1±0.1 no ensaio 2.

Radiação UV

Nas Figuras 2, 3, 4 e 5 são apresentados os resultados das inativações médias obtidas na desinfecção com radiação UV nos ensaios 1 e 2, para cada microrganismo indicador, em relação aos valores de tempos de contato e doses médias efetivas de radiação UV.

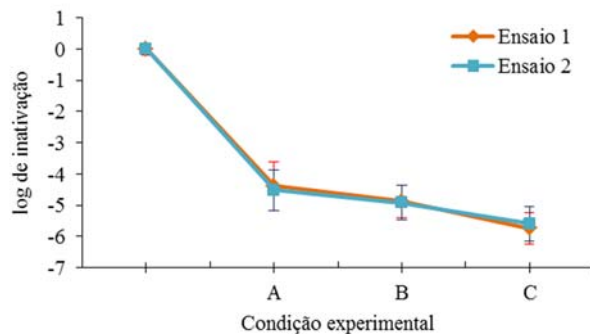


Figura 2. Inativação de *E. coli* - valores médios e desvios-padrão em função das doses médias efetivas de radiação UV e tempos de contato.

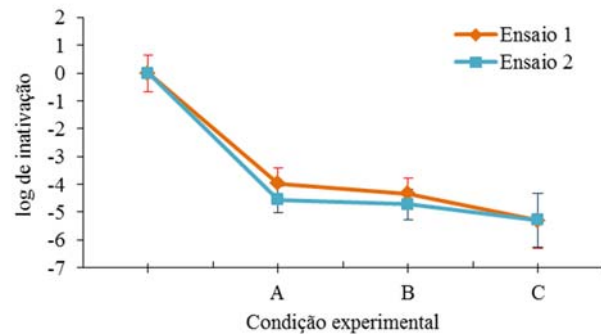


Figura 3. Inativação de CT - valores médios e desvios-padrão em função das doses médias efetivas de radiação UV e tempos de contato.

Nota: Ensaio 1: condição A: t (15 s) = 62.02 mWs/cm²; condição B: t (30 s) = 123.99 mWs/cm² e condição C: t (50 s) = 206.65 mWs/cm². Ensaio 2: condição A: t (15 s) = 30.62 mWs/cm²; condição B: t (30 s) = 60.77 mWs/cm² e condição C: t (50 s) = 101.28 mWs/cm². O ponto 0 refere-se a desindade inicial dos microrganismos indicadores e está localizado no gráfico à esquerda da condição A.

De modo geral, com base na análise de variância, para os ensaios 1 e 2, observaram-se eficiências significativas na inativação de todos os microrganismos indicadores: *E. coli*, CT, *C. perfringens* e colifagos. Cabe salientar, que quando compararam-se as médias das inativações, não houve diferença entre as doses utilizadas nos ensaios, exceto para *E. coli* e *C. perfringens*, que no ensaio 2 apresentaram os melhores resultados de desinfecção a partir das condições B e C.

Avaliando-se os dados representados nas Figuras 2 e 3, no ensaio 1, observou-se que as condições A, B e C utilizadas no estudo, não diferiram entre si, e os maiores valores médios de inativação obtidos para *E. coli* (F= 76.57; p= 0.000003) e CT (F= 46.18; p= 0.00002) foram de 5.7 e 5.2 log para a dose de 206.65 mWs/cm².

No ensaio 2, para a bactéria *E. coli* (F= 115.73; p= 0.0000003) as inativações foram significativas para as condições B e C, com reduções de 5 a 6 log. Ressalta-se que a dose utilizada na condição B é semelhante a dose utilizada no ensaio 1 para a condição A. Para CT (F= 40.86; p= 0.00004), os resultados alcançados também foram significativos para todas as condições aplicadas, obtendo-se inativações de até 5.0 log, quando utilizada a dose de 101.28 mWs/cm².

Conforme os dados apresentados, é possível afirmar que a radiação UV promoveu inativações expressivas para *E. coli* e CT quando utilizaram-se as doses mais elevadas. Para *E. coli* foram alcançadas inativações de quase 100 %, enquanto CT mostraram-se mais resistentes à desinfecção, apresentando valores menores de inativações, porém eficientes. Fricker e Eldred (2009), explicam que tal fato é devido à alguns membros do grupo coliformes totais serem considerados mais resistentes à desinfecção do que a bactéria *E. coli*.

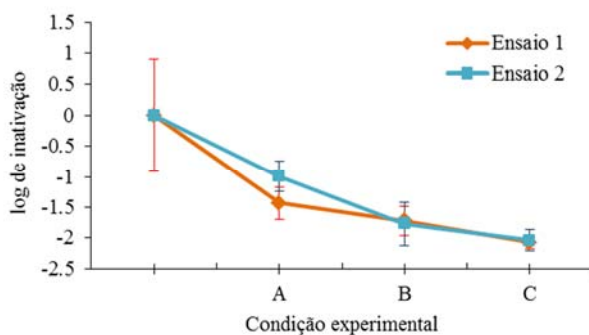


Figura 4. Inativação de *C. perfringens* - valores médios e desvios-padrão em função das doses médias efetivas de radiação UV e tempos de contato.

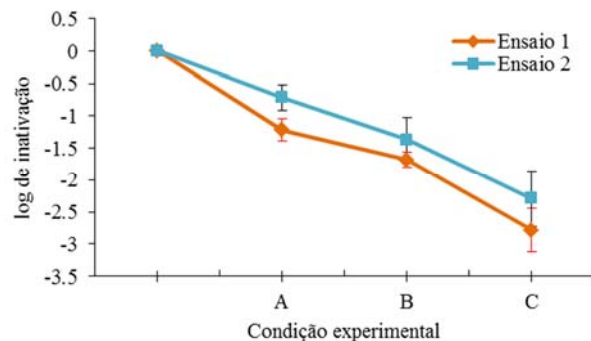


Figura 5. Inativação de colifagos - valores médios e desvios-padrão em função das doses médias efetivas de radiação UV e tempos de contato.

