

# REVISTA AIDIS

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

## INATIVAÇÃO DE INDICADORES MICROBIOLÓGICOS COM OZÔNIO NO TRATAMENTO DE ESGOTO SANITÁRIO VISANDO O REUSO DE ÁGUA

\*Patrícia Bilotta<sup>1</sup>  
Luiz Antonio Daniel<sup>1</sup>

*INACTIVATION OF MICROBIOLOGICAL INDICATORS WITH OZONE  
TO WASTEWATER TREATMENT AIMING WATER REUSE*

*Recibido el 18 de noviembre de 2010; Aceptado el 5 de octubre de 2011*

### Abstract

This study intends to demonstrate the technical potentiality of the wastewater pre-disinfection (primary treatment effluent) to optimize the indicator pathogen inactivation. The essays were developed with Wastewater Treatment Plant effluent to simulate the method on real conditions, in two stages of disinfection with ozone. Microbiological exams revealed inactivation superior to 1 log to the three species evaluated (*Escherichia coli*, coliphages and *Clostridium perfringens*) only introducing 1.0 mgO<sub>3</sub>/L in the pre-disinfection. Considering the inicial low dosage of germicide agent, the results prove the technical viability promising of the methodology proposed to reach the emission microbiological standards established by the Brazilian regulation and to provide ways to final effluent adequacy in agreement with the guidelines defined by WHO to its reuse in the unrestricted irrigation.

**Key-words:** Disinfection, wastewater, ozone, indicator pathogen.

---

<sup>1</sup> Departamento de Gestão Ambiental, Faculdade Evangélica do Paraná

<sup>2</sup> Departamento de Hidráulica e Saneamento, Universidade de São Paulo

\* *Corresponding author:* Rua Carlos Cavalcanti, 289, Centro, Curitiba, Cep. 80020-280, Paraná, Brasil.  
Email: [pb.bilotta@gmail.com](mailto:pb.bilotta@gmail.com)

## Resumo

Neste estudo pretende-se demonstrar a potencialidade técnica da pré-desinfecção de esgoto sanitário efluente de tratamento primário para otimizar a inativação de indicadores patogênicos. Os ensaios foram realizados com efluente de ETE para simulação do método sob condições reais, em dois estágios de desinfecção com ozônio. Exames microbiológicos revelaram que a introdução de apenas 1,0 mgO<sub>3</sub>/L na pré-desinfecção resultou em inativação superior a 1 log para as três espécies analisadas (*Escherichia coli*, colifagos e *Clostridium perfringens*). Considerando-se a baixa dosagem inicial do agente germicida, os resultados comprovam a viabilidade técnica promissora do sistema proposto para atender aos padrões microbiológicos de emissão estabelecidos na legislação brasileira, e ainda proporcionar meios para adequação do efluente final às diretrizes definidas pela OMS para seu reuso na irrigação irrestrita.

**Palavras-chave:** Desinfecção, esgoto sanitário, ozônio, indicadores patogênicos.

## Introdução

A crescente demanda por fontes de água para consumo humano e industrial, aliada ao contínuo comprometimento dos mananciais disponíveis no planeta, tem incentivado pesquisas em busca de tecnologias mais eficientes de mitigação dos impactos nos recursos hídricos, visando estratégias de desenvolvimento social sustentável.

Inserido no tema qualidade da água, a saúde pública é sem dúvida outro aspecto relevante. O contato humano direto ou indireto com águas contaminadas é apontado pela Organização Mundial da Saúde (OMS) como a principal fonte de proliferação de doenças. Nesse sentido, as questões associadas à desinfecção de esgoto sanitário têm recebido nos últimos anos especial atenção por parte de organizações governamentais.

Neste contexto surgiu o interesse no tema de investigação aqui tratado, visando a avaliação da eficiência do gás ozônio na inativação de indicadores patogênicos, em condições reais de tratamento de esgoto doméstico, de modo a atender os padrões de lançamento de efluentes definidos na legislação ambiental brasileira através da Resolução CONAMA 430 (2011).

