



DESINFECÇÃO DE EFLUENTE SECUNDÁRIO DO SISTEMA UASB + WETLAND POR FOTOOZONIZAÇÃO CATALÍTICA

Ângela Martins Lourenço¹, Lourdes Teresinha Kist², Ênio Leandro Machado^{2*}

¹PPGTA-Mestrado em Tecnologia Ambiental - Universidade de Santa Cruz do Sul, 96815-900, Santa Cruz do Sul, Brasil.

²Departamento de Química e Física, PPGTA-Mestrado em Tecnologia Ambiental - Universidade de Santa Cruz do Sul, 96815-900, Santa Cruz do Sul, Brasil.

*E-mail: enio@unisc.br

RESUMO

Este trabalho avaliou a aplicabilidade do processo UV/TiO₂/O₃ em reator tipo coluna para desinfecção de efluentes secundários da ETE piloto UASB + Wetland da UNISC. O reator foi testado de 0 a 60 minutos, alimentado com os efluentes secundários estudados em pH=7,0. Os ensaios foram realizados com tempo de recirculação de 1 hora, vazão de 180 L h⁻¹ e lâmpadas germicidas de 30 W. Os resultados obtidos demonstraram a aplicabilidade do reator tipo coluna para desinfecção de esgotos tratados, sendo obtida desinfecção total em tempos de detenção hidráulica de 12 minutos, a partir das inativações de coliformes termotolerantes. Também, os experimentos utilizando o processo UV/TiO₂/O₃ demonstraram maior capacidade de oxidação em função das reduções da alcalinidade total e turbidez, indicando maiores potencialidades para a desinfecção.

Palavras-chave: desinfecção, UV/TiO₂/O₃

1 Introdução

Existe uma grande variedade de problemas relacionados à qualidade dos corpos d'água superficiais no Brasil. Em termos gerais, pode-se concluir que a principal pressão sobre os corpos d'água superficiais são os lançamentos domésticos *in natura*, já que apenas 47% dos municípios têm rede coletora de esgotos e somente 18% dos esgotos recebem algum tratamento. Como os lançamentos domésticos são ricos em matéria orgânica biodegradável, micronutrientes, microrganismos e sólidos em suspensão, o estado dos rios e dos reservatórios pode ficar comprometido pela eutrofização, pela contaminação bacteriológica e pelas baixas concentrações de oxigênio dissolvido [1].

No Brasil, existe carência no que se refere ao saneamento básico. A falta de água potável e de saneamento básico é responsável, hoje, por 80% das doenças e 65% das internações hospitalares. Além disso, 90% dos esgotos domésticos e industriais são depositados sem tratamento nos mananciais de água [2-3].

A presença de agentes patogênicos em esgotos está relacionada com um espectro amplo de microrganismos, desde esporos, cistos, bactérias, vírus até helmintos [4-5].

A desinfecção é um processo de tratamento que permite a destruição ou a eliminação dos microrganismos suscetíveis a transmitir doenças. Durante o processo de desinfecção busca-se inativar seletivamente espécies de

organismos presentes no esgoto sanitário, em especial aquelas que ameaçam a saúde humana, como as causadas por vírus, bactérias e protozoários [4].

Os mecanismos envolvidos na desinfecção dos organismos patogênicos podem ser reunidos em três grupos que realizam a: i) destruição ou danificação da parede celular, do citoplasma ou do núcleo celular. O agente desinfetante atua sobre os componentes dessas estruturas celulares, impedindo que desenvolvam suas funções elementares adequadas; ii) alteração de importantes compostos envolvidos no catabolismo, como enzimas e seus substratos, alterando o balanço de energia na célula; e iii) alteração nos processos de síntese e crescimento celular, mediante alteração de funções como a síntese de proteínas, de ácidos nucleicos e coenzimas [6].

A desinfecção pode ser realizada por meio de processos artificiais e/ou naturais. Os processos artificiais podem ser químicos (cloração, cloração/descloração, dióxido de cloro, ozonização, misturas oxidantes e outros) ou físicos (radiação ultravioleta, radiação gama, filtração terciária, membranas filtrantes e outros). Os processos naturais incluem agentes biológicos na inativação dos patógenos (lagoas de estabilização e disposição no solo). No entanto, tanto os processos artificiais como os naturais utilizam, isoladamente ou de forma combinada, agentes físicos e químicos para inativar os organismos-alvo [6].