Nota: Ensaio 1: condição A: t (15 s) = 62.02 mWs/cm²; condição B: t (30 s) = 123.99 mWs/cm² e condição C: t (50 s) = 206.65 mWs/cm². Ensaio 2: condição A: t (15 s) = 30.62 mWs/cm²; condição B: t (30 s) = 60.77 mWs/cm² e condição C: t (50 s) = 101.28 mWs/cm². O ponto 0 refere-se a desidade inicial dos microrganismos indicadores e está localizado no gráfico à esquerda da condição A.

A bactéria *C. perfringens* foi o microrganismo que apresentou maior resistência à desinfecção UV nas dosagens aplicadas. As maiores eficiências de inativação observadas para *C. perfringens*, em torno de 2 log, foram alcançadas para as doses mais elevadas de radiação UV: 206.65 mWs.cm² para o ensaio 1 (F= 36.98; p= 0.00004) e 101.28 mWs.cm² para o ensaio 2 (F= 352.26; p= 0.000000008). Estas observações evidenciam a resistência que as bactérias esporuladas apresentam, demonstrando a necessidade de doses de UV muito mais elevadas, quando comparado aos outros microrganismos do estudo.

Guimarães e Barretto (2003) obtiveram reduções semelhantes, de 1.5 a 2.0 log, porém, com doses maiores de radiação UV, variando de 137.64 a 1743.44 mWs/cm², para densidade inicial de *C. perfringens* de 1.6×10^3 NMP/100 mL inoculados em água sintética, com turbidez de 2.8 uT.

Assim como ocorreu com os demais microrganismos, as maiores inativações para colifagos foram obtidas quando aplicadas as doses mais elevadas de radiação UV: 2.7 log no ensaio 1 ($F= 17.31$; $p = 0.0007$) e 2.9 log no ensaio 2 ($F= 52.74$; $p= 0.00007$).

Com base nos resultados, pode-se observar que a resistência à desinfecção por radiação UV classifica-se na seguinte ordem: bactérias < vírus < esporos, o que também foi observado por Burch e Thomas (1998); USEPA (1999b).

APA

Nas figuras 6, 7, 8 e 9 são apresentados os resultados das inativações de *E. coli*, CT, *C. perfringens* e colifagos nos ensaios de desinfecção com APA nas concentrações de 2 e 3 mg L⁻¹ e tempos de contato de 10 e 20 minutos.

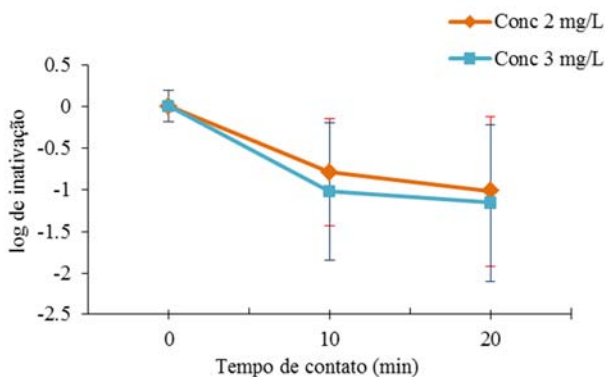


Figura 6. Inativação de *E. coli* – valores médios e desvios-padrão em função das concentrações de APA e tempos de contato.

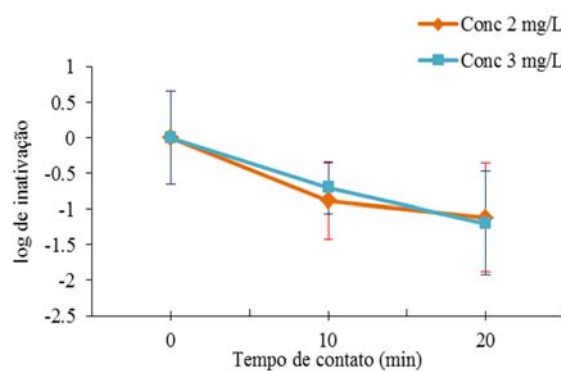


Figura 7. Inativação de CT – valores médios e desvios-padrão em função das concentrações de APA e tempos de contato.

Para todas as dosagens de APA, considerando-se o fator Ct, as inativações de *E. coli* ($F= 4.54$; $p = 0.02$) e CT ($F= 2.49$; $p= 0.11$) não foram significativas, apresentando baixa eficiência, e assim obtendo-se inativações médias de até 1.0 log.

Considerando os dados obtidos, pode-se dizer que foram detectadas diferenças estatísticas entre as médias da concentração inicial e remanescente de *E. coli*, e todas as dosagens (fator Ct) aplicadas nos ensaios foram consideradas iguais. No entanto, para o grupo CT, não ocorreram diferenças estatísticas e os resultados demonstram que nenhuma das dosagens aplicadas foram significativas para inativar estes microrganismos.

Souza *et al.* (2015) em experimentos com esgoto sanitário com a mesma concentração de APA aplicado de 2 mg L⁻¹ obtiveram inativação de 1.7 log para *E. coli*. Na presente pesquisa foi observado um comportamento semelhante. Para maiores eficiências de desinfecção com APA, dosagens mais elevadas devem ser aplicadas, como demonstrado pelos autores Lazarova *et al.* (1999) e Carretti e Lubello (2003) que utilizaram doses de APA superiores a 100 mg.min/L, e obtiveram inativações que variaram de 3 a 4 log para *E. coli*.

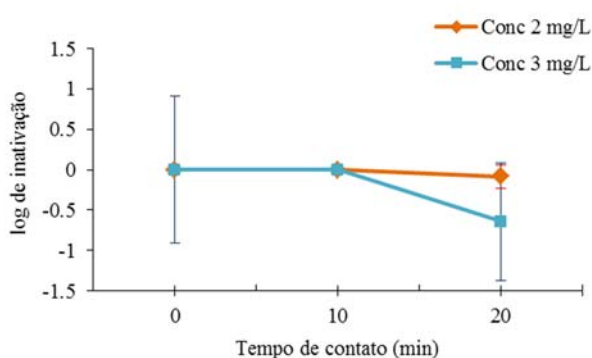


Figura 8. Inativação de *C. perfringens* - valores médios e desvios-padrão em função das concentrações de APA e tempos de contato.

