

REVISTA AIDIS

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

FOTOCATÁLISE HETEROGÊNEA ASSOCIADA A ELETRO-OXIDAÇÃO NO PRÉ-TRATAMENTO DE ÁGUA EUTROFIZADA EM UMA ESTAÇÃO PILOTO DE TRATAMENTO DE ÁGUA

* Eliezer Fares Abdala Neto¹
Marisete Dantas de Aquino¹

*HETEROGENEOUS PHOTOCATALYSIS ASSOCIATED WITH
ELECTRO-OXIDATION IN THE PRE-TREATMENT OF
EUTROPHIC WATER IN A PILOT STATION OF WATER
TREATMENT*

Recibido el 8 de febrero de 2012; Aceptado el 7 de septiembre de 2012

Abstract

The pre-chlorination is a practice performed in many water treatment plants in order to reduce the organic load. However, this practice leads to the formation of chlorinated products considered carcinogenic. This fact has raised interest in the development or improvement of techniques that can eliminate or reduce the use of chemical pre-oxidation. In this context, the aim of this research was to study the electrooxidation performance associated with heterogeneous photocatalysis (photoreactor) comparing to the employment of chlorine and chlorine dioxide, evaluating the quality of treated water in terms of chemical oxygen demand, chlorophyll a, turbidity and trichlormethane formation. After the pre-oxidation of the samples, they were subjected to coagulation with HCA (5.4 mg.l^{-1}), cationic polymer (2.0 mg.l^{-1}), descending direct filtration and post chlorination (5.0 mg.l^{-1}). Samples were collected at 30 and 90 minutes after the beginning of the career filtration and were analyzed according to Standard Methods for Examination of Water and Wastewater. The average results for turbidity removal reached 95.57% (chlorine), 96.23% (chlorine dioxide) and 99.5% (with the photoreactor). For COD removal was obtained an average of 37.45% (chlorine), 49.45% (chlorine dioxide) and 65.5% (photoreactor). The average of chlorophyll removal was 91.94% (chlorine), 94.04% (chlorine dioxide) and 98.97% (photoreactor). TTHM produced reached concentrations of $104.07 \mu\text{g.l}^{-1}$ (chloro), $88.85 \mu\text{g.l}^{-1}$ (chlorine dioxide) and $77.20 \mu\text{g.l}^{-1}$ (photoreactor). The photoreactor was capable of producing water within the standards established for water quality. In the meantime, the photoreactor is presented as a technology which enhances coagulation, by increasing the precipitation capacity of dissolved compounds, thus increasing the filtration efficiency, and minimizes by-products of chlorination.

Key Words: electro-oxidation; heterogeneous photocatalysis; pre-treatment of eutrophic water

¹ Universidade Federal do Ceará

* *Autor correspondente:* Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Universidade Federal do Ceará. Bloco 713, Avenida Humberto Monte S/N, Campus do Pici. Fortaleza-CE. CEP 60451-970, Brasil. Email: superagua@superiq.com.br

Resumo

A pré-cloração é uma prática realizada em muitas ETAs visando à redução da carga orgânica. Entretanto, essa prática leva a formação de subprodutos clorados considerados carcinogênicos. Tal fato tem suscitado o interesse no desenvolvimento ou aperfeiçoamento de técnicas que possam eliminar ou reduzir o uso das pré-oxidações químicas. Neste contexto surgiu o interesse no tema de pesquisa aqui estudado, que tem como objetivo, investigar, na pré-oxidação de água, o desempenho da eletroxidação associada à fotocatalise heterogênea (fotoreator) comparado ao emprego do cloro e dióxido de cloro, avaliando a qualidade da água tratada, em termos de DQO, Clorofila "a", turbidez e a formação de trihalometanos. Após pré-oxidadas, as amostras foram submetidas à coagulação com HCA (5.4 mg.L^{-1}), polímero catiônico (2.0 mg.L^{-1}), filtração direta descendente e pós-cloração (5.0 mg.L^{-1}). As coletadas foram realizadas com 30 e 90 minutos após o início da carreira de filtração e as análises seguiram as diretrizes gerais do *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater*. Os resultados médios de remoção para turbidez alcançaram 95.57% (com cloro), 96.23% (com dióxido de cloro) e 99.5% (com o fotoreator). Para DQO obteve-se remoção média de 37.45% (cloro), 49.45% (dióxido de cloro) e 65.5% (fotoreator). A remoção média de clorofila "a" foi de 91.94% (cloro), 94.04% (dióxido de cloro) e 98.97% (fotoreator). Para formação de Trihalometanos Totais obteve-se $104.07 \mu\text{g.L}^{-1}$ (cloro) e $88.85 \mu\text{g.L}^{-1}$ (dióxido de cloro). Com o uso do fotoreator obteve-se $77.20 \mu\text{g.L}^{-1}$, mostrando-se capaz de produzir, constantemente, água dentro dos padrões de potabilidade, ao mesmo tempo em que se apresenta como uma tecnologia que potencializa ações de coagulação, elevando a capacidade de precipitação de compostos dissolvidos e, por conseguinte aumentando a eficiência de filtração, minimizando a formação de subprodutos da pós-cloração.