No passado, um dos métodos talvez mais utilizado para a desinfecção de águas residuais foi à oxidação química com cloro. Até recentemente não existiam alternativas compactas de eficiência comprovada e custo competitivo à cloração. Além

disso, não se conheciam desvantagens, nem riscos graves associados à utilização do cloro na desinfecção, desde que fossem respeitadas as regras de segurança para o transporte, manuseamento e armazenamento do produto. No entanto, o uso de cloro na desinfecção apresenta algumas desvantagens, como a descarga de efluente clorado no meio receptor resulta em liberação de cloro residual ou na formação de subprodutos indesejáveis de cloro [6].

Dados os problemas associados ao uso da desinfecção por cloro e do aparecimento de novas tecnologias de desinfecção, observa-se uma forte tendência em nível de restrição do uso da cloração e da sua substituição por tratamentos alternativos sem prejudicar o meio ambiente.

O interesse do uso de ozônio (O_3) para a desinfecção deve-se muito ao seu poder oxidante, pois trata-se de uma substância com elevado potencial de oxidação. É considerado mais eficiente que o cloro para a destruição dos micro-organismos e, durante o processo de ozonização, não se verifica a formação de produtos residuais perigosos, visto que o ozônio se decompõe rapidamente. Mas, exige-se uma tecnologia mais complexa que a desinfecção por cloro ou por radiação ultravioleta e requer equipamentos mais sofisticados [7-8].

A desinfecção por radiação ultravioleta (UV) apresenta, a cada dia, uma maior aceitação, mostrando custos competitivos, eficiência e vantagens em relação à tecnologia de desinfecção que emprega produtos químicos. O sistema de radiação ultravioleta não produz resíduos nem subprodutos nocivos, podendo ser bastante eficiente para a destruição de vírus e bactérias, o que torna a tecnologia bastante interessante, também quando se pretende reutilizar o efluente tratado. A desinfecção por radiação ultravioleta constitui um processo físico que elimina os inconvenientes associados à manutenção e manuseamento de produtos químicos [8-9].

Os Processos Oxidativos Avançados (POAs) também vêm sendo desenvolvidos e empregados com sucesso, pois são sustentáveis em longo prazo. São baseados na formação de radicais hidroxila (HO^*), agente altamente oxidante. Devido à sua alta reatividade ($E^0=2,8V$), os radicais hidroxila podem reagir com uma grande variedade de classes de compostos, promovendo sua total mineralização para compostos inócuos como CO_2 e água [10]. Uma das principais vantagens dos POAs é que, durante o tratamento, os poluentes são destruídos e não apenas transferidos de uma fase para outra, como ocorre em alguns tratamentos convencionais. Isso o coloca como uma alternativa promissora para tratamento de efluentes [11-12].

Dentre os POAs destacamos a fotocatalise heterogênea, empregando catalisador dióxido de titânio (TiO_2), como catalisador, que é o mais usado por não ser tóxico, de baixo custo, insolúvel em água, fotoestabilidade, estabilidade química em uma ampla faixa de pH e possibilidade de ativação pela luz solar, reduzindo os custos do processo [13]. Vários estudos sobre a utilização da fotoxidação catalítica com TiO_2 foram realizados nas últimas décadas, aplicados em vários tipos de efluentes:

industriais, domésticos, chorume e esgoto secundário [12]. Mas a principal aplicação do dióxido de titânio é na desinfecção de esgoto sanitário, que permite o controle de doenças de veiculação hídrica, destruindo os microrganismos patogênicos presentes no esgoto. Além disso, não gera subprodutos carcinogênicos, tais como os trihalometanos (THM), o que pode ocorrer no processo por cloração [13-16].

Entretanto, os sistemas UV e UV/ O_3 / TiO_2 aplicados e pesquisados não exploram a potencialidade geradora de ozônio fotoquimicamente. Nesse sentido, o presente trabalho objetivou a concepção e aplicação de sistema de fotozonização catalítica empregando o dispositivo Venturi para transferência do ozônio do interior do compartimento de fotoxidação para o tanque equalizador, visando à desinfecção de efluentes secundários oriundos de sistema piloto UASB + *Wetland*.