Dentre os agentes germicidas utilizados na desinfecção de esgoto sanitário, pode-se destacar o gás ozônio devido ao seu elevado poder oxidativo mesmo frente a espécies de microrganismos mais resistentes.

Seu caráter fortemente oxidante lhe confere habilidade para reagir prontamente com uma grande variedade de grupos funcionais orgânicos e organometálicos originando subprodutos, em geral, mais biodegradáveis que seus precursores. A aplicação de ozônio pode remover substâncias responsáveis pela cor, gosto e odor, microrganismos resistentes a outras técnicas de desinfecção e traços de metais de transição (Mausteller, 1989).

Visto que a ozonização envolve reações de equilíbrio químico, variações nos parâmetros temperatura e pH das fases líquida e gasosa podem reduzir consideravelmente a taxa de transferência gás-líquido, limitando, portanto, a concentração efetiva do gás disponível na água. O aquecimento do gerador de ozônio, por exemplo, favorece a regeneração das moléculas de O<sub>2</sub>, impedindo a formação do ozônio gasoso. Por esta razão, o equipamento empregado deve incluir um sistema eficiente de refrigeração do oxigênio de alimentação (Sotelo *et al.*, 1989; AWWA, 1991).

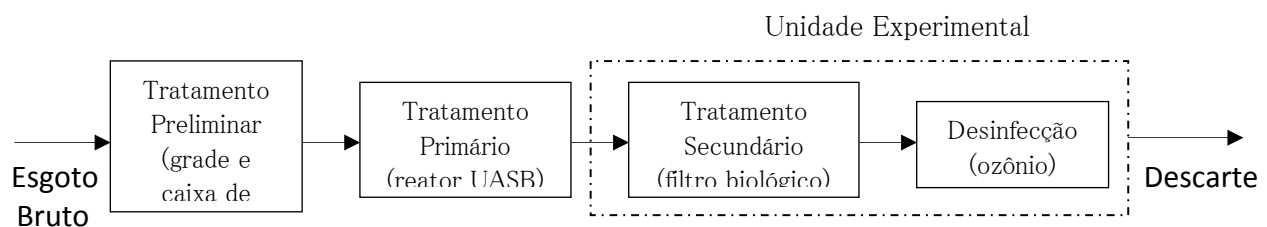
A composição físico-química do efluente é outro fator importante. Reações diversas que ocorrem simultaneamente à inativação de microrganismos competem pela concentração de ozônio livre e elevam a demanda, oxidação de matéria orgânica e inorgânica. Assim, a dosagem de O<sub>3</sub> requerida na desinfecção de efluentes primário é consideravelmente maior que em efluentes secundários e terciários (Lazarova, *et al.* 1999; Chin e Berube, 2005; Driedger, 2000).

### Objetivo

O foco central deste estudo é demonstrar a viabilidade técnica da ozonização como metodologia efetiva na inativação de indicadores patogênicos mais resistentes em sistemas reais de tratamento de esgoto sanitário. A eficiência do processo foi monitorada através de exames microbiológicos para determinação de coliformes totais e *Escherichia coli* (indicadores de bactérias), colifagos (indicador de vírus) e *Clostridium perfringens* (indicador de protozoários).

### Metodologia

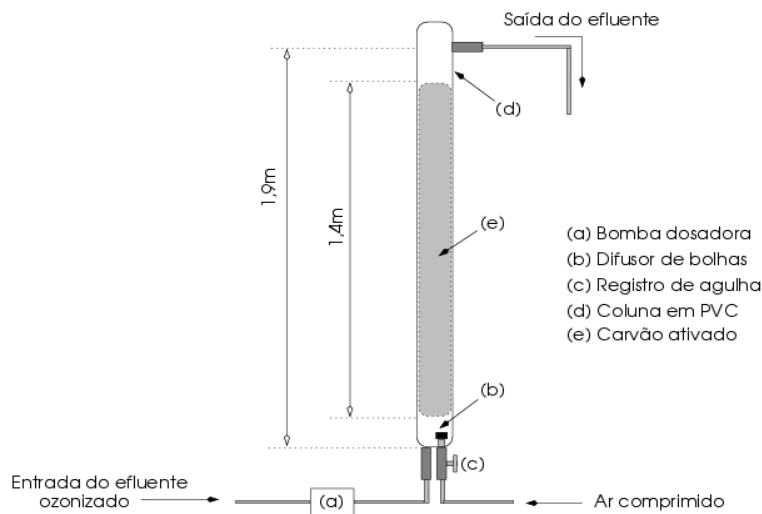
Para a alimentação da instalação piloto foi utilizado esgoto sanitário efluente de um reator UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*) construído em escala real na Estação de Tratamento de Esgoto da Universidade de São Paulo, campus I São Carlos, em fluxo contínuo de operação. O tempo de detenção hidráulica estimado nesta fase permaneceu próximo de 12 horas. O fluxograma representado na Figura 1 ilustra as etapas envolvidas no tratamento do efluente utilizado.