Palavras Chave: eletro-oxidação; fotocatalise heterogênea; pré-tratamento de água eutrofizada

Introdução

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 (Bilotta, 2011). Atenção importante deve ser dirigida à poluição do meio aquático (Di Bernardo e Dantas, 2005). Muitas estações de tratamento de água (ETAs) apresentam, atualmente, sérios problemas operacionais decorrentes da falta de um prévio monitoramento da qualidade da água do manancial e intensa eutrofização, causada pela crescente introdução de nutrientes minerais provenientes de esgotos das cidades, acarretando, prejuízos nos processos de coagulação, floculação e filtração rápida (Sládecková e Záček, 1998).

No estado do Ceará a eficácia de remoção da matéria orgânica natural (MON) representa o maior desafio na produção de água potável, em muitas ETAs se recorre a pré-oxidação, pois a água apresenta MON originada de substâncias húmicas (ácidos húmicos e fúlvicos), potencializando à formação de compostos de cloro e bromo, que são os principais halogênios responsáveis pela formação de THMs (Sales, 2005). Os ácidos húmicos são muito mais importantes na formação dos trihalometanos do que os ácidos fúlvicos. Babcock e Singer (1977) demonstraram que a reação de cloro com os ácidos húmicos é muito mais ativa que com os ácidos fúlvicos, consumindo 75% mais cloro e produzindo 117% mais clorofórmio.

De acordo com Ivancev-Tumbas e Dalmacija (2001), a oxidação da MON pelo dióxido de cloro também pode gerar subprodutos, como os do tipo aldeído. Os esforços para controlar a formação de subprodutos, através da modificação de seus tipos e de suas concentrações estão focados principalmente em: selecionar o manancial em função da qualidade da água e seu possível controle; remover os precursores; otimizar o processo de tratamento com mudança do ponto de cloração e limitação do tempo de contato; seleção de desinfetantes alternativos e remoção dos subprodutos formados (De Salvo, 2002).

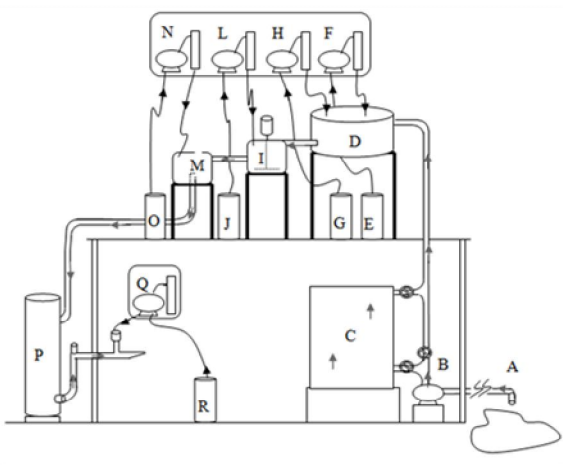
Alguns grupos de pesquisa tem se destacado desenvolvendo processos alternativos que possam eliminar ou reduzir o uso das pré-oxidações químicas. Mondardo *et al.* (2006) investigaram o desempenho da ozonização e da cloração utilizadas na pré-oxidação de água eutrofizada a ser submetida à filtração direta descendente, a pré-ozonização reduziu em 50% a formação de THMs quando comparado com o cloro. Para Matilainen e Sillanpää (2010) a fotocatalise heterogênea é capaz de degradar a matéria orgânica na água por três mecanismos: oxidação por radical $\bullet\text{OH}$, decloração reductiva por radicais superóxido e adsorção física pelo dióxido de titânio. Jin-Hui (2012) desenvolveu um reator fotocatalítico e obteve 25% a mais de remoção de poluentes orgânicos. Bertazzoli *et al.* (2002) constataram a eficiência ao tratar efluentes de uma indústria papelaria, têxtil e chorume de lixo doméstico, por processo foto-eletriquímico obtendo redução de 70% da cor inicial, além da redução de carbono orgânico total de aproximadamente 35%.

