

25º. Encontro Técnico AESABESP

REMOÇÃO DE GOSTO E ODOR DE ÁGUAS DE ABASTECIMENTO PELA TÉCNICA DE UV+H₂O₂ – TESTES EM UNIDADE PILOTO

Allan Saddi Arnesen⁽¹⁾

Engenheiro Sanitarista e Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina. Mestre em Sensoriamento Remoto pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Engenheiro da Superintendência de Pesquisa, Desenvolvimento Tecnológico e Inovação da SABESP - Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo.

Ana Maria Kairalla⁽²⁾

Bacharel em Química pela Universidade de São Paulo. Especialista em Engenharia de Controle da Poluição Ambiental pela Faculdade de Saúde Pública da USP. Química da Divisão de Tratamento de Água da ETA ABV da SABESP - Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo.

Maria Lúcia Fuscella

Engenheira Química pela Universidade Paulista. Engenheira Química da Divisão de Tratamento de Água da ETA ABV da SABESP - Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo.

Endereço⁽¹⁾: Rua Costa Carvalho, 300, Prédio da Prefeitura – piso superior – Pinheiros – São Paulo – SP - CEP: 05429-900 - Brasil - Tel: +55 (11) 3388-9541 - Fax: +55 (11) 3388-8695 - e-mail: aarnesen@sabesp.com.br.

Endereço⁽²⁾: Rua Graham Bell, 647 – Alto da Boa Vista – São Paulo – SP - CEP: 04737-030 - Brasil - Tel: +55 (11) 5682-2975 - Fax: +55 (11) 5682-2966 - e-mail: akairalla@sabesp.com.br.

RESUMO

Um dos efeitos das florações de algas nos reservatórios de abastecimento de água é produção de substâncias orgânicas dissolvidas que conferem gosto e odor à água, tais como Metilisoborneol (MIB) e Geosmina. A técnica mais difundida para combater os eventos de gosto e odor é a aplicação de carvão ativado em pó, mas ela apresenta eficiência limitada e não é capaz de baixar as concentrações de MIB e Geosmina a níveis imperceptíveis pelos consumidores. Neste contexto, a Sabesp tem buscado técnicas com maior eficiência de remoção de MIB e geosmina, notavelmente os Processos de Oxidação Avançada (POAs). O POA em maior ascensão no mundo é a técnica de UV+H₂O₂. Essa técnica foi testada em uma unidade piloto instalada na ETA Rodolfo José da Costa e Silva, em São Paulo, para avaliar sua eficiência na remoção de MIB. Os resultados demonstraram que a técnica é capaz de remover MIB em eficiência >90%, sendo esta diretamente relacionada à dosagem de H₂O₂ aplicada. Contudo, como o consumo de H₂O₂ é baixo no reator UV, podem ocorrer residuais de H₂O₂ após o tratamento de gosto e odor. A eliminação desse composto químico deve ser avaliada em projetos em escala real.

PALAVRAS-CHAVE: gosto e odor na água, oxidação avançada e tratamento com UV+H₂O₂.

INTRODUÇÃO

O despejo de efluentes domésticos ricos em nutrientes nos corpos d'água causa impactos ambientais como a eutrofização. O excesso de nutrientes, nitrogênio e fósforo, na água provoca a proliferação de algas, a depleção de oxigênio dissolvido, mortalidade de peixes e liberação de toxinas por algumas espécies de algas, comprometendo os usos dos recursos hídricos.

As florações de algas e cianobactérias nos mananciais podem ter os seguintes efeitos na qualidade da água: a) aumento da matéria orgânica particulada (plâncton e detritos); b) aumento do pH e suas variações diárias; c) redução do teor de oxigênio próximo ao sedimento, podendo ocorrer liberação de sulfeto de hidrogênio, amônia, ferro, manganês, fósforo, etc.; d) aumento da presença de compostos bioativos com potencial tóxico (cianotoxinas); e e) aumento de substâncias orgânicas dissolvidas que podem conferir gosto e odor à água (DI BERNARDO et al., 2010).

Diversos gêneros de cianobactérias podem conferir gosto e odor às águas, sendo que as substâncias orgânicas 2-metilisoborneol (MIB) e a trans-1,10-dimetil-trans-9-decalol (Geosmina) (Figura 1) são reconhecidas como as principais causadoras de gosto e odor de terra e/ou mofo na água.

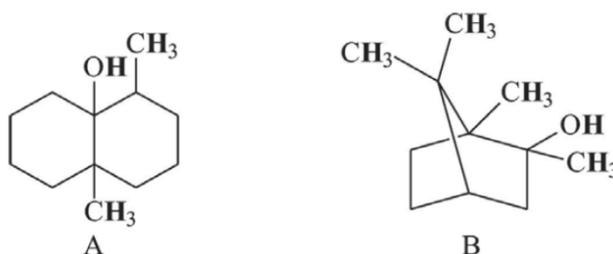


Figura 1: Estrutura química de geosmina (A) e 2-metilisoborneol (B).
Fonte: Freitas et al. (2008).