**Figura 1.** Diagrama em blocos da fase experimental

Pretendeu-se, desse modo, avaliar o efeito do agente químico  $O_3$  quando aplicado em efluente com características naturalmente complexas, de grande valia para a simulação de sistemas de desinfecção em operação sob condições reais (Bilotta, 2006).

O tratamento secundário compreendia um filtro biológico submerso, mantido sob aeração a 50kPa, preenchido com carvão ativado granular para a fixação de parte da biomassa ativa presente no efluente e favorecer a decomposição da matéria orgânica residual, em regime contínuo. O tempo de detenção hidráulico nesta etapa foi estimado em 4,6 horas. A Figura 2 ilustra o biofiltro aeróbio utilizado no tratamento secundário.

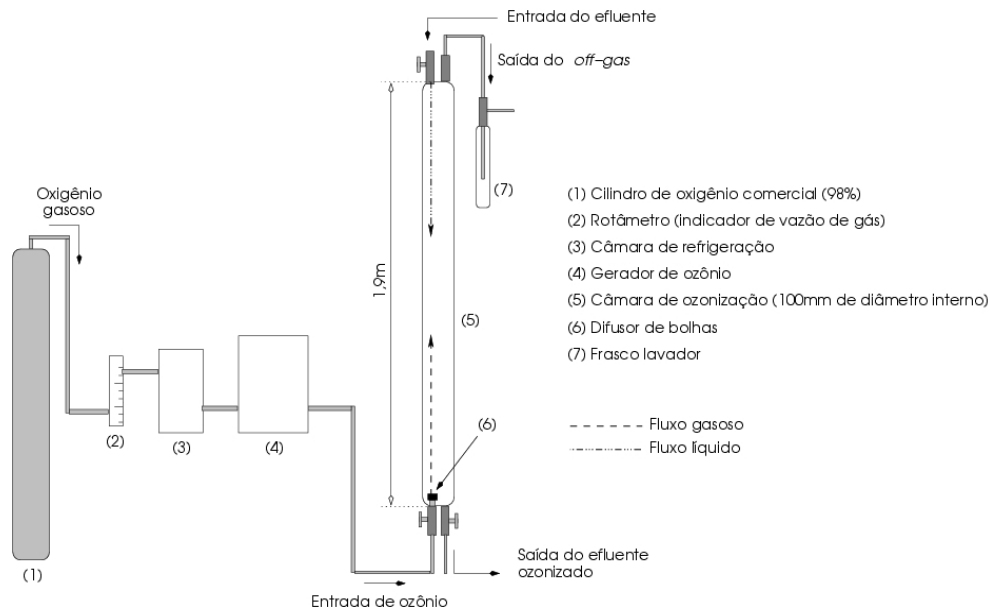


**Figura 2.** Filtro biológico aeróbio para o tratamento secundário

Para estudo de caso, o gás ozônio foi escolhido como agente germicida devido ao seu elevado poder oxidativo mesmo frente a espécies mais resistentes como *Clostridium perfringens*. A unidade de experimentação utilizada nos ensaios de desinfecção está ilustrada na Figura 3.