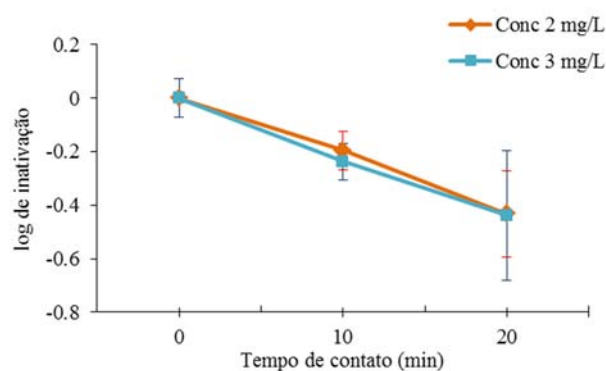


Figura 9. Inativação de colifagos – valores médios e desvios-padrão em função das concentrações de APA e tempos de contato.

Os resultados obtidos para *C. perfringens* ($F= 1.01$; $p= 0.44$) e colifagos ($F= 1.58$; $p= 0.25$) nas dosagens aplicadas (fator Ct) apontaram resultados não significativos na inativação destes microrganismos, assim como ocorreu com o grupo CT. Para *C. perfringens* foram alcançadas reduções médias de até 0.7 log. Este valor encontra-se próximo de uma faixa média de inativação de 0.14 e 0.96 log, observada por SARTORI (2004), que utilizou concentrações de APA de 5, 10 e 15 mg L⁻¹, e tempos de contato de 10, 20 e 30 minutos. Para colifagos as reduções médias alcançadas com a desinfecção com APA foram de até 0.4 log.

Os resultados obtidos para os ensaios de desinfecção com APA, para os microrganismos CT, *C. perfringens* e colifagos, não foram eficientes, haja vista que a bactéria *E. coli*, é considerada na escala de Liberti e Notarnicola (1999) o microrganismo que apresenta maior sensibilidade a desinfecção, conforme a sequência: bactérias < vírus < bactérias esporuladas < cistos de protozoários.

H₂O₂

Nas Figuras 10, 11, 12 e 13 são apresentados os resultados das inativações de *E. coli*, CT, *C. perfringens* e colifagos nos ensaios de desinfecção com H₂O₂ nas concentrações de 2 e 3 mg L⁻¹ e tempos de contato de 10 e 20 minutos.

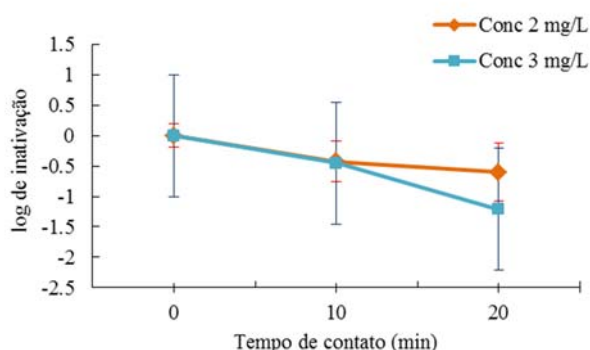


Figura 10. Inativação de *E. coli* - valores médios e desvios-padrão em função das concentrações de H₂O₂ e tempos de contato.

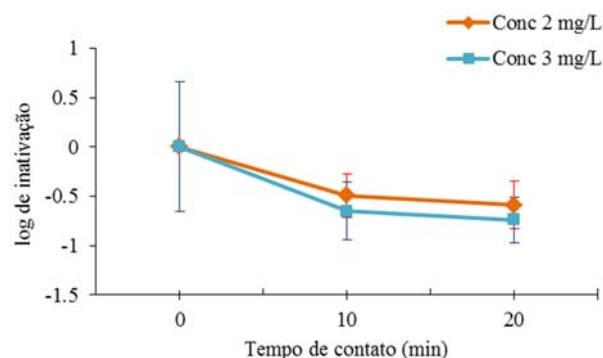


Figura 11. Inativação de CT - valores médios e desvios-padrão em função das concentrações de H₂O₂ e tempos de contato.

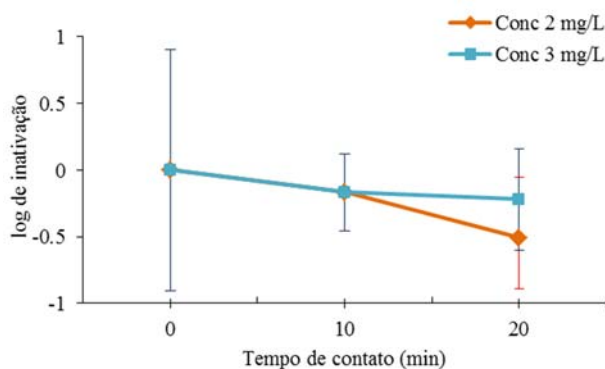


Figura 12. Inativação de *C. perfringens* - valores médios e desvios-padrão em função das concentrações de H₂O₂ e tempos de contato.

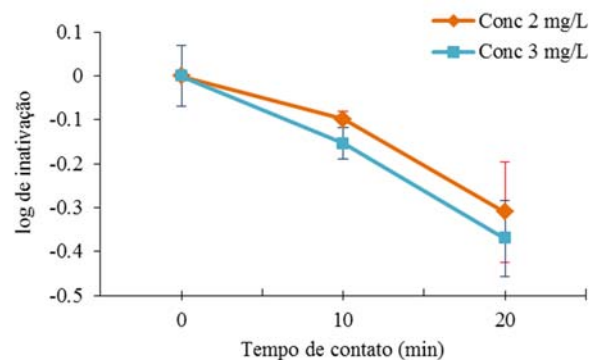


Figura 13. Inativação de colifagos - valores médios e desvios-padrão em função das concentrações de H₂O₂ e tempos de contato.

Assim como ocorreu nos ensaios com APA, com as mesmas condições experimentadas, tempos e dosagens de H₂O₂, as inativações médias de *E. coli* (F= 3.02; p= 0.07), CT (F= 2.01; p= 0.17), *C. perfringens* (F= 0.76; p= 0.57) e colifagos (F= 4.87; p= 0.02) foram muito baixas. Quando aumentaram-se as dosagens H₂O₂ (fator Ct), não foram constatadas diferenças estatísticas, obtendo-se assim o mesmo efeito na desinfecção destes microrganismos. Para *E. coli* e CT,

respectivamente, as maiores inativações na desinfecção com H₂O₂ foram de 0.4 a 1.0 log e 0.4 a 0.7 log.