2 Parte Experimental

2.1 Caracterização do local de estudo

O local de coleta dos efluentes foi a estação piloto de tratamento de efluentes de águas negras de campus universitário da Universidade de Santa Cruz do Sul, configurado pelo chamado sistema UASB + *Wetland*. Para a caracterização do local de estudo foram estabelecidos levantamentos de dados quanto à vazão afluente, configurações das unidades geradoras de esgoto, da rede hidrossanitária e da configuração da estação de tratamento de efluentes (ETE-UNISC). Todos esses dados foram obtidos junto à coordenação do campus e por observações diretas no local. Também se procedeu uma caracterização da unidade piloto UASB + *Wetland* montada para execução de estudos de remediação integrada via anaerobiose e fitorremediação.

2.2 Caracterização analítica dos efluentes

Os efluentes foram coletados na etapa secundária de tratamento da unidade piloto UASB + *Wetland* montada na ETE-UNISC. Após a coleta, os efluentes foram encaminhados diretamente para as caracterizações e ensaios de tratamento no Laboratório de Tratamento de Águas e Efluentes da UNISC.

A caracterização analítica dos efluentes, na primeira etapa de desinfecção com os reatores tubulares, considerou os parâmetros gerais *coliformes termotolerantes*, *alcalinidade*, *pH* e *turbidez*. As determinações de coliformes termotolerantes e alcalinidade total foram executadas na Central Analítica da UNISC. Os coliformes foram determinados via procedimento dos tubos múltiplos e alcalinidade via método titrimétrico com indicador misto, conforme o descrito em *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 1998 [17].

Para as determinações de pH, utilizou-se o método potenciométrico através do uso do pHmetro de marca Quimis.

As caracterizações analíticas dos efluentes secundários para a etapa de ensaios com o fotorreator tipo coluna foram realizadas com o uso da sonda multiparâmetros IQ Sensor

Net WTW. Os parâmetros analisados foram: DBO, DQO, COT, DQO total, DQO dissolvida, turbidez, NH_4^+ , NO_3^- , temperatura e sólidos suspensos totais (SST).

2.3 Concepção e montagem do sistema de tratamento

O fotorreator tipo coluna foi construído com a seguinte configuração: seis rampas de acrílico acopladas em cascata, cobertas com dióxido de titânio P25 da Degussa; ventiladores nas calhas de distribuição do efluente; dois aeradores pneumáticos de baixa potência (2W); tanque equalizador/ozonizador de recirculação em acrílico (volume útil de 10L); bomba submersa com capacidade de 360 L h^{-1} (Resun P-1000); estrutura de seção circular metálica polida (aço 1020) constituinte da carcaça do fotorreator. A irradiação foi feita com oito lâmpadas germicidas de 30W (UV, $\lambda=254\text{nm}$, *Daylight F 3078 GL* e *Ligth Express LE T8 30WGL*), dispostas ao redor da coluna constituinte das rampas, acopladas em pontos distantes simetricamente na seção circular. Todas as conexões de tubos empregados foram de PVC de $\frac{1}{2}$ polegada.

Medidas de intensidade de radiação foram realizadas com radiômetro em cinco pontos distintos das placas de escoamento de efluentes. Nesse caso foi empregado sensor de 254 nm.

2.4 Determinação de Ozônio – Método de Flamm

A determinação do teor de ozônio em meio gasoso foi realizada através do borbulhamento do ar ozonizado durante 10 min em solução absorvedora de H_3BO_3 $1 \text{ mol L}^{-1}/\text{KI}$ 1% (m/v) e posterior medida a absorbância do íon triodeto formado em 420 nm. No comparativo com a curva de calibração e cálculo estequiométrico foi feita a conversão da taxa de produção em mg h^{-1} de O_3 [18].