A sequência de operações indicadas na Figura 3 tem por objetivo aumentar a eficiência do equipamento gerador de ozônio em razão da redução da taxa de decomposição do gás formado.

O cilindro de oxigênio pressurizado (1) respondia pelo fornecimento de matéria-prima pura para a produção de ozônio gasoso com rendimento máximo. O rotâmetro (2) possuía uma coluna de vidro graduada com escala entre 0 e 400L/h e no seu interior uma esfera metálica móvel para indicar a vazão de oxigênio correspondente. Na câmara de refrigeração (3) o oxigênio era resfriado a 4°C, através de um sistema de serpentina imersa em água fria, para impedir a decomposição do gás ozônio formado.



**Figura 3.** Instalação piloto para os ensaios de desinfecção

A câmara de contato gás-líquido, ou câmara de ozonização (5), foi construída em acrílico, com 100mm de diâmetro interno, e possuía um difusor de bolhas (6) instalado em sua extremidade inferior para otimizar a dispersão do  $O_3$  no líquido.

O excedente de ozônio não consumido na coluna, denominado *off-gas*, era capturado no frasco lavador (7) preenchido com uma solução de iodeto de potássio 2% preparada segundo o procedimento descrito em APHA (1995). Para se determinar a concentração de ozônio nas fases líquida e gasosa foram adotados os métodos *indigo-blue* e iodométrico (APHA, 1995; Bilotta, 2006).

Os ensaios referentes ao tratamento secundário (filtro biológico) foram realizados em regime contínuo, enquanto os ensaios de desinfecção foram executados em batelada e reproduzidos em triplicata. Os parâmetros operacionais avaliados neste estudo estão relacionados na Tabela 1.

**Tabela 1.** Dados operacionais

FILTRO BIOLÓGICO	CÂMARA DE DESINFECÇÃO
Tempo de detenção : 4,6 h	Dose efetiva : 30,0 ( $\pm$ 4,0) mg $O_3$ /L
Vazão de efluente : 6,8 m <sup>3</sup> /h	Tempo de contato : 5 min
	Vazão de oxigênio (98%): 100,0 L/h
	Volume de efluente : 2,0 L

Além dos aspectos descritos, os ensaios foram seguidos de análises físico-químicas e exames microbiológicos para caracterização das amostras, conforme indica a Tabela 2.

**Tabela 2.** Métodos analíticos para caracterização das amostras

PROCEDIMENTOS
Demanda Química de Oxigênio (DQO) : Refluxo fechado (APHA, 1995)
Sólidos Suspensos Totais (SST) : Método gravimétrico (APHA, 1995)
pH : Titulação potenciométrica (APHA, 1995)
<i>Clostridium perfringens</i> : Método CETESB L5.213
Colifagos : Método CETESB LS.225
Coliformes Totais : Método membranas filtrantes - <i>Chromocult</i> ©
<i>Escherichia coli</i> : Método membranas filtrantes - <i>Chromocult</i> ©

## Resultados e Discussão

Com base nos resultados dos exames microbiológicos foi elaborada a Tabela 3, onde “No” representa o número de indivíduos ativos na saída do tratamento primário (reator UASB), correspondendo à condição inicial, e “N” o número de sobreviventes após a aplicação de ozônio, indicando a condição final.

O valor "0" apresentado na Tabela 3 indica sobrevivência abaixo do limite mínimo de detecção do método analítico utilizado para quantificar atividade metabólica e reprodutiva dos indicadores patogênicos investigados, representando, portanto, ausência de contaminação.