Adicionalmente às liberações de MIB e Geosmina pelas cianobactérias (organismos fotoautotróficos), estes compostos orgânicos semi-voláteis também podem ser produzidos por organismos heterotróficos de diversos grupos, especialmente pelas bactérias aeróbias filamentosas actinomicetos. Estes organismos conferem odor aos solos e são conduzidos aos mananciais durante as chuvas (JÜTTNER & WATSON, 2007). Este fato, aliado às variações de temperatura sazonais podem provocar episódios de gosto e odor às águas utilizadas para o abastecimento público.

Embora não existam indícios de que MIB e Geosmina sejam substâncias tóxicas ao ser humano, elas podem ser percebidas pela população abastecida a níveis de concentração muito baixos (9-42 ng/L para MIB e 4-10 ng/L para a geosmina; SUNG et al., 2005; WATSON et al., 2000) e, portanto, representam um problema a ser solucionado pelas companhias de saneamento.

A tecnologia mais difundida no mundo para tratamento dos episódios sazonais de gosto e odor nas águas é a aplicação de carvão ativado em pó (SRINIVASAN & SORIAL, 2011). Entretanto, como o princípio de tratamento com carvão ativado é físico (preenchimento de poros) e ele é geralmente aplicado à água bruta (com grande quantidade de materiais orgânicos), a eficiência desse processo não é satisfatória (aproximadamente 50%).

Na busca por uma alternativa eficiente de remoção de gosto e odor da água de abastecimento, a Sabesp tem recentemente investido em estudos de Processos Oxidativos Avançados (POAs), que consiste na oxidação dos contaminantes através dos radicais hidroxila ($\cdot\text{OH}$) produzidos, principalmente, por meio do emprego de ozônio e radiação ultravioleta (UV) em combinação com compostos químicos.

Um dos POA em maior ascensão no mundo para tratamento de gosto e odor das águas é a aplicação conjunta de UV e Peróxido de Hidrogênio (H_2O_2). Neste processo, a fotólise dos compostos pela radiação UV não é o único fenômeno de degradação de MIB e Geosmina, mas principalmente a oxidação através da formação de radicais hidroxilas decorrente da fotólise do peróxido (JO et al., 2011). Embora relativamente nova, esta técnica tem apresentado resultados satisfatórios para o tratamento de MIB e geosmina tanto em estudos técnico-científicos (JO et al., 2011; BAZRI et al., 2012) quanto em instalações em escala real operando em outros países (como Canadá e EUA).

A técnica de UV+H₂O₂ apresenta outras duas vantagens notáveis em relação à aplicação de carvão ativado em pó: a) não gera incremento da produção de lodo da ETA, enquanto que a utilização de carvão ativado implica em uma maior produção de lodo na ETA; b) possibilidade de utilizar uma menor intensidade (e dosagem) de UV para o processo de desinfecção nos períodos em que não estão ocorrendo eventos de MIB e geosmina na água (EPA, 2006; JO et al., 2011), oferecendo à ETA a capacidade microrganismos patogênicos como *Cryptosporidium* e *Giardia*, na ocorrência de eventos destes patógenos (BETANCOURT & ROSE, 2004).

Neste contexto, o presente trabalho apresenta os resultados de testes da tecnologia de UV+H₂O₂ para remoção de gosto e odor em uma unidade piloto instalada na ETA Rodolfo José da Costa e Silva (ABV), conduzidos com o apoio das empresas Trojan-UV e TreeBio, para avaliar a eficiência de remoção de compostos odorantes.

OBJETIVO

Avaliar a tecnologia de remoção de gosto e odor da água de abastecimento pelo método de tratamento de UV + H₂O₂, por meio de testes realizados em uma unidade piloto instalada na ETA ABV para tratar água filtrada com adição de padrão de MIB.

MATERIAIS E MÉTODOS

A unidade piloto de tratamento de gosto e odor por UV+H₂O₂ foi instalada na ETA Rodolfo José da Costa e Silva (Alto da Boa Vista - ABV), a qual trata a água do Sistema Produtor Guarapiranga. Este Sistema iniciou sua operação em 1929, com a implantação da ETA Theodoro Ramos (já desativada), e sua capacidade foi ampliada em 1958 com a construção da ETA ABV. Atualmente esse sistema produtor de água da RMSP atende aproximadamente 4 milhões de habitantes do município de São Paulo.