A utilização do processo eletrolítico vem emergindo como uma alternativa promissora. Ocorre quando um potencial elétrico é aplicado de uma fonte externa de corrente, provocando uma reação química não espontânea no meio aquoso, podendo oxidar ou reduzir íons metálicos, íons cianeto, compostos organoclorados, hidrocarbonetos aromáticos e alifáticos e seus derivados. Neste processo, elétrons são providos diretamente ao material tratado, sem adição de substâncias redutoras ou oxidantes potencialmente tóxicas, sem odores fortes, com tempos curtos de detenção, fácil automatização, sem geração de lodos e grande compatibilidade ambiental, pois reduz a toxicidade dos efluentes através da transformação de substâncias persistentes em substâncias facilmente biodegradáveis (Bidoia, 2004; Ticianelli e Gonzalez, 2005; Jia *et al.*, 2007; Medeiros *et al.*, 2011).

A pesquisa teve como objetivo investigar o desempenho da eletro-oxidação e fotocatalise heterogênea pré-oxidando água, a ser submetida à filtração direta descendente, seguida da pós-cloração avaliando a qualidade da água no que se refere à redução de concentrações da matéria orgânica em termos de DQO, estimativa da biomassa fitoplanctônica em termos de Clorofila "a", concentração de trihalometanos formados e turbidez, comparando com o emprego de pré-oxidantes químicos.

Materiais e métodos

Os experimentais foram realizadas no Centro de Pesquisa da Companhia de Água e Esgoto do Ceará (CAGECE), em área anexa à Estação de Tratamento de Água (ETA - Gavião), responsável pelo abastecimento da Região Metropolitana do município de Fortaleza, estado do Ceará. A Figura 1 apresenta um esboço das instalações da ETA – Piloto, onde a água bruta foi bombeada do açude Gavião até a área dos experimentos, seguindo para a aplicação da condição de pré-oxidação selecionada, coagulação, mistura rápida, adição de polímero, filtração direta descendente e pós-cloração.



- A – Água bruta no açude Gavião;
- B – Bomba centrífuga para captação de água bruta;
- C – Fotoreator: pré-oxidação por eletro-oxidação e fotocatalise;
- D – Reservatório (250L);
- E – Solução de Cl_2 , dosado no reservatório D;
- F – Bomba dosadora e bureta para ajuste da dosagem de cloro;
- G – Solução de ClO_2 , dosado no reservatório D;
- H – Bomba dosadora e bureta para ajuste da dosagem de ClO_2 ;
- I – Reservatório para dosagem de coagulante/mistura rápida;
- J – Solução de coagulante a ser aplicada no reservatório I;
- L – Bomba dosadora e bureta p/ ajuste de dosagem - coagulante;
- M – Reservatório p/dosagem de polímero presente no tanque O;
- N – Bomba dosadora e bureta p/ajuste da dosagem de polímero;
- P – Coluna filtrante do tipo descendente;
- Q – Bomba dosadora para dosagem de cloro na pós-cloração;
- R – Reservatório para solução de cloro na pós-cloração.

Figura 1. Instalações da ETA – Piloto do Gavião, utilizada na pesquisa.