**Tabela 3.** Variação da população de *Escherichia coli*, coliformes totais, colifagos e *Clostridium perfringens*

	ENSAIO	NÚMERO DE SOBREVIVENTES			- LOG N/No
		SAÍDA UASB (No)	SAÍDA BIOFILTRO	SAÍDA OZONIZAÇÃO (N)	
<i>C. perfringens</i> (NMP/100mL)	1	7x10 <sup>4</sup>	3x10 <sup>4</sup>	20	3,5
	2	5x10 <sup>3</sup>	4x10 <sup>3</sup>	13x10 <sup>2</sup>	0,6
	3	15x10 <sup>2</sup>	10x10 <sup>2</sup>	11x10 <sup>1</sup>	1,1
Colifagos (UFP/100mL)	1	45x10 <sup>2</sup>	12x10 <sup>2</sup>	0	3,6
	2	8x10 <sup>5</sup>	7x10 <sup>5</sup>	20x10 <sup>2</sup>	2,6
	3	32x10 <sup>2</sup>	30x10 <sup>2</sup>	10	2,5
Col. Totais (NMP/100mL)	1	39x10 <sup>5</sup>	39x10 <sup>5</sup>	20x10 <sup>3</sup>	2,3
	2	12x10 <sup>5</sup>	10x10 <sup>5</sup>	10x10 <sup>3</sup>	2,1
	3	8x10 <sup>5</sup>	2x10 <sup>5</sup>	88x10 <sup>2</sup>	2,0
<i>E. coli</i> (UFC/100mL)	1	5x10 <sup>9</sup>	3x10 <sup>4</sup>	5	5,0
	2	12x10 <sup>4</sup>	10x10 <sup>4</sup>	20	3,8
	3	2x10 <sup>9</sup>	1x10 <sup>4</sup>	12	4,2

Os indicadores *Escherichia coli* e colifagos apresentaram a menor resistência à aplicação do gás ozônio, atingindo valores em torno de 4,2 log e 2,9 log, respectivamente. Embora menos suscetíveis a ação do O<sub>3</sub>, os indicadores *Clostridium perfringens* e coliformes totais alcançaram níveis de inativação bastante positivos (1,7 log e 2,1 log), indicando, portanto, a viabilidade do método mesmo frente a espécies mais resistentes.

Os resultados revelam que os níveis de inativação alcançados para os quatro indicadores de contaminação investigados comprovam a elevada potencialidade da ozonização como método efetivo de desinfecção do esgoto sanitário, mesmo sob condições de instabilidade na qualidade do efluente secundário, devido à variação na composição físico-química das amostras coletadas na saída do filtro biológico.

De acordo com os dados da Tabela 3, em 5 minutos de exposição a 30,0 mg de O<sub>3</sub>/L o efluente final pode se enquadrar aos limites microbiológicos máximos estabelecidos pela legislação brasileira (Resolução CONAMA 430/2011) para o lançamento de efluentes em cursos d'água classe 2 e 3 para o contato secundário (1.000 NMP/100 mL), considerando-se o indicador coliformes totais e o fator da diluição após o descarte.

A Tabela 4 apresenta os resultados das análises de DQO, SST e pH ao longo das etapas de tratamento do esgoto. Os valores médios obtidos no efluente secundário, para os três parâmetros físico-químicos, foram: 57,0 (±39,0) mg/L, 42,0 (±21,0) mg/L e pH 6,4 (±0,7), respectivamente.

**Tabela 4.** Variação da DQO, da concentração de SST e do pH

ENSAIO	SAÍDA UASB			SAÍDA FILTRO BIOLÓGICO			APÓS DESINFECÇÃO		
	DQO (mg/L)	SST (mg/L)	pH	DQO (mg/L)	SST (mg/L)	pH	DQO (mg/L)	SST (mg/L)	pH
1	82	65	6,7	51	24	5,5	48	84	6,2
2	36	67	7,5	96	63	6,8	61	77	7,1
3	46	38	7,0	24	40	7,0	60	7	7,1

Os dados da Tabela 4 confirmam a variação da qualidade do efluente secundário em termos de DQO e da concentração de sólidos (DQO: mínimo 24,0 e máximo 96,0 mg/L e SST: mínimo 24,0 e máximo 63,0 mg/L). Nesse sentido, os resultados da desinfecção comprovam a eficiência do sistema de desinfecção com ozônio ainda que na presença de reações de oxidação química, devido à matéria orgânica estimada pela DQO e aos sólidos suspensos totais, que competem pelo ozônio disponível. Segundo a Resolução CONAMA 430 (2011), a DBO deve ser inferior a 120,0 mg/L, a remoção de SST superior a 20% e o pH deve estar entre 6,0 e 9,0 para atender o limite máximo de lançamento em corpos d'água classe 2.