A expansão urbana não controlada nos arredores do Reservatório Guarapiranga desde 1970 resultou na deterioração da qualidade da água da represa, devido à introdução de altas cargas orgânicas e de nutrientes oriundas dos esgotos, levando ao avanço do estado de eutrofização e aumento de ocorrências de florações de algas. Por consequência, ocorrem periodicamente eventos de gosto e odor causados, principalmente, pelas substâncias MIB e Geosmina.

Como a remoção de MIB da água é mais difícil do que a Geosmina, o piloto de UV+H₂O₂ foi instalado na ETA ABV para tratar a água filtrada com a adição de MIB. Esta unidade piloto foi projetada pela empresa Trojan-UV e está esquematizada na Figura 2.

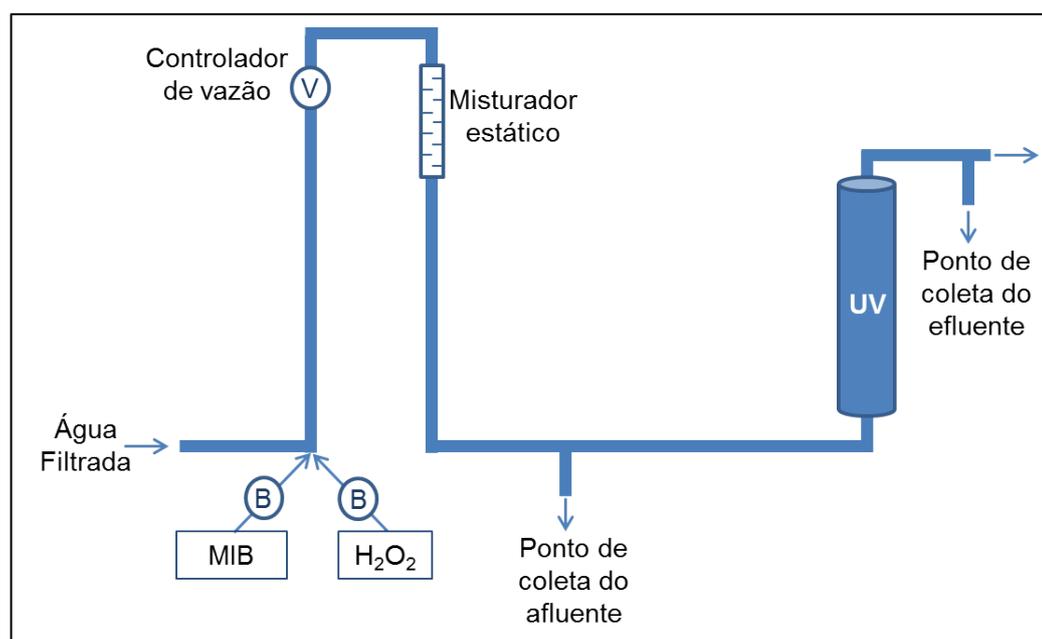


Figura 2: Croqui da unidade piloto de UV+H₂O₂ instalada na ETA ABV.

O piloto contempla os seguintes elementos básicos:

- Bombas peristálticas para injeção das soluções de MIB e H_2O_2 ;
- Controlador da vazão do sistema piloto;
- Misturador estático para favorecer a mistura completa da água filtrada com o MIB e H_2O_2 ;
- Ponto de coleta da água afluyente ao reator UV;
- Reator contendo lâmpada UV de baixa pressão; e
- Ponto de coleta da água efluente ao reator UV.

Injeção de MIB e H_2O_2

Foram preparadas soluções de MIB e H_2O_2 no dia da realização dos testes (19/06/2013).

Visando obter a concentração de aproximadamente 300 ng/L de MIB na mistura com a água filtrada, com uma vazão de MIB da bomba peristáltica de aproximadamente 4,5 L/h (equivalente à velocidade máxima da bomba peristáltica), a concentração de MIB na solução mãe foi de 66.000 ng/L. Ela foi preparada adicionando 6,6 μ L de MIB concentrado em um balão e preenchendo-o até 2 litros com água destilada.

Já a solução de H_2O_2 foi preparada inserindo 76 mL de H_2O_2 a 50% em um galão 20 L de água filtrada, sendo portanto a concentração de H_2O_2 na solução de 2755 mg/L. Assim, foi possível obter diferentes concentrações de H_2O_2 de acordo com a vazão ajustada na bomba peristáltica.

As soluções foram injetadas na linha do sistema piloto através de bombas peristálticas. Os pontos de entrada das duas soluções eram bastante próximos, como se pode verificar na Figura 3.