O filtro descendente utilizado possuía: diâmetro interno de 150 mm, altura de 3 metros, leito filtrante de areia com espessura de 70 cm, tamanho dos grãos variando de 0.42 a 1.41 mm, operando na vazão de filtração de $4 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$ e taxa de filtração de $326 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$.

O fotoreator construído em alumínio operou conforme parâmetros apresentados na Figura 2. Os experimentos foram conduzidos em duas etapas: caracterização da água bruta e ensaios com diferentes condições de pré-oxidação: sem pré-oxidação, pré-oxidação química com cloro ($5.0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$) e dióxido de cloro ($1.2 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$) e por eletro-oxidação e fotocatalise heterogênea (com operação isolada e associada no fotoreator); seguida de coagulação, adição de polímero, filtração e pós-cloração. As carreiras de filtração foram identificadas como: **Bruta** – Água sem tratamento; **Branco** - Água tratada sem pré-oxidante; **Fotoreator** - Água pré-oxidada com o fotoreator; **Cloro** - Água pré-oxidada com cloro; **Dióxido** - Água pré-oxidada com dióxido de cloro. No total foram 20 carreiras de filtração com tempo máximo de operação de 90 minutos,

tempo justificado por resultados preliminares terem mostrado que o tempo médio de carreira variou em média 150 minutos. Portanto, o tempo máximo escolhido contempla a estabilização do processo e antecede a ocorrência da saturação do filtro. Amostras de água bruta foram coletadas no início de cada dia de experimento e, para a água filtrada as coletas foram realizadas em 30 e 90 minutos após o início de cada carreira.

Características hidráulicas	Tempo de contato: 2.75 min. / Vazão: 240 L.h ⁻¹ Volume útil do fotoreator: 11.04 L Espaço interno distribuídos em 05 chicanas
Agente oxidante Fotocatálise Heterogênea	Cinco fontes UV-C, PHILIPS [®] TUV-T8 75 W HO TM Potência total: 375 W → Consumo 1.56 kWh/m ³ Intensidade de radiação por fonte UV: 220 μW/cm ² Comprimento de onda no pico de emissão: 253.7 nm Frequência de pico: 1.1 x 10 ¹⁴ Hz Energia de cada fóton emitido: 4.89 eV No. de fótons emitidos por segundo: 3.32 x 10 ¹⁹
Agente Oxidante Eletro-oxidação	Cinco fontes de tensão: Hayama [®] HY-125 TM , 220-12V Potência total: 330 W Material do eletrodo: aço inox (não consumível) Medidas de cada eletrodo: 15x5cm (área de 75 cm ²) Quantidade de eletrodo por chicana: 10 unidades Quantidade total de eletrodos: 50 unidades Conjunto de eletrodos: 10 eletrodos justapostos Espaçamento entre os eletrodos: 5 mm Área total para um conjunto de eletrodos: 750 cm ² Intensidade média de corrente aplicada em cada conjunto de eletrodo: 5.5 A Densidade de corrente: 7.33 mA/cm ² Consumo: 1.37 kWh/m ³

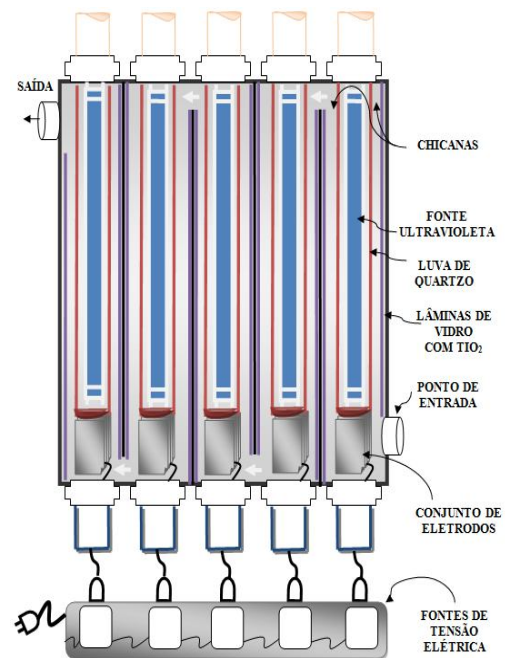


Figura 2. Parâmetros e esboço do fotoreator construído e instalado na ETA – Piloto, operando com fotocatalise heterogênea e eletro-oxidação, utilizado como alternativa de pré-oxidação em águas submetidas à filtração direta.