A determinação de ozônio dissolvido foi realizada através da mistura de 10 mL do efluente ozonizado com 10 mL de solução absorvedora H_3BO_3 $1 \text{ mol L}^{-1}/\text{KI}$ 1% (m/v). A curva analítica foi confeccionada com misturas de solução padrão de Iodo em meio à solução absorvedora, com determinação do íon triodeto formado em 420 nm. A faixa de concentração selecionada foi de 0 a 10 mg L^{-1} de Iodo. Esse procedimento consistiu numa variação do método de Flamm [18].

2.5 Estudos de Desinfecção com Reator Tipo Coluna

Os ensaios de desinfecção com o fotorreator catalítico (tipo coluna) envolveram métodos de oxidação avançados na combinação de TiO_2 (fotocatalisador), e oxidantes precursores de radical hidroxila, O_2 e O_3 adsorvidos no fotocatalisador. Considerando essas combinações, foi estudada a eficiência de desinfecção do método: UV/ TiO_2/O_3 .

Para a realização deste ensaio de desinfecção foram utilizados 10 L de efluente, o qual foi recirculado, com o auxílio de uma bomba submersa, durante 60 min. A partir do tempo $t =$

0, as amostras foram coletadas em intervalos de tempo pré-determinados e acondicionadas em frascos de coleta, que posteriormente foram enviados para a análise de alcalinidade, turbidez, pH e coliformes termotolerantes, sendo apenas este último parâmetro determinado na Central Analítica da UNISC. Ao mesmo tempo, foram caracterizados via uso da sonda multiparâmetros WTW, os valores de turbidez, pH, DQOt, DBO, COT, NH_4^+ , NO_3^- , SST e temperatura.

Na Tabela 1 são apresentadas as características operacionais do reator empregadas nos ensaios de desinfecção com os efluentes secundários do sistema UASB + *Wetland*.

Tabela 1- Itens operacionais para desinfecção via método UV/ TiO_2/O_3 .

Parâmetro	Valores
Consumo total de energia (W L^{-1})	25,8
Dosagem de radiação $\mu\text{W cm}^{-2}$ (254nm)	30 (valor médio)
Volume útil da rampa fotocatalítica (L)	0,78
Capacidade de tratamento (L h^{-1})	10
Taxa de recirculação (L h^{-1})	180
Tempo de detenção hidráulico nas rampas de escoamento dos efluentes (min)	0,26 x 18 ciclos (4,68 min)
Tempo de tratamento (min)	60

*considerando-se o consumo unitário para bombas, aeradores e ventiladores.

3 Resultados e discussões

3.1 Caracterização dos parâmetros operacionais do fotorreator

A determinação da taxa de produção e transferência de ozônio no fotorreator tipo coluna foi determinada nos estudos desenvolvidos por Bacarim [19]. Também foi determinada a incidência de radiação UV ($\lambda=254 \text{ nm}$) nas duas primeiras placas sequenciais do reator tipo coluna.

A Tabela 2 apresenta os dados de geração de ozônio no fotorreator tipo coluna.

Tabela 2 - Produção de ozônio no interior do fotorreator.

Tempo (min)	O_3 (mg h^{-1})*
0	0,0
10	1,89
20	1,85
30	1,60
40	1,51
50	1,51
60	1,51

* A equivalência da concentração de ozônio com a concentração de iodo é de 5,28 vezes menor.

Segundo dados da literatura, a geração de ozônio pelo efeito corona consome 1 kWh para cada 1058 g de O_3 gerado a partir de O_2 [20]. Considerando-se que o processo fotoquímico aplicado neste trabalho para geração de ozônio envolveu 0,24 kWh para geração de $1,89 \text{ mg h}^{-1}$ de O_3 , observa-se a baixa capacidade do sistema concebido, mesmo que tenha sido

aplicado ar como gás de alimentação. Esse fato pode ser atribuído a menor capacidade de geração de ozônio nos sistemas UV. Sistemas comerciais, por exemplo, com 75 W (potência da lâmpada germicida), podem gerar até 550 mg h⁻¹ de O₃, porém com vazões de ar de 222,39 L h⁻¹ para fotorreatores de densidade de potência de 0,13 W cm⁻² [21]. No caso do fotorreator tipo coluna desenvolvido, a densidade de potência foi de apenas 0,007 W cm⁻², que explicaria a baixa taxa de geração.