Nabizadeh *et al.* (2013) relataram inativação aproximada de 1 log para coliformes termotolerantes, com consumo de 600 mg L⁻¹ de H₂O₂ e tempo de contato de 1 hora. Outros autores também mencionaram em seus trabalhos que concentrações entre 25 a 40 mg L⁻¹, no tempo de 1 hora de contato, foram insuficientes para reduzir *E. coli* (Labas *et al.*, 2008).

Os dados obtidos neste ensaio de peroxidação, expressam que não foi atingido, ao menos, 1 log de inativação em relação à maioria dos microrganismos indicadores empregados, a saber, CT, *C. perfringens* e colifagos, apontando que as condições experimentais utilizadas não foram suficientes para garantir resultados satisfatórios de desinfecção com H₂O₂.

Ksibi (2006) destaca que o poder de desinfecção do peróxido ocorre pela capacidade deste agente oxidar componentes intracelulares dos microrganismos. O autor também relata possíveis interferências para as baixas inativações microbianas, como a existência de poluentes que podem ser oxidados pelo H₂O₂, ou mesmo a presença de SST que interferem na desinfecção.

APA/UV

Nas Figuras 14, 15, 16 e 17 são apresentados os resultados das inativações de *E. coli*, CT, *C. perfringens* e colifagos, alcançados pela aplicação do processo oxidativo avançados APA/UV.

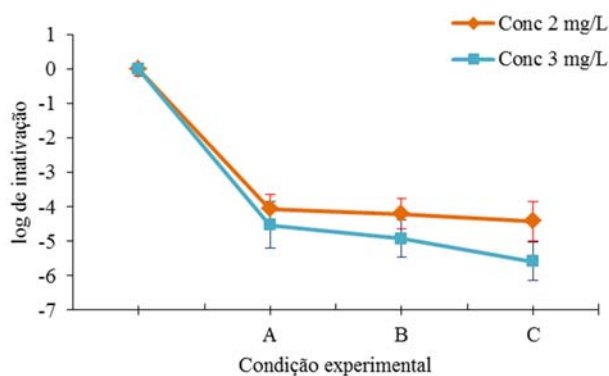


Figura 14. Inativação de *E. coli* - valores médios e desvios-padrão em função das doses médias efetivas de APA/UV e tempos de contato.

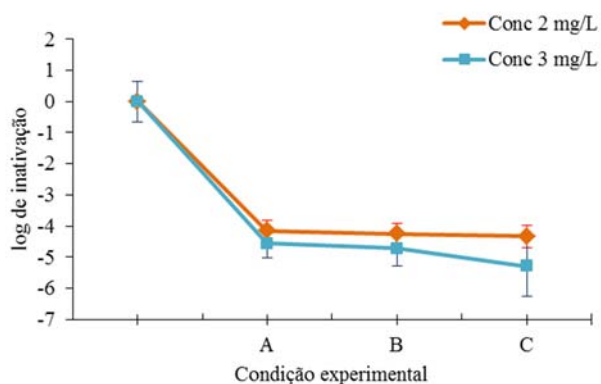


Figura 15. Inativação de CT - valores médios e desvios-padrão em função das doses médias efetivas de APA/UV e tempos de contato.

Nota: condição A: $t (15 s) = 62.02 \text{ mWs/cm}^2$; condição B: $t (30 s) = 123.99 \text{ mWs/cm}^2$ e condição C: $t (50 s) = 206.65 \text{ mWs/cm}^2$. O ponto 0 refere-se a desidade inicial dos microrganismos indicadores e está localizado no gráfico à esquerda da condição A.

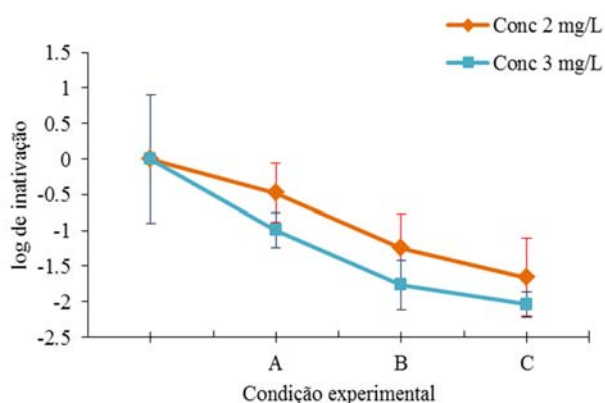


Figura 16. Inativação de *C. perfringens* - valores médios e desvios-padrão em função das doses médias efetivas de APA/UV e tempos de contato.

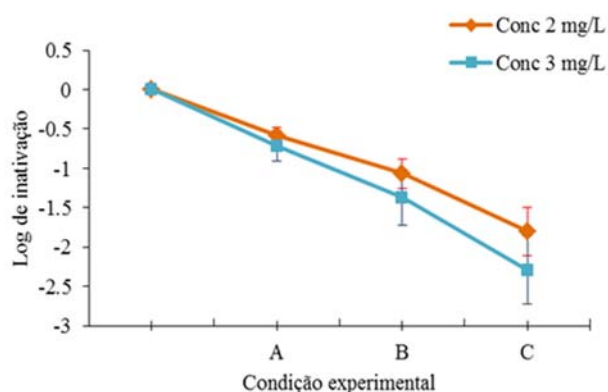


Figura 17. Inativação de Colifagos - valores médios e desvios-padrão em função das doses médias efetivas de APA/UV e tempos de contato.

Nota: condição A: $t (15 s) = 62.02 \text{ mWs/cm}^2$; condição B: $t (30 s) = 123.99 \text{ mWs/cm}^2$ e condição C: $t (50 s) = 206.65 \text{ mWs/cm}^2$. O ponto 0 refere-se a desinidade inicial dos microrganismos indicadores e está localizado no gráfico à esquerda da condição A.

Verificou-se comportamento semelhante ao observado na desinfecção com a radiação UV (ensaio 1), com eficiência significativa na inativação de todos os microrganismos indicadores utilizados, assim como, os resultados dos testes de médias para as concentrações e condições A, B e C utilizadas neste estudo, indicaram que estas não diferem entre si, e que as maiores inativações foram obtidas quando aplicadas as doses mais elevadas de radiação UV.