Os métodos analíticos seguiram as diretrizes gerais do *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2005). Foram avaliados DQO (parâmetro global utilizado como indicador do conteúdo orgânico de rápida determinação), Clorofila "a", trihalometanos formados (somente nas amostras coletadas após 90 minutos com tempo de contato de 24 horas, após a pós-cloração a 5.0 mg.L⁻¹) e turbidez (em turbidímetro modelo 2100P, da *Hach Company*[®]). O coagulante utilizado foi o PAC 23TM Hidroxicloreto de Alumínio (HCA) na concentração de 5.4 mg.L⁻¹, auxiliado pelo polímero catiônico líquido (polyDADMACTM) na concentração de 2.0 mg.L⁻¹. A determinação de residual de cloro livre foi realizada pelo método da Titulometria utilizando DPD, referenciada pelo método 4500 Cl F (APHA, 2005). Para determinação do teor de dióxido de cloro, utilizou-se o método com corante Lissamina *Green B* (*Lissamine Green B*; C.I. 44090). As concentrações utilizadas representam as mesmas praticadas

pela ETA Gavião, e são quantidades suficientes para manter a turbidez da água filtrada inferior a 0.5 uT, conforme recomenda a Portaria nº 2914, do Ministério da Saúde (BRASIL, 2011). Os ensaios foram realizados em triplicatas e, a partir dos valores e das médias, foram construídos os gráficos e as tabelas.

Resultados e Discussão

Durante o período de estudo (junho a setembro de 2011) foi realizado uma caracterização da água bruta, conforme se pode observar pela Tabela 1.

Tabela 1. Valores máximos e mínimos referentes à água bruta utilizada na pesquisa.

<i>Parâmetro</i>	<i>Valor mínimo</i>	<i>Valor máximo</i>	<i>Parâmetro</i>	<i>Valor mínimo</i>	<i>Valor máximo</i>
Alcalinidade Total (mg CaCO ₃ /L)	66.80	163.80	Clorofila "a" (µg/L)	22.94	90.45
Dureza total (mg CaCO ₃ /L)	87.4	93.5	Cor aparente (uH)	80	80
Nitrito (mg N-NO ₂ ²⁻ /L)	0.009	0.03	DQO (mg/L)	62.91	99.12
Nitrato (mg N-NO ₃ ⁻ /L)	0.114	0.114	Turbidez (uT)	20.1	22.9
Magnésio (mg Mg ²⁺ /L)	13.7	14.9	pH	7.80	7.60
Potássio (mg K ⁺ /L)	1.8	3.9	Sulfato (mg (SO ₄) ²⁻ /L)	13.0	18.7
Condutividade (µS/cm)	462	596	Cloretos (mg Cl ⁻ /L)	84.74	86.80

No emprego isolado da fotocatalise heterogênea obteve-se turbidez remanescente de 2.49 uT, DQO de 43.76 mg.L⁻¹ e clorofila "a" de 8,45 µg.L⁻¹. Com a eletro-oxidação os valores remanescentes foram: turbidez de 1.49 uT, DQO de 23.76 mg.L⁻¹, e clorofila "a" de 3.45 µg.L⁻¹. O uso isolado das tecnologias do fotoreator não foi capaz de produzir água atendendo a Portaria nº 2914 (BRASIL, 2011), que recomenda no quesito turbidez valor ≤0,5 uT. Porém, é importante destacar a superioridade dos resultados obtidos no emprego da eletro-oxidação em relação a fotocatalise, e ainda que na associação das tecnologias a eficiência mostra-se superior em relação aos processos empregados de forma isolada. Segundo Jyoti e Pandit (2001), o uso combinado de dois ou mais agentes químicos ou físicos, demonstra obtenção de níveis superiores de degradação, e nos processos combinados: eletroquímico e fotocatalítico, segundo Pelegrini (1999), ocorre maior geração de radicais hidroxila (•OH), apresentando efeito sinérgico. Para Sales (2005); Reckhow e Singer (1990), após a oxidação, o material orgânico adsorvido torna-se mais polarizado, e conseqüentemente suscetível à agregação. A pesquisa então foi continuada com o fotoreator operando com as tecnologias associadas, obtendo-se então maior efetividade na oxidação do material orgânico, provavelmente pela ampliação do poder de precipitação de compostos em solução e a própria desestabilização de suspensões coloidais de partículas sólidas, ações diretamente relacionadas aos mecanismos de coagulação.