Já a transferência de ozônio, a partir dos dados da Tabela 3, revela outro problema. A sucção do sistema Venturi de 60 L h⁻¹ acarreta valores de ozônio dissolvido no tanque equalizador/ozonizador não superiores a 0,37 mg L⁻¹.

Tabela 3 - Concentração de ozônio dissolvido no tanque equalizador/ozonizador contendo água destilada e deionizada.

Tempo (min)	O ₃ (mg L ⁻¹)
0	0,00
10	0,37
20	0,37
30	0,37
40	0,37
50	0,37
60	0,37

Em relação à incidência de radiação ultravioleta nas rampas de escoamento de efluentes, considera-se também muito baixa a densidade de potência obtida. As duas primeiras placas possuem valores, para os diferentes pontos de medida, na ordem de 20 – 52 μW cm⁻². A baixa densidade de radiação transferida, visto que a densidade nominal é de 51,39 mW cm⁻², pode ser explicada devido à utilização de lâmpada de baixa potência e baixa intensidade de radiação e ao distanciamento das oito lâmpadas das placas de escoamento. Mudanças de configuração, visando maior aproximação das lâmpadas com as placas de escoamento, são necessárias.

A baixa incidência de radiação observada em 254 nm também pode explicar a baixa geração de ozônio.

3.2 Eficiência do fotorreator tipo coluna

Preliminarmente aos estudos de desinfecção foram realizados experimentos para comparação do coeficiente angular das curvas de descolorimento do azul de metileno ao longo de 60 minutos de recirculação. A Figura 1 demonstra o coeficiente angular obtido nos estudos com o reator tipo coluna somente para a fotoozonização catalítica.

A Figura 1 representa a aplicação do método gráfico para determinação da constante cinética. A linearidade observada para o descolorimento do azul de metileno via ozonização demonstra que a reação é de *pseudo-primeira* ordem, pois a variação de concentração relaciona apenas o azul de metileno.

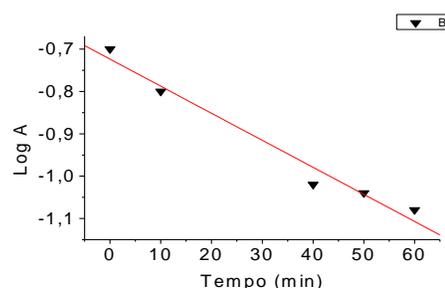


Figura 1 - Gráfico com os resultados da absorvância com azul de metileno.

A Tabela 4 apresenta a comparação com os dados obtidos por Hur [22].

Tabela 4 - Comparação de desempenho dos fotorreatores de ozonização catalítica com os dados da literatura.

Processo	Equação de Regressão	Representatividade
UV/TiO ₂ /O ₃ (Hur et al, 2005)[22]	log Y = 0,13 – 0,02910X	0,995
UV/TiO ₂ (Hur et al, 2005)[22]	log Y = -0,15 – 0,00236X	0,988
UV/TiO ₂ /O ₃ Fotorreator Tipo coluna	log Y = - 0,72 – 0,0065X	0,970

Os coeficientes angulares demonstram uma melhor eficiência para o reator proposto por Hur [22], com valor 4,5 vezes superior em relação à taxa de descolorimento. Isso indica maior geração de radicais oxidantes aptos para desinfecção. Cabe ressaltar que a pesquisa citada apresenta uma configuração de reator fotoquímico com lâmpadas imersas externamente envolvidas por esferas de Al₂O₃ adsorvidas com TiO₂. O ozônio utilizado é gerado por descarga elétrica a partir de um gerador comercial. Portanto configura-se como um sistema mais complexo e oneroso em termos de investimentos.

Por outro lado, na mesma pesquisa, o comparativo do coeficiente angular do processo UV/TiO₂ mostra que o processo UV/TiO₂/O₃ proposto neste trabalho é 2,5 vezes mais eficiente, devido à agregação do ozônio fotoquimicamente gerado.

Outros aspectos comparativos importantes são citados nas Tabelas 5 e 6. Os dados de consumo de energia na fotoozonização catalítica executada por Hur [22], apontam valores parciais de 4,2 W L⁻¹. No entanto o efetivo consumo agrega ainda oxigênio puro para geração de ozônio e bombas de recirculação que não são especificadas no seu trabalho.