Para *E. coli* ($F= 25.27$; $p= 0.0000009$) obtiveram-se inativações médias de 4.4 e 5.6 log para as concentrações de 2 e 3 mg L^{-1} de APA, respectivamente, e dose média de UV de 206.65 mWs/cm^2 . Analisando-se os resultados para CT ($F= 46.69$; $p= 0.00000002$), foram observadas inativações médias de 4.7 e 5.0 log, para as mesmas concentrações e doses descritas para *E. coli*.

Souza *et al.* (2015) relataram inativação de 4.5 log para *E. coli*, atingindo 100% de inativação deste microrganismo, em condições operacionais semelhantes às realizadas nesta pesquisa.

Tang e Chen (2004) para dosagens de 2 a 4 mg L^{-1} de APA e doses médias de UV de 10 a 20 mWs/cm^2 , alcançaram inativações de 4 a 5 log para efluente primário tratado. Resultados próximos a esses também foram descritos por Caretti e Lubello (2003), utilizando efluente secundário filtrado, em que foram obtidas inativações de até 6 log de CT para dosagens de APA variando de 0 a 8 mg L^{-1} e doses de UV de 0 a 300 mWs/cm^2 .

Em se tratando do microrganismo mais resistente, *C. perfringens* ($F= 11.02$; $p= 0.0001$), foi obtida inativação de até 2.0 log, quando empregada a condição C (Figura 16), com as concentrações de

2 e 3 mg L⁻¹ de APA/UV. Para as condições A e B utilizadas nas mesmas concentrações de APA/UV, os resultados de inativação alcançados variaram de 0.8 a 1.6 log.

Para colifagos (F= 10.78; p= 0.0001) os resultados obtidos foram de até 2.2 log para a dose de 3 mg L⁻¹/206.65 mWs/cm² de APA/UV, decréscimo significativo para a inativação deste microrganismo indicador, porém, menos efetivo, quando comparado à desinfecção com radiação UV (Ensaio 2), que alcançou resultados de inativação de aproximadamente de 3.0 log.

H₂O₂/UV

Nas Figuras 18, 19, 20 e 21 são apresentados os resultados das inativações de *E. coli*, CT, *C. perfringens* e colifagos alcançados pela aplicação do processo oxidativo avançado H₂O₂/UV.

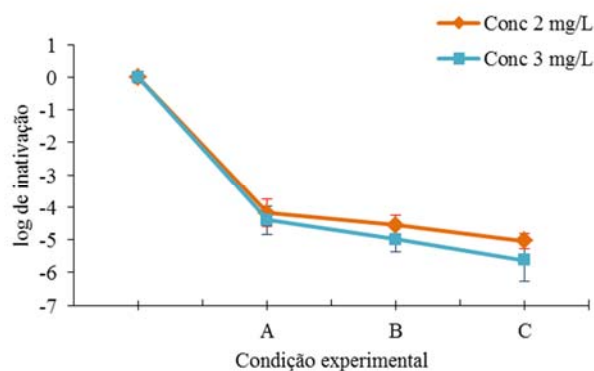


Figura 18. Inativação de *E. coli* - valores médios e desvios-padrão em função das doses médias efetivas de H₂O₂/UV e tempos de contato.

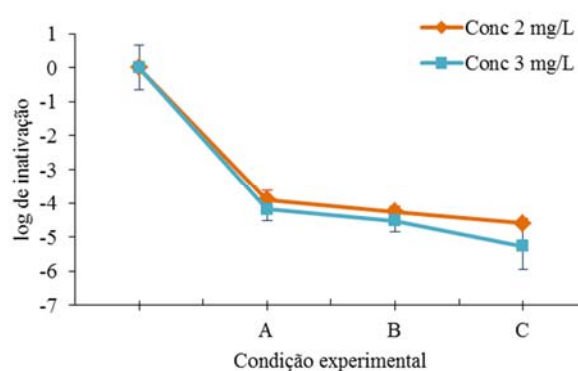


Figura 19. Inativação de CT - valores médios e desvios-padrão em função das doses médias efetivas de H₂O₂/UV e tempos de contato

Nota: condição A: t (15 s) = 30.62 mWs/cm²; condição B: t (30 s) = 60.77 mWs/cm² e condição C: t (50 s) = 101.28 mWs/cm².

O ponto 0 refere-se a desindade inicial dos microrganismos indicadores e está localizado no gráfico à esquerda da condição A.

O comportamento dos microrganismos: *E. coli*, CT, *C. perfringens* e colifagos manteve-se semelhante ao observado e já discutido em relação a desinfecção com radiação UV e APA/UV, porém, cabe destacar que a dosagem de UV foi quase abaixo da metade da que foi utilizada na desinfecção com APA/UV.

Detectou-se diferença estatística em todas as dosagens de H₂O₂/UV utilizadas nos ensaios, e pelo teste de médias, os resultados mais efetivos verificados para *E. coli* (F= 54.47; p= 0.000000006) e CT (F= 84.22; p= 0.000000003), ocorreram quando utilizaram-se as concentrações de 2 e

3 mg L⁻¹ para as condições B (60.77 mWs/cm²) e C (101.28 mWs/cm²), estas dosagens foram consideradas iguais na inativação destes microrganismos.

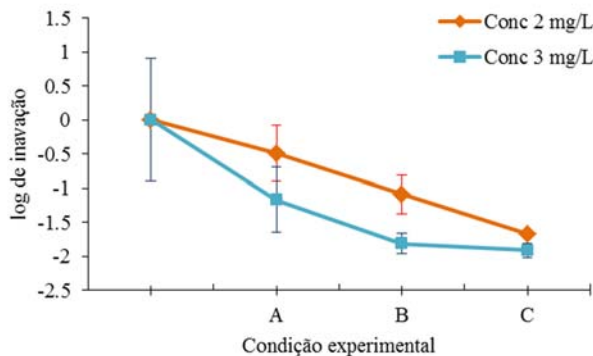


Figura 20. Inativação de *C. perfringens* - valores médios e desvios-padrão em função das doses médias efetivas de H₂O₂/UV e tempos de contato.