Pequenas variações observadas entre os ensaios 1, 2 e 3 (Tabelas 3 e 4) podem estar associadas a aspectos como: dificuldade na obtenção de alíquotas absolutamente representativas das amostras analisadas, visto o grande número de diluições requeridas nos exames microbiológicos; variação da qualidade do efluente anaeróbio (particularmente sólidos suspensos), característica de sistemas reais de tratamento de esgoto sanitário; e pequenas oscilações no desempenho do equipamento gerador de ozônio.

Neste contexto, o método apresentado possibilitaria a adequação do efluente final às diretrizes definidas pela Organização Mundial da Saúde para sua reuso na irrigação irrestrita, embora a necessidade de exames complementares para determinar a presença de ovos de helmintos (WHO, 2006).

### Conclusões

Com base nos resultados e nas discussões apresentadas, pode-se concluir que o uso de gás ozônio em sistemas de desinfecção de esgoto sanitário é, de fato, efetivo. Os experimentos realizados revelaram a potencialidade técnica do método mesmo frente a espécies de microrganismos mais resistentes, como coliformes totais e *Clostridium perfringens*, e, além disso, na presença de reações oxidativas concorrentes, em virtude da presença de sólidos em concentrações acima de 50,0 mg/L.

Neste contexto, o método apresentado possibilita a adequação do efluente final às diretrizes estabelecidas pela legislação ambiental brasileira para o seu lançamento em corpos d'água classe 2, bem como se enquadra nos limites microbiológicos máximos definidos pela Organização Mundial da Saúde para o seu reuso na irrigação irrestrita, embora a necessidade de exames complementares.

**Agradecimentos.** *Os autores deste trabalho agradecem o auxílio pesquisa concedido pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, recurso este relativo ao processo n.00/00640-5.*

### Referências bibliográficas

- APHA (1995). American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation. Standard methods for the examination of water and wastewater. New York, 19. ed. 1268p.
- AWWA (1991). American Water Works Association. Ozone in water treatment. Michigan.
- Bilotta P. (2006). Inativação de indicadores patogênicos em sistemas combinados de tratamento e pré-desinfecção de esgoto sanitário. Tese de Doutorado. Departamento de Hidráulica e Saneamento, Universidade de São Paulo.



- Bilotta P., Daniel A. (2007). Sequential application of ozone and UV radiation to eliminate resistant microbiological indicators. *Memória Técnica 6th Conference on Wastewater Reclamation and Reuse for Sustainability*. International Water Association. Antwerp/Bélgica.
- Blumenthal U. J., Mara D. D., Peasy A., Ruiz-Palacios G., Stott R. (2000). Guidelines for the microbiological quality of treated wastewater used in agriculture: recommendations for revising WHO guidelines. *World Health Organization*, **78**(9), 1104-1116.
- Chin A., Berube P. R. (2005). Removal of disinfection byproduct precursors with ozone-UV advanced oxidation process. *Water Research*, **9**, 2136-2144.
- CONAMA 430, Resolução (2011). Conselho Nacional do Meio Ambiente. Ministério do Meio Ambiente. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>. Acesso em: 05/10/2011.
- Driedger A. M., Rennecker J. L., Marinãs B. J. (2000). Sequential inactivation of *Cryptosporidium parvum* oocysts with ozone and free chlorine. *Water Research*, **34**(14), 3591-3597.
- Lazarova V., Savoye P., Janex M. L., Blatchley E. R., Pommepuy M. (1999). Advanced wastewater disinfection technologies: state of the art and perspectives. *Water Science and Technology*, **40**(4-5), 203-213.
- Mausteller J. W. (1989) Ozone. MSA Research Corporation.
- Sotelo J. L., Beltrán F. J., Benitez F., Beltrán-Heredia J. (1989). Henry's law constant for the ozone-water system. *Water Research*, **23**(10), 1239-1245.
- WHO (2006). Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater. Volume 2: Wastewater use in agriculture. World Health Organization. Set. 196p.