Tabela 5 - Condições operacionais do reator de fotoozonização catalítica segundo Hur et al. (2005) [22].

Parâmetro	Valores
Volume Útil (L)	10
Concentração de O ₃ no efluente (mg L ⁻¹)	0,5
Consumo de Energia (W L ⁻¹)	4,2
Lâmpadas	6 W G6T ₅ Sanyo
Tempo de Tratamento (min)	30

Tabela 6 - Condições operacionais do reator tipo coluna empregadas neste trabalho de fotoozonização catalítica.

Parâmetro	Valores
Volume Útil (L)	10
Concentração de O ₃ no efluente (mg L ⁻¹)	0,37
Consumo de Energia (W L ⁻¹) Lâmpadas	25,8 30 W Daylight F 3078 GL e Ligth Express LE T8 30WGL
Tempo de Tratamento (min)	60
Capacidade de geração de O ₃ (mg h ⁻¹)	1,8

Na Tabela 7, são apresentados os dados de caracterização dos parâmetros gerais de carga poluente antes e depois da desinfecção no fotorreator coluna.

Tabela 7 - Caracterização dos parâmetros gerais de carga poluente antes e depois da desinfecção com o Fotorreator Tipo Coluna.

Parâmetro	Bruto	60 minutos
DBO (mg L ⁻¹)	70,2	67,2
DQO _i (mg L ⁻¹)	69,9	67,1
DQO _d (mg L ⁻¹)	36,2	34,9
COT (mg L ⁻¹)	191	184
pH	7	7
SST (mg L ⁻¹)	184	176
NH ₄ ⁺ (mg L ⁻¹)	606	246
Turbidez (NTU)	145	138
Temperatura (°C)	26,3	35,4
Coliformes Termotolerantes (NMP/100 mL)	90000	<20
Alcalinidade Total CaCO ₃ (mg L ⁻¹)	202,6	119

A faixa de pH foi mantida constante em pH = 7, pois é mais favorável à geração de radical hidroxila, tanto por fotoirradiação como através da decomposição radicalar do ozônio dissolvido [23].

Para o fotorreator tipo coluna houve uma redução de 41,26% na alcalinidade de 202,6 mg L⁻¹ para após o tratamento de 60 minutos, 119,0 mg L⁻¹. Esse fato demonstra maior capacidade de oxidação em função da redução de alcalinidade total observada, indicando maiores potencialidades para aplicação do fotorreator tipo coluna.

Os testes revelaram a eficiência de remoção de coliformes termotolerantes para valores abaixo do limite de determinação a partir de tempos de detenção hidráulica de 12 minutos. Os efluentes secundários tratados via método de desinfecção acrescentam qualidade final que permitiria seu uso em fertirrigação para a maioria das culturas, inclusive aqueles de consumo sem cocção prévia.

Em relação aos parâmetros físico-químicos e químicos, observaram-se redução do íon amônio, alcalinidade total e turbidez com a aplicação do método de fotoozonização

catalítica. Foram observadas reduções de 60% de NH₄⁺, 41,26% de alcalinidade total e 4,8% de turbidez.

4 Conclusões

Salienta-se que os resultados obtidos, utilizando o processo fotocatalítico, confirmam que o sistema concebido pode ser uma alternativa para tratamento secundário de efluente urbano, destacando-se a eficiência e vantagem, devido ao amplo espectro de desinfecção que a geração do radical hidroxila (HO*) proporciona, não trazendo comprometimento do corpo receptor com subprodutos indesejáveis. Assim, cabe destacar que a utilização de Processos Oxidativos Avançados na desinfecção de efluentes contribui na busca de soluções concretas, possibilitando uma minimização do impacto ambiental causado por esse tipo de efluente.

Agradecimentos:

Ao Fundo de Apoio a Pesquisa (FAP-2011) e ao Fundo de Dissertação do PPGTA da Universidade de Santa Cruz do Sul.