Conforme mostra a Figura 3, a remoção de turbidez com o fotoreator alcançou percentual médio de 99.31% e 99.50% para 30 minutos e 90 minutos após o início da carreira de filtração, respectivamente. Com cloro o percentual médio de remoção da turbidez foi de 95.63% com 30 minutos e 95.50% após 90 minutos de carreira de filtração. E com o dióxido de cloro o percentual médio de remoção foi de 96.17% com 30 minutos e 96.28% com 90 minutos de carreira de filtração.

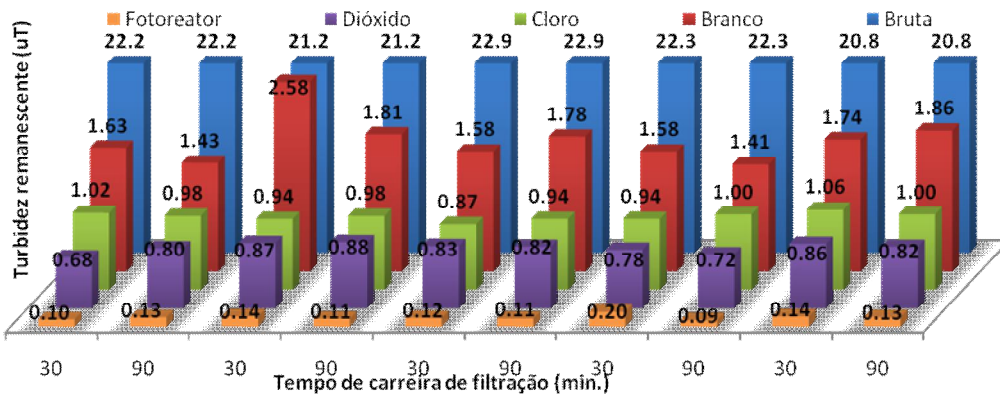


Figura 3. Resultados para turbidez remanescente, nas diferentes condições de pré-oxidação estudadas.

A Figura 4 apresenta os resultados para DQO, observa-se com o uso do fotoreator remoção de 65.5% e 58.0% para 30 e 90 minutos após o início da carreira, respectivamente. Superando os resultados obtidos com cloro que removeu 37.0% e 37.9% para 30 e 90 minutos de carreira, respectivamente. E com o dióxido de cloro o percentual médio de remoção de 43.8% com 30 minutos e 55.1% com 90 minutos de carreira.

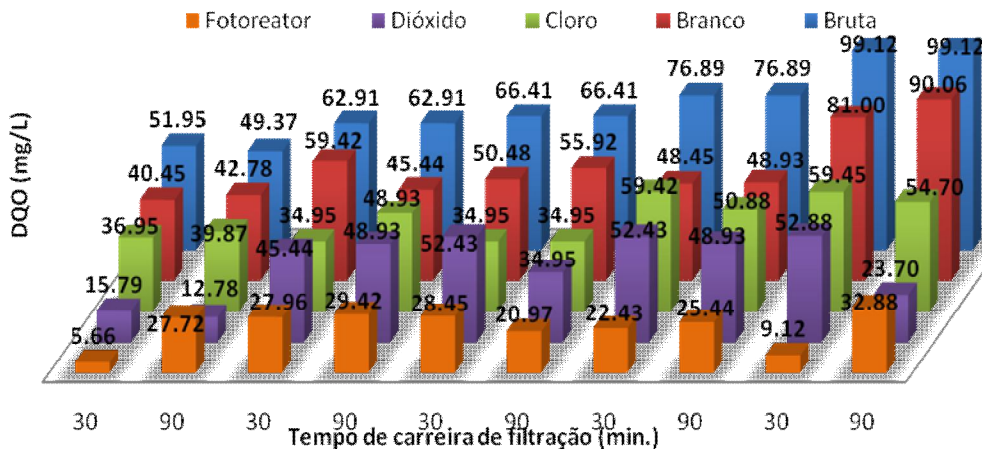


Figura 4. Resultados para DQO remanescente, nas diferentes condições de pré-oxidação estudadas.