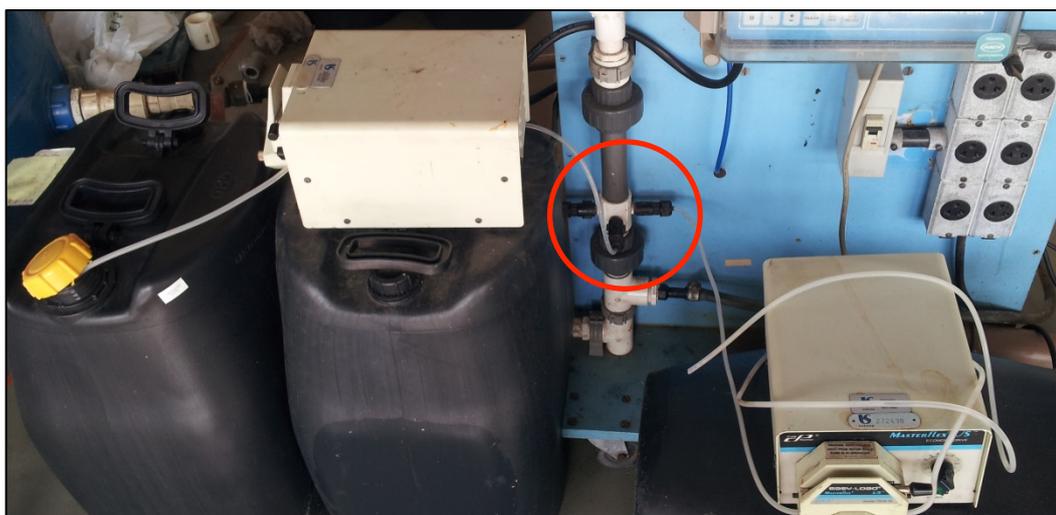


Figura 3: Ponto de inserção de MIB e H_2O_2 na unidade piloto destacado em vermelho.

Após a injeção dos compostos químicos na água, ela passa por um painel onde é controlada a vazão do sistema piloto e ocorre a mistura entre os compostos e a água filtrada (Figura 4). As vazões utilizadas nos testes foram de 500 e 1000 L/h.

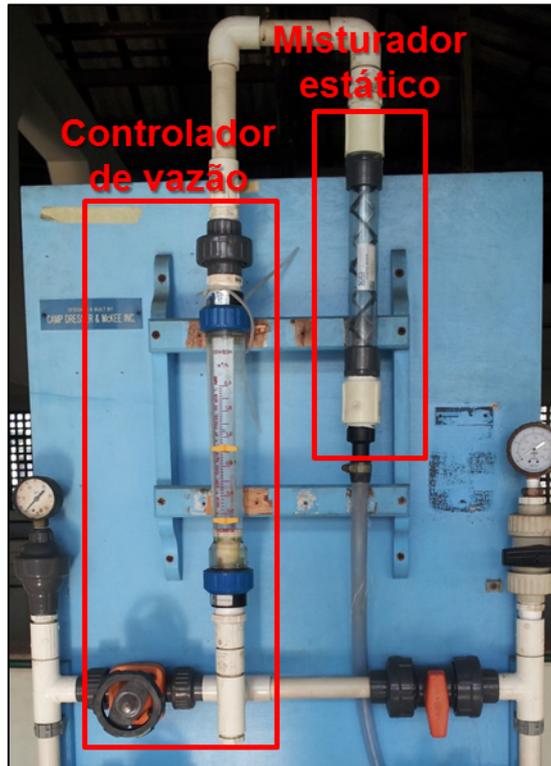


Figura 4: Controlador de vazão e misturador estático instalados na unidade piloto após o ponto de entrada de MIB e H₂O₂.

Também foi realizado um teste com traçador (neste caso H₂O₂ a 5 ppm, aprox.) para determinar o tempo que os produtos químicos levavam para atingir o ponto final da unidade piloto para as vazões testadas (i.e., 500 e 1000 L/h). O objetivo deste teste foi determinar quanto tempo deveria ser esperado após a modificação das combinações testadas de vazão e concentrações de MIB e H₂O₂.

Reator UV

A lâmpada utilizada no reator UV do sistema piloto foi do tipo Baixa Pressão. Os reatores UV podem ser caracterizados em função do tipo de lâmpada utilizada: Baixa Pressão (LPUV – *Low Pressure UV*) e Média Pressão (MPUV – *Medium Pressure UV*). As lâmpadas LPUV emitem radiação ultravioleta apenas no comprimento de onda 254 nm, geralmente requerem mais lâmpadas instaladas do que um sistema composto por MPUV, mas possuem uma maior vida útil. Já as lâmpadas MPUV emitem radiação na faixa espectral de 200 a 400 nm (Figura 5), mas apenas a faixa de 200 a 300 nm é importante no processo UV+H₂O₂ porque o peróxido de hidrogênio só absorve radiação inferior a 300 nm. A eficiência elétrica das lâmpadas MPUV é muito inferior à das lâmpadas LPUV (EPA, 2006) e, conseqüentemente, o consumo energético é superior ao das lâmpadas LPUV.