DISINFECTION OF SECONDARY EFFLUENT SYSTEM UASB + WETLAND BY CATALYTIC FOTOOZONIZATION

ABSTRACT: This work assessed the applicability of UV/TiO₂/O₃ processes in photo reactors column type for disinfection of secondary effluents of ETE pilot UASB + Wetland of UNISC. The reactors were tested with the same detention times of 0 to 60 minutes, both fed with the studied secondary effluents in pH=7. The tests were carried out with a recirculation time of 1 hour, flow of 180 L h⁻¹, germicide lamps of 30W. The obtained results showed the applicability of the reactors type column for disinfection of treated sewage, obtained total disinfection in HDT's of 12 minutes, from the inactivation of thermo-tolerant coliforms. Also, the experiments using the UV/TiO₂/O₃ process had demonstrated to greater capacity of oxidation in function of the reductions of total alkalinity and turbidity, indicating major potentialities for the disinfection.

Keywords: disinfection, UV/TiO₂/O₃

Referências

- [1] ANA – Agência Nacional das Águas / Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos – Brasília/DF, Panorama da qualidade das águas superficiais no Brasil, p. 176, 2005.
- [2] Galvão Junior, A. C.; Nishio, S. R.; Bouvier, B. B.; Turolla, F. A.; Revista de Administração Pública – RAP. 43(1), 207, 2009.

- [3] Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS). Diagnóstico dos serviços de água e esgoto. Brasília, 2007 – 2009. Disponível em <<http://www.snis.gov.br>>. Acesso em: setembro de **2011**.
- [4] Hallmich, C.; Gehr, R.; Water Research. 44, 2885, **2010**.
- [5] Melián, J. A. et al.; Chemosphere. 41, 323, **2000**.
- [6] Daniel, Luiz Antonio (coordenador). Processos de desinfecção e desinfetantes alternativos na produção de água potável. Rio de Janeiro: Rima Artes e Textos, 139 p., **2001**.
- [7] Gehra, R.; Wagner, M.; Veerasubramaniana, P.; Payment, P.; Water Research. 37, 4573, **2003**.
- [8] Gonçalves, Ricardo Franci. Desinfecção de Efluentes Sanitários, PROSAB 3, Rio de Janeiro, ABES, 438p., **2003**.
- [9] Brahmi, M.; Belhadi, N. H.; Hamdi, H.; Hassen, A.; Journal of Environmental Sciences. 22(8), 1218, **2010**.
- [10] Nogueira, R. F.; Jardim, W. F.; Revista Química Nova. 21(1), 69, **1998**.
- [11] Chong, M. N.; Jin, B.; Chow, C. W. K.; Saint, C.; Water Research. 44, 2997, **2010**.
- [12] Ferreira, I. V. L.; Daniel, L. A.; Engenharia Sanitária e Ambiental. 9(4), 335, **2004**.
- [13] Litter, Martha I. Applied Catalysis B: Environmental. 23, 89, **1999**.
- [14] Paleologou, A. et al.; Catalysis Today. 129, 136, **2007**.
- [15] Tizaoui, C. et al.; Desalination. 227, 57, **2008**.
- [16] Lydakís-Simantiris, N.; Riga, D.; Katsivela, E.; Mantzavinos, D.; Xekoukoulotakis, N. P.; Desalination. 250, 351, **2010**.
- [17] APHA/AWWA - American Public Health Association. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20. ed. Baltimore, APHA, **1998**.
- [18] Flamm, D. T.; Environmental Science Technology. 11, 978, **1977**.
- [19] Bacarim, Gisele. Degradação de Formaldeído em Efluentes de Laboratório de Anatomia Humana através do Método UV/O₃/TiO₂. 55f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental – Mestrado) – Universidade de Santa Cruz do Sul, Santa Cruz do Sul, **2007**.
- [20] Eckenfelder Jr., Willian Wesley. Industrial Water Pollution Control, McGraw-Hill, 400, **1989**.
- [21] Ozônio. Disponível em: www.o3ozone.com/compare_features/ultraviolet_vs.htm. Acessado em maio de **2008**.
- [22] Hur, J.S. et al.; Postharvest Biology and Technology. 35, 109, **2005**.
- [23] Litter, Marta I.; Applied Catalysis B: Environmental. 23, 89, **1999**.