Os resultados inferiores, principalmente verificados na remoção de turbidez, atribuídos ao uso dos pré-oxidantes químicos quando comparados ao do fotoreator, podem ser explicados por uma possível interferência do cloro no mecanismo de coagulação química, e que conseqüentemente, prejudica o processo de filtração que tem a aderência fortemente influenciada por fenômenos predominantemente químicos como o da adsorção-formação de pontes. Nos resultados de Clorofila "a" o uso do fotoreator alcançou média de 99.0% de remoção, enquanto que, com o cloro foi de 92.0%, e com o dióxido de cloro 94.0%.

A Portaria nº 2914 (BRASIL, 2011), estabelece os limites para concentração total das espécies de trihalometanos (TTHM), em 0.1 mg.L^{-1} ($100 \text{ } \mu\text{g.L}^{-1}$). Conforme a Figura 5 observa-se uma maior formação de TTHM para água tratada sem o uso de pré-oxidantes alcançando $106.28 \text{ } \mu\text{g.L}^{-1}$, neste caso há de se considerar a baixa efetividade nas ligações dos núcleos metálicos dos sais coagulantes dosados acarretando mínima remoção da carga orgânica devido a não utilização do pré-oxidante. Segundo Di Bernardo (2005), a formação dos subprodutos é favorecida, dentre outros fatores, pela concentração de matéria orgânica natural. Com o uso do dióxido de cloro obteve-se $88.85 \text{ } \mu\text{g.L}^{-1}$, e com cloro $104.07 \text{ } \mu\text{g.L}^{-1}$. Com o fotoreator obteve-se $77.20 \text{ } \mu\text{g.L}^{-1}$, portanto a menor formação obtida de TTHMs, resultado motivado pela elevada eficiência obtida nas ações de coagulação e filtração na remoção da carga orgânica. O fotoreator operando com tecnologias associadas apresentou consumo total de 2.93 KWh/m^3 .

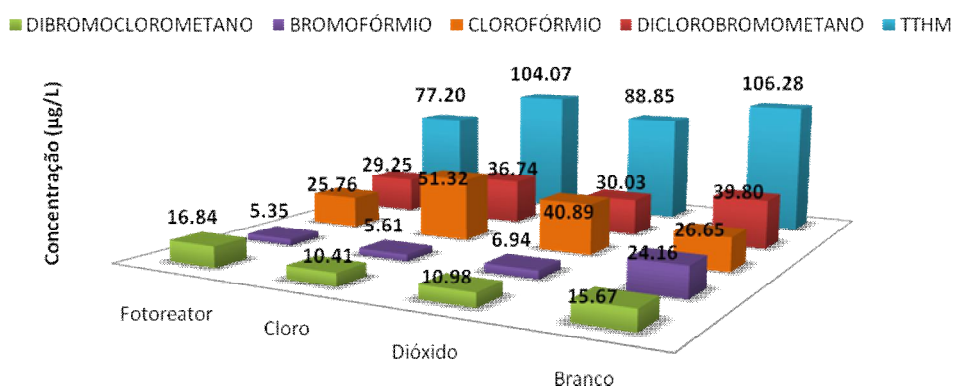


Figura 5. Resultados obtidos para as espécies de trihalometanos e trihalometanos totais (TTHM).