O reator fornecido pela Trojan-UV para a realização dos testes foi o TrojanUVMax modelo K, que compreende uma única lâmpada LPUV com potência de 200 watts, disposta em um reator anular de aço inoxidável de 1 metro de comprimento com volume molhado de aproximadamente 23,5 L. A lâmpada do reator possui as mesmas características espectrais e eficiência elétrica similar das lâmpadas utilizadas pela Trojan-UV em suas instalações de desinfecção em escala real. Este reator foi desenvolvido para desinfecção de água, mas a dosagem UV foi estimada com base no método clássico de cálculo da dose UV (IWA, 2014), conforme Equação 1.

$$Dose\ UV = I \times UV\%P \times F_p \times F_t \times t \quad \text{Equação (1)}$$

Onde:

I é a intensidade calculada pela razão entre a potência da lâmpada (neste caso 200 W) e a área que a radiação atinge (neste caso a superfície interna do reator, de 6283 cm²);

$UV\%P$ é a eficiência de saída de radiação da lâmpada, neste caso adotada com sendo 70% (0,7);

F_p e F_t são as frações de incrustação e diminuição da eficiência da lâmpada devido às horas de operação, respectivamente. O produto destes fatores foi adotado como sendo 90% (0,9); e

t é o tempo de retenção no reator UV, calculado dividindo o volume molhado do reator (23,5 L) pela vazão.

Para a intensidade de 31,83 mW/cm², têm-se as seguintes doses-UV aproximadas para as vazões de 1000 L/h e 500L/h, testadas no ensaio, de 1530 mJ/cm² e 3060 mJ/cm², respectivamente. Apesar desta abordagem de cálculo ser simplificada (não considera todos os aspectos envolvidos, como hidráulica e características da água), esta magnitude está de acordo com os valores indicados pela literatura para oxidação avançada (JO et al., 2011; ROSENFELDT et al., 2005).



Figura 5: Reator UV utilizado no teste piloto.

Combinações testadas

Os parâmetros operacionais controlados ao longo do teste foram: a) vazão de água filtrada afluyente ao sistema (com implicação direta no tempo de retenção no reator UV) e; b) vazões de soluções de MIB e H₂O₂ (implicando em diferentes concentrações destes constituintes na água).

Foram testadas combinações de vazão de água filtrada e concentrações de MIB e H₂O₂ na mistura. Essas foram ajustadas por meio do controlador de velocidade e vazão da bomba peristáltica de H₂O₂. Foram testadas 6 combinações, apresentadas na Tabela 1 abaixo.

	Vazão de água afluyente (L/h)	Vazão da bomba peristáltica de MIB (L/h)	Vazão da bomba peristáltica de H ₂ O ₂ (L/h)
Combinação 1	1000	4,5	0,00
Combinação 2	1000	4,5	1,00
Combinação 3	1000	4,5	2,21
Combinação 4	1000	4,5	4,41
Combinação 5	500	4,5	2,21
Combinação 6	500	4,5	4,41

Tabela 1: Matriz de combinações de MIB e H₂O₂ testadas.

Análises de qualidade da água

Ao longo do teste foram coletadas amostras de água afluyente e efluyente ao reator UV (Figura 6). No intuito de determinar o consumo de H₂O₂ no processo de UV, foram realizadas análises da concentração de H₂O₂ para as amostras pelo método DPD/Peroxidase analisado com um colorímetro, sendo que o procedimento encontra-se descrito em Bader et al. (1988). Também foi realizada por método colorimétrico uma análise da concentração de cloro residual na água filtrada no início do teste.

Amostras em duplicata foram coletadas para análise da concentração de MIB na água afluyente e efluyente ao reator UV. Elas foram enviadas para o Laboratório de Análises Especiais da Sabesp, onde foram determinadas as concentrações de MIB pelo método da cromatografia gasosa associada à espectrometria de massa (GC-MS).