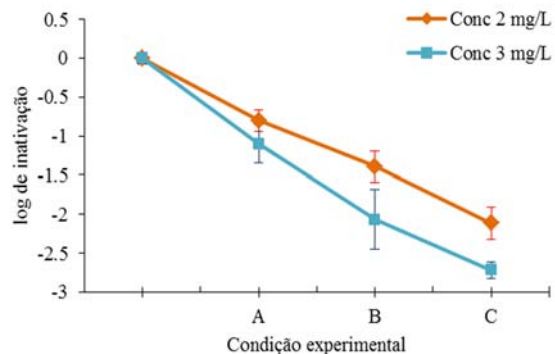


Figura 21. Inativação de colifagos - valores médios e desvios-padrão em função das doses médias efetivas de H₂O₂/UV e tempos de contato.

Nota: condição A: t (15 s) = 30.62 mWs/cm²; condição B: t (30 s) = 60.77 mWs/cm² e condição C: t (50 s) = 101.28 mWs/cm². O ponto 0 refere-se a desidade inicial dos microrganismos indicadores e está localizado no gráfico à esquerda da condição A.

E. coli e CT atingiram inativações médias mais elevadas, respectivamente, de 5.2 e 5.0 log com a dosagem de 2 mg L⁻¹ H₂O₂/101.28 mWs/cm² e de 5.4 e 5.0 log de inativação para a dosagem 3 mg L⁻¹ H₂O₂/101.28 mWs/cm².

Bhatti *et al.* (2011) atingiram inativação total para *E. coli* empregando processos oxidativos avançados, utilizando dose de UV de aproximadamente 43.200 mWs/cm² e concentração de 1400 mg L⁻¹ de H₂O₂. Estas condições operacionais foram bem superiores às do presente estudo.

A inativação de *C. perfringens* (F= 34.87; p= 0.0000001), atingiu até 1.9 log no processo combinado H₂O₂/UV. A mesma inativação de 1.9 log foi alcançada no trabalho realizado por Agulló-Barceló *et al.* (2013), em que os autores utilizaram a adição de 20 mg L⁻¹ de peróxido de hidrogênio, com exposição solar de 5 horas. Lanao *et al.* (2010) atingiram redução um pouco acima de 1 log, utilizando dose de UV de 90 mWs/cm², 1.76 mg de H₂O₂ com a turbidez do efluente de 86 uT.

Para colifagos (F= 45.40; p= 0.00000002), a maior inativação média alcançada foi de até 2.7 log para doses de 3 mg L⁻¹/101.28 mWs/cm² de H₂O₂/UV. Bounty *et al.* (2012), relataram inativação de 4 log de adenovirus com dose de 120 mWs/cm² de radiação UV e 10 mg L⁻¹ de H₂O₂.

A dosagem de 2 mg L⁻¹ H₂O₂/101.28 mWs/cm², foi a única a não apresentar resultados significativos para a inativação de *C. perfringens*, enquanto as demais dosagens foram consideradas estatisticamente iguais, e promoveram o mesmo efeito na inativação. Para colifagos houve eficiência na inativação, porém todas as dosagens aplicadas de H₂O₂/UV, apresentaram o mesmo efeito, ou seja, não diferiram entre si.

Sinergismo

A partir dos resultados de inativação atingidos pelos processos combinados de desinfecção APA/UV e H₂O₂/UV avaliou-se a ocorrência ou não de efeitos sinérgicos para ambos os processos de desinfecção. Os resultados são apresentados nas Tabelas 2 e 3 e os que apresentam sinal positivo indicam a ocorrência de sinergismo.

Tabela 2. Verificação de sinergismo utilizando o método de desinfecção POA (APA/UV).

| Microrganismos Indicadores | Doses APA/UV (mg L ⁻¹ / mWs.cm ⁻²) | | | | | |
|----------------------------|---|-----------|-----------|----------|-----------|-----------|
| | 2(62.02) | 2(123.99) | 2(206.65) | 3(62.02) | 3(123.99) | 3(206.65) |
| <i>E. coli</i> | -1.12 | -1.47 | -2.11 | -0.89 | -0.98 | -1.17 |
| CT | -0.71 | -0.98 | -1.86 | -0.12 | -0.32 | -0.72 |
| <i>C. perfringens</i> | -1.00 | -0.48 | -0.41 | -0.44 | 0.05 | -0.03 |
| colifagos | -0.83 | -0.81 | -1.18 | -0.74 | -0.55 | -0.73 |

Tabela 3. Verificação de sinergismo utilizando o método de desinfecção POA (H₂O₂/UV).

| Microrganismos Indicadores | Doses H ₂ O ₂ /UV (mg L ⁻¹ -mWs.cm ⁻²) | | | | | |
|----------------------------|---|----------|-----------|----------|----------|-----------|
| | 2(30.62) | 2(60.77) | 2(101.28) | 3(30.62) | 3(60.77) | 3(101.28) |
| <i>E. coli</i> | -1.06 | -0.60 | -0.54 | -0.87 | -0.19 | 0.02 |
| CT | -0.42 | -1.06 | -1.12 | -0.29 | -0.95 | -0.60 |
| <i>C. perfringens</i> | -0.25 | 0.29 | -0.29 | 0.43 | 1.01 | -0.05 |
| colifagos | -0.43 | -0.60 | -0.73 | -0.18 | 0.03 | -0.18 |

Não foi observada a ocorrência de sinergismo nesse experimento. Tal fato, pode ser relacionado ao que relataram Souza *et al.* (2015) que verificaram em seus experimentos com esgoto, que o baixo valor residual de APA ao final do experimento, os tempos de contato adotados e as concentrações de APA utilizadas no ensaio, não foram suficientes para a formação de POA, comprometendo os efeitos adicionais de inativação dos microrganismos indicadores.

González *et al.* (2012) em uma planta piloto, utilizando efluente primário para fins de reúso, não verificaram sinergismo utilizando APA/UV para os parâmetros adotados, e atribuíram tal fato a presença de material particulado e matéria orgânica que podem ter reagido instantaneamente

com APA e, quando aplicado UV, havia pouco ou nenhum residual de APA, não prosseguindo a desinfecção pelo método combinado como esperado.