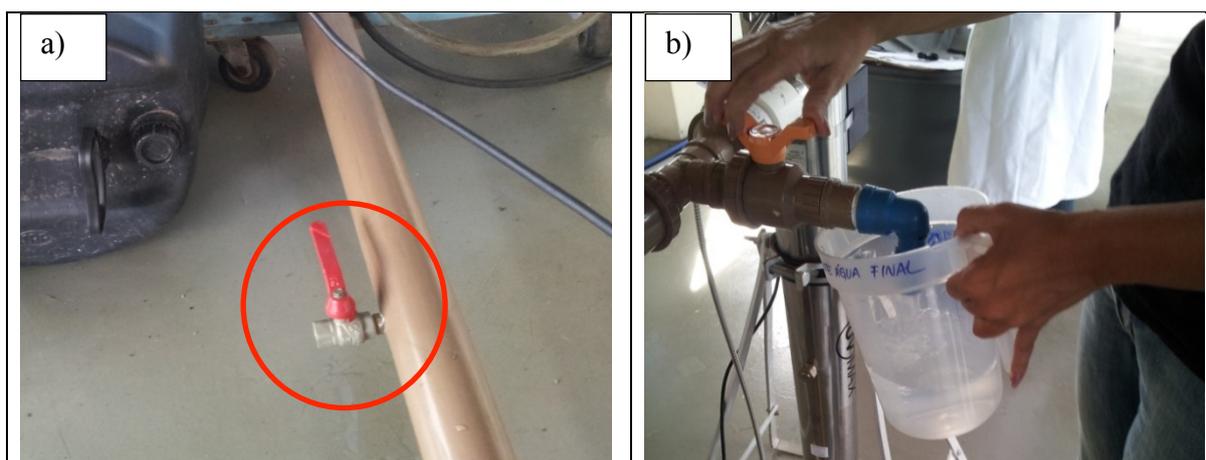


Figura 6. a) Ponto de coleta do afluyente do reator UV (destacado em vermelho); e b) ponto de coleta do efluyente do reator UV.

RESULTADOS

O teste do traçador demonstrou que, para a vazão máxima de 1000 L/h, o tempo de 2 minutos era necessário para que a água do sistema piloto fosse renovada, ou seja, este tempo deveria ser esperado após a modificação

das combinações do ensaio. Quando a vazão era de 500 L/h, o dobro desse tempo era aguardado após o ajuste de nova combinação.

A concentração de cloro livre residual na água filtrada era de 0,43 ppm.

Os resultados do ensaio piloto estão apresentados na Tabela 2 e no gráfico da Figura 7.

	Vazão de água afluente (L/h)	Concentração afluente de MIB (ng/L)	Concentração afluente de H ₂ O ₂ (ppm)	Concentração efluente de MIB (ng/L)	Concentração efluente de H ₂ O ₂ (ppm)	Eficiência de remoção de MIB	Consumo de H ₂ O ₂ (%)
Combinação 1	1000	410	0,0	367	0,0	10%	-
Combinação 2	1000	420	2,0	232	1,9	45%	2,6%
Combinação 3	1000	432	4,8	127	4,5	71%	5,3%
Combinação 4	1000	429	9,5	66	8,1	85%	14,7%
Combinação 5	500	750	8,6	19	7,5	97%	13,4%
Combinação 6	500	766	16,0	4	14,8	99%	7,5%

Tabela 2. Resultados do ensaio de UV+H₂O₂ na unidade piloto.

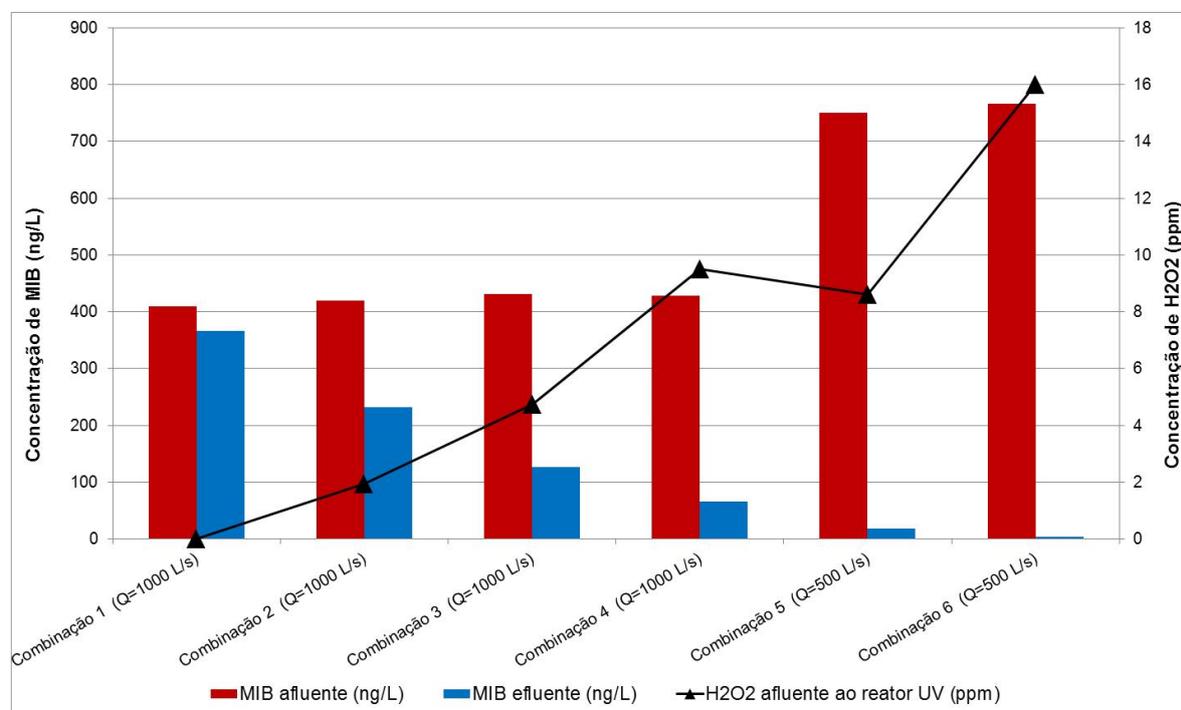


Figura 7: Resultados do teste realizado em Junho/2013 por fluxo contínuo e concentrações de H₂O₂ na água afluente ao reator UV.

Conforme pode-se observar nos resultados do ensaio, a menor eficiência de remoção de MIB foi verificada para a Combinação 1, em que não houve adição de H₂O₂. Na medida em que a concentração de H₂O₂ foi aumentada ao longo das combinações testadas no ensaio, a eficiência de remoção de MIB também aumentou até atingir o valor máximo de 99% para a Combinação 6. Isso demonstra que a capacidade de remoção de MIB está diretamente relacionada à dosagem de H₂O₂.

Apesar das combinações 4 e 5 apresentarem dosagens bastante semelhantes de H₂O₂ (9,5 e 8,6 ppm, respectivamente), a diferença entre as eficiências dessas combinações pode ser justificada pelo maior tempo de retenção no reator UV da combinação 5, que possuiu menor vazão. Esse fato indica que quanto maior a interação entre os raios UV e a água, maior será a remoção de MIB pela ação da fotólise e, principalmente, oxidação pelos radicais hidroxila (·OH) formados após a quebra da molécula do peróxido de hidrogênio.

Outro aspecto importante verificado no ensaio foi o baixo consumo de H₂O₂ no reator UV (consumo médio inferior a 10%, considerando as combinações 2 a 6). O baixo consumo nesse processo de oxidação avançada é confirmado pela literatura específica, que indica valores semelhantes (de 5 a 10%; WATTS et al., 2012). Em

uma ETA, o excesso de H_2O_2 deve ser eliminado antes da desinfecção final, pois o peróxido de hidrogênio reage com o cloro em uma relação estequiométrica de aprox. 1:2, respectivamente. Assim, é necessária uma etapa de eliminação do H_2O_2 excedente, o que pode ser realizado com o próprio cloro (mais comum) ou com outros compostos químicos (como hipoclorito de sódio e tiosulfato de sódio; LIU et al., 2003).

CONCLUSÃO

Após a realização dos testes do processo de UV+ H_2O_2 para remoção de gosto e odor da água, verificou-se elevada eficiência deste POA para remoção de MIB da água. Contudo, deve-se destacar que o ensaio teve caráter qualitativo, ou seja, indicando que a técnica é capaz de alcançar o objetivo proposto (remover MIB). Os resultados não podem ser diretamente extrapolados para aplicações em escala real, uma vez que outros aspectos fundamentais são considerados em um projeto para escala real (modelagem hidráulica e características da água).

Mesmo assim, o ensaio foi válido para identificar alguns pontos chave do processo UV+ H_2O_2 . De acordo com os resultados, a eficiência de remoção de MIB é fortemente relacionada à concentração de H_2O_2 na água que passa pelo reator UV, uma vez que principal fenômeno de degradação do MIB é a oxidação pelos radicais hidroxilas.

Por outro lado, o consumo de H_2O_2 pelo reator UV é baixo (5 a 10 %, WATTS et al., 2012) e o excedente deve ser eliminado antes da desinfecção final. Como a principal forma de eliminação de H_2O_2 é através da aplicação de cloro, o excedente de H_2O_2 implica diretamente em um aumento do consumo de cloro na ETA.

Desta forma, aplicações em escala real devem considerar estudos de dosagem ótima de H_2O_2 e as condições de mistura deste agente químico com a água, além de questões logísticas e estruturais da estação (capacidade máxima de dosagem de cloro, por exemplo).