Para os ensaios envolvendo H₂O₂/UV (Tabela 3) o efeito sinérgico, neste caso, foi verificado para os microrganismos: *E. coli*, *C. perfringens* e colifagos. Constatou-se para *C. perfringens* mais ocorrências de sinergismo, conforme os ensaios H₂O₂/UV, que resultaram no aumento de 1 log de inativação para esta bactéria. Medeiros e Daniel (2015) também verificaram esta ocorrência para *C. perfringens* e *Giardia* spp., microrganismos considerados mais resistentes, quando utilizaram a combinação de cloro e radiação UV em experimentos de desinfecção.

Conclusões

A radiação UV, destacou-se como o método mais eficiente na desinfecção dos microrganismos *E. coli*, CT, *C. perfringens* e colifagos, atingindo valor de até 6 log de inativação para *E. coli*, demonstrando grande potencialidade para a desinfecção de esgoto sanitário.

Os processos oxidativos avançados APA/UV e H₂O₂/UV, apresentaram resultados satisfatórios e semelhantes aos obtidos por radiação UV. Entretanto, para H₂O₂ e APA, ocorreu o oposto, nenhum dos resultados obtidos foi considerado significativo na inativação destes microrganismos, para as condições investigadas no estudo.

Observou-se maior resistência da espécie *C. perfringens*, quando comparada aos demais microrganismos indicadores, a partir das condições experimentais aplicadas. Porém, a aplicação de processos oxidativos avançados permitiu resultados satisfatórios, como a ocorrência de sinergia por meio da desinfecção com H₂O₂/UV, ocasionando aumento de 1 log na inativação deste microrganismo comparado a aplicação dos métodos individuais de desinfecção. Desse modo, estudos complementares são sugeridos para investigar a ocorrência de efeitos sinérgicos.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) – Código de financiamento 001.

Referências

Aguiar, A. M. S. (2000) *Avaliação do emprego da radiação ultravioleta na desinfecção de águas com cor e turbidez moderadas*. Dissertação (Mestrado) – Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 111 pp. Acesso em 18 de junho de 2017, disponível em: <http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/handle/1843/BUOS-8DYF55>

- Agulló-Barceló, M., Polo-López, M. I., Lucena, F., Jofre, J., Fernández-Ibáñez, P. (2013) Solar advanced oxidation process as disinfection tertiary treatments for real wastewater: implications for water reclamation. *Applied Catalysis B: Environmental*, **136**(137), 341-350. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2013.01.069>
- APHA, AWWA, WEF. (2012) *Standart Methods for Examination of Water and Wastewater*. 22th edition. Amer. Public. Health Assoc.: Washington, D.C. 1360 pp.
- Bhatti, Z. A., Mahmood, Q., Raja, I. A., Malik, A. H., Rashid, N., Wu, D. (2011) Integrated chemical treatment of municipal wastewater using waste hydrogen peroxide and ultraviolet light. *Physics and Chemistry of the Earth*, **36**, 459-464. doi: <https://doi.org/10.1016/j.pce.2010.03.024>
- Bilotta, P., Daniel, L.A. (2012) Utilização de lâmpadas germicidas na desinfecção de esgoto sanitário, *Ambi-Água*, **7**(1), 120-129. doi: <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.845>
- Bounty, S., Rodriguez, R. A., Linden, K. G. (2012) Inactivation of adenovirus using low-dose UV/H₂O₂ advanced oxidation. *Water Research*, **46**, 6273-6278. doi: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2012.08.036>
- Burch, J. D., Thomas, K. E. (1998) Water disinfection for developing countries and potential for solar thermal pasteurization. *Solar Energy*, **64**, 87-97. doi: [https://doi.org/10.1016/S0038-092X\(98\)00036-X](https://doi.org/10.1016/S0038-092X(98)00036-X)
- Caretti C., Lubello C. (2003) Wastewater disinfection with PAA and UV combined treatment: a pilot plant study. *Water Research*, **37**(10), 2365-2371. doi: [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(03\)00025-3](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(03)00025-3)
- CETESB, Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (1990) *Determinação de colifagos em amostras de água*. Método de ensaio L5/225. São Paulo, Brasil, 24 p. Acesso em 21 junho de 2018, disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/normas-tecnicas-cetesb/normas-tecnicas-vigentes/>
- CETESB, Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (1993) *Clostridium perfringens: determinação em amostras de água pela técnica de tubos múltiplos*. Método de ensaio L5/213. São Paulo, Brasil, 25 p. Acesso em 21 junho de 2018, disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/normas-tecnicas-cetesb/normas-tecnicas-vigentes/>
- Cho, M., Kim, J., Yoon, J. (2006) Investigating synergism during sequential inactivation of Bacillus subtilis spores with several disinfectants. *Water Research*, **40**(15), 2911-2920. doi: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2006.05042>
- Cordeiro, A. C. S., Leite, S. G. F., Dezotti, M. (2004) Inativação por oxidação fotocatalítica de *Escherichia coli* e *Pseudomonas* sp. *Química Nova*, **27**(5), 689-694. doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-40422004000500002>
- Daniel, L. A. (2001) *Processos de desinfecção e desinfetantes alternativos na produção de água potável*, PROSAB, São Paulo, Brasil, 139 pp. Acesso em 21 de junho de 2018, disponível em: <https://www.finep.gov.br/images/apoio-e-financiamento/historico-de-programas/prosab/LuizDaniel.pdf>
- Finch, G. R., Liyanage, L. R. J., Gyurék, L. L., Bradbury, J. S. (2000) *Synergistic Effects of Multiple Disinfectants*, AWWA Research Foundation and American Water Works Association, Denver, Colo, USA.
- Fricke, C. R., Eldred, B. J. (2009) Identification of coliform genera recovered from water using different technologies. *Letters in applied microbiology*, **49**(6), 685-688. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1472-765X.2009.02726.x>
- Gehr, R., Wagner, M., Veerasubramanian, P., Payment, P. (2003) Disinfection efficiency of peracetic acid, UV and ozone after enhanced primary treatment of municipal wastewater. *Water Research*, **37**(19), 4573-4586. doi: [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(03\)00394-4](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(03)00394-4)
- González, P. A., Urriaga, A. M., Ibáñez, R., Ortiz, I. (2012) State of the art and review on the treatment technologies of water reverse osmosis concentrates. *Water Research*, **46**, 267-283. doi: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2011.10.046>
- Guimarães, J. R., Barretto, A.S. (2003) Photocatalytic inactivation of *Clostridium perfringens* and coliphages in water. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, **20**(4), 403-411. doi: <https://doi.org/10.1590/S0104-66322003000400007>
- Guo, M. T., Huang, J. J., Liu, W. J. (2011) Growth and repair potential of three species of bacteria in reclaimed wastewater after UV disinfection. *Biomedical and Environmental Sciences*, **24**(4), 400-407. doi: <https://doi.org/10.3967/0895-3988.2011.04.011>
- Hijnen, W. A., Beerendonk, E. F., Medema, G. J. (2006) Inactivation credit of UV radiation for viruses, bacteria and protozoan (oo) cysts in water: a review. *Water Research*, **40**, 3-22. doi: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2005.10.030>

- Ksibi, M. (2006) Chemical oxidation with hydrogen peroxide for domestic wastewater treatment. *Chemical Engineering Journal*, **119**(2), 161-165. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2006.03.022>
- Labas, M. D., Zalazar, C. S., Brandi, R. J., Cassano, A.E. (2008) Reaction kinetics of bacteria disinfection employing hydrogen peroxide. *Biochemical Engineering Journal*, **38**, 78-87. doi: <https://doi.org/10.1016/j.bej.2007.06.008>
- Lanao, M., Ormad, M. P., Goñi, P., Miguel, N., Mosteo, R., Ovelleiro, J. L. (2010) Inactivation of *Clostridium perfringens* spores and vegetative cells by photolysis and TiO₂ photocatalysis with H₂O₂. *Solar Energy*, **84**, 703-709. doi: <https://doi.org/10.1016/j.solener.2010.01.023>
- Lazarova, V., Savoye, P., Janex, M. L., Blatchley III, E. R., Pommepuy, M. (1999) Advanced wastewater disinfection technologies: state of the art and perspectives. *Water Science and Technology*, **40**(4-5), 203-213. doi: [https://doi.org/10.1016/S0273-1223\(99\)00502-8](https://doi.org/10.1016/S0273-1223(99)00502-8)
- Liberti, L., Notarnicola, M. (1999) Advanced treatment and disinfection for municipal wastewater reuse in agriculture. *Water Science and Technology*, **40**, 235-245. doi: [https://doi.org/10.1016/S0273-1223\(99\)00505-3](https://doi.org/10.1016/S0273-1223(99)00505-3)
- Mattos, I. L., Shiraiishi, K. A., Braz, A. D., Fernandes, J. R. (2003) Peróxido de Hidrogênio: Importância e Determinação. *Química Nova*, **26**(3), 373-380. doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-40422003000300015>
- Medeiros, R. C., Daniel, L. A. (2015) Comparison of selected Methods for recovery of *Giardia* spp, cysts and *Cryptosporidium* spp, oocysts in wastewater. *Journal of Water and Health*, **1**, 811-818. doi: <https://doi.org/10.2166/wh.2015.228>
- Metcalf e Eddy, INC. (2003) *Wastewater engineering – treatment and reuse*. 4. Ed. Nova York: McGraw-Hill, 1819 pp.
- Nabizadeh, R., Alimohammad, M., Nemat, R., Naddafi, K., Naseri, S., Aslani, H., Mousavipour, S. N. (2013) Disinfection of secondary treated wastewater using under pressure dissolved oxygen, copper ions and hydrogen peroxide. *Global NEST Journal*, **15**(1), 121-130. doi: <https://doi.org/10.30955/gnj.000759>
- Pedroso, C. R. (2015) *Uso da radiação ultravioleta para desinfecção de efluente de reator anaeróbio*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária e Ambiental), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental – Associação Ampla com UEPG, Universidade Estadual do Centro-Oeste, Irati-PR, 69 pp. Acesso em 21 de junho de 2018, disponível em: <http://tede.unicentro.br:8080/jspui/handle/jspui/626>
- Rossi, S., Antonelli, M., Mezzanote, V., Nurizzo, C. (2007) Peracetic acid disinfection: a feasible alternative to wastewater chlorination. *Water Environment Research*, **79**(4), 341-350. doi: <https://doi.org/10.2175/106143006X101953>
- Sartori, L. (2004) *Adequação da qualidade microbiológica de efluentes de esgoto sanitário pela aplicação dos desinfetantes ozônio, permanganato de potássio e ácido peracético*. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) Programa de Pós-Graduação da Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 200 pp. Acesso em 21 de junho de 2018, disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde-12092016-102929/pt-br.php>
- Souza, J. B. (2006) *Avaliação de métodos para desinfecção de água, empregando cloro, ácido peracético, ozônio e o processo de desinfecção combinado cloro/ozônio*. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento), Programa de Pós-Graduação da Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 178 pp. Acesso em 21 de junho de 2018, disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde-01052006-205646/pt-br.php>
- Souza, J. B., Vidal, C. M. S., Cavallini, G. S., Quartaroli, L., Marcon, L. R. C. (2012) Avaliação do emprego da radiação ultravioleta na desinfecção de esgoto sanitário. *Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas*, **33**(2), 117-126. doi: <https://doi.org/10.5433/1679-0375.2012v33n2p117>
- Souza, J. B., Valdez, F. Q., Jenarowski, R. F., Vidal, C. M. S., Cavallini, G. S. (2015) Water and Wastewater Disinfection with Peracetic Acid and UV Radiation and Using Advanced Oxidative Process PAA/UV. *International Journal of Photoenergy*, **2015**, 1-7. doi: <https://doi.org/10.1155/2015/860845>
- Tang C. Chen V. (2004) The photocatalytic degradation of reactive black 5 using TiO₂/UV in an annular photoreactor. *Water Research*, **38**, 2775-2778. doi: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2004.03.020>

- Tinoco, J. D. (2011) *Desinfecção por radiação ultravioleta: estudo do desempenho do processo e avaliação econômica*. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento), Programa de Pós-Graduação da Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 229 pp. Acesso em 21 de junho de 2018, disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde-04052012-093819/pt-br.php>
- USEPA, United States Environmental Protection Agency (1999a) *Guidance manual: alternative disinfectants and oxidants*. (EPA 815-R-99-014). Washington DC, 346 pp.
- USEPA, United States Environmental Protection Agency. (1999b) *Wastewater technology fact sheet - Ultraviolet disinfection*. (EPA 832-F-99-064). Washington, DC, 7 pp.