RECOMENDAÇÕES

Um aspecto importante que ainda deve ser investigado por futuros trabalhos é a influência do processo de UV+ H_2O_2 nos subprodutos da cloração final (i.e., trihalometanos), uma vez que se encontram diferentes pontos de vista na literatura (ROSENFELDT & LINDEN, 2004; DOTSON et al., 2013).

AGRADECIMENTOS

Os autores desse trabalho agradecem às empresas Trojan-UV e TreeBio, pelo suporte na condução do ensaio piloto, e ao Laboratório de Análises Espaciais do Departamento da Divisão de Gestão e Desenvolvimento Operacional de Recursos Hídricos Metropolitanos (MARG) pela elaboração das análises da concentração de MIB.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BADER, V.; STURZENEGGER, V.; HOIGNÉ, J. "Photometric method for the determination of low concentration of hydrogen peroxide by peroxidase catalyzed oxidation of N, N-Diethyl-p-Phenylenediamine (DPD)". *Water Research*, vol. 22, n. 9, p. 1109-1115, 1988.
2. BAZRI, M.M.; BARBEAU, B.; MOHSENI, M. "Impact of UV/H₂O₂ advanced oxidation on molecular weight distribution of NOM and biostability of water". *Water Research*, vol. 46, n. 16, p. 5297-5304, 2012.
3. BETANCOURT, W.Q., ROSE, J.B. "Drinking water treatment processes for removal of *Cryptosporidium* and *Giardia*". *Veterinary Parasitology*, vol. 126, n. 1-2, p. 219-234, 2004.
4. DI BERNARDO, L., MINILLO, A., DANTAS, A.D.B. "Florações de algas e de cianobactérias: suas influências na qualidade da água e nas tecnologias de tratamento". Editora LDiBe Ltda., São Carlos, 536p., 2010.

5. EPA – United states environmental protection agency. “Ultraviolet disinfection guidance manual for the final long term 2 enhanced surface water treatment rule”. Office of Water (4601), 2006.
6. FREITAS, A.M., SIRTORI, C., PERALTA-ZAMORA, P.G. “Avaliação do potencial de processos oxidativos avançados para remediação de águas contaminadas com geosmina e 2-MIB”. Química Nova, vol. 31, n.1, p.75-78, 2008.
7. International Water Association – IWA. “Information Resource & Hub for the Global Water Community: Wastewater Ultraviolet Disinfection 1”. Disponível em: <http://www.iwawaterwiki.org>. Acesso em Fev/2014.
8. JO, C.H., DIETRICH, A.M., TANKO, J.M. “Simultaneous degradation of disinfection byproducts and earthy-musty odorants by the UV/H₂O₂ advanced oxidation process”. Water Research, vol.45, n.8, pp.2507-2516, 2011.
9. JÜTTNER, F., WATSON, S. “Biochemical and ecological control of geosmin and 2-methylisoborneol in source waters”. Applied and Environmental Microbiology, vol.73, n.14, p.4395-4406, 2007.
10. LIU, W.; ANDREWS, S.A.; STEFAN, M.I.; BOLTON, J.R. “Optimal methods for quenching H₂O₂ residuals prior to UFC testing”. Water Research, vol. 37, n. 15, p. 3697-3703, 2003.
11. ROSENFELDT, E.J., LINDEN, K.G. “Degradation of endocrine disrupting chemicals Bisphenol A, Ethinyl Estradiol, and Estradiol during UV photolysis and advanced oxidation processes”. Environmental Science Technology, vol.38, n.20, p. 5476-5483, 2004.
12. ROSENFELDT, E.J.; MELCHER, B.; LINDEN, K.G. “UV and UV/H₂O₂ treatment of methylisoborneol (MIB) and geosmina in water” Journal of Water Supply: Research and Technology-AQUA vol. 54, n. 7, p.423-434, 2005.
13. SRINIVASAN, R., SORIAL, G.A. “Treatment of taste and odor causing 2-methyl isoborneol and geosmin in drinking water: A critical review”. Journal of Environmental Sciences, vol.23, n.1, p.1-13, 2011.
14. SUNG, Y., LI, T., HUANG, S. “Analysis of earthy and musty odors in water samples by solid-phase microextraction coupled with gas chromatography/ion trap mass spectrometry”. Talanta, vol. 65, p. 518-524, 2005.
15. WATSON, S.B., BROWNLEE, B., SATCHWILL, T., HARGESHEIMER, E.E. “Quantitative analysis of trace levels of geosmin and MIB in source and drinking water using headspace SPME”. Water Research, vol. 34, n.10, p.2818-2828, 2000.
16. WATTS, M.J.; HOFMANN, R.; ROSENFELDT, E.J. “Low-pressure UV/C12 for advanced oxidation of taste and odor”. Journal AWWA, vol. 104, n. 1, p.47-48, 2012.