Conclusões

Conclui-se que o pré-tratamento à filtração direta descendente por eletro-oxidação associada à fotocatalise heterogênea, proporcionou melhores resultados de remoção de turbidez, clorofila "a", DQO e menor formação de THMs, comparados aos oxidantes químicos cloro e dióxido de cloro. Mostrando ser capaz de produzir, constantemente, água dentro dos padrões da Portaria nº 2914, ao mesmo tempo em que se apresenta como uma tecnologia que potencializa ações de

coagulação, elevando a capacidade de precipitação de compostos dissolvidos e, por conseguinte aumentando a eficiência de filtração, minimizando a formação de subprodutos da pós-cloração.

Referências bibliográficas

- APHA. AWWA, WPCF. (2005) *Standard Methods for the Examination of Water and wastewater*. 21th edition, Washington, USA.
- Bertazzoli, R.; Pelegrini, R. (2002) Descoloração e degradação de poluentes orgânicos em soluções aquosas através do processo fotoeletroquímico. *Química Nova*, **25**(3), 477-482.
- Bidoia E. D.; Notoya, E. Y. (2004) Tratamento Eletrolítico de Efluente Contendo Fenol com Eletrodos DSA. *Arq. Inst. Biol.*, v. 71, p. 1-749.
- Bilotta, P. ; Daniel, L. (2011) Inativação de Indicadores Microbiológicos com Ozônio no Tratamento de Esgoto Sanitário Visando o Reuso de Água. *Revista AIDIS*, **4**(2), 48 – 56.
- Brasil. Ministério da Saúde. (2011) Portaria nº 2914. Disponível em: http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html. Acesso em: 05 jan. 2012.
- DE Salvo, M. T. (2002) Redução de precursores de trihalometanos por coagulação otimizada. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- DI Bernardo, L.; Dantas, A. D. B. (2005) Métodos e técnicas de tratamento de água. 2.ed. São Carlos: RiMa. p. 32-33.
- Jia, B. J.; Zhou, J. T.; Zhang, A. L.; Liu, W. L.; Song, W. R. (2007) Novel electrochemical heterogeneous catalytic reactor for organic pollutant abatement. *Russ. J. Electrochem.*, v. 43, 296-300.
- Jin-hui, Zhao. (2012) Research on UV/TiO₂ Photocatalytic Oxidation of Organic Matter in Drinking Water and Its Influencing Factors. *Procedia Environmental Sciences*, n. 12, 445 – 452.
- Jyoti, K. K.; Pandit, Aniruddha B. (2011) Water disinfection by acoustic and hydrodynamic cavitation. *Biochemical Engineering Journal*, Mumbai, v. 7, 201–212.
- Ivancev-Tumbas I.; Dalmacija B. (2001) Effects of coagulation processes on aldehydes formation in groundwater treated with common oxidative agents. *Water Research*, **35**(16), 3950–3958.
- Medeiros, D. M.; Muñoz, A. H.; Lehmann, A. H.; Lucas Filho, M. (2011) Eliminación de Compuestos Volátiles Olorosos por Electrocoagulación. *Revista AIDIS*, **4**(2), 14 – 22.
- Mondardo, R. I. ; Sens, M. L.; Melo Filho, L. C. (2006). Pré-tratamento com cloro e ozônio para remoção de cianobactérias. *Eng. sanit. ambient.* **338**, **11**(4), 337-342.
- Matilainen, Anu; Sillanpää, Mika. (2010) Removal of natural organic matter from drinking water by advanced oxidation processes. *Chemosphere*, n. 80, 351 – 365.
- Pelegrini, R. T.; Peralta-Zamora P.; Andrade, A. R.; Reyes, J.; Durán, N. (1999) Electrochemically assisted photocatalytic degradation of reactive dyes. *Applied Catalysis B: Environmental*, v. 22, p. 83-90.
- Reckhow, D. A.; Singer, P. C. (1990) Chlorination by-products in drinking waters: from formation potentials to finished water concentrations. *Journal Awwa*, 173-180.
- Sales, M. V. (2005) Tratamento de água eutrofizada através de dupla filtração e oxidação. 261 f. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.
- Slávedecková, A; Záček, L. (1998) Technological and hygienic consequences of reservoirs eutrophication in the Czech Republic. *Water Science Technology*, **37**(2), 195-202.
- Ticianelli, E. A.; Gonzales, E. R. (2005) Eletroquímica: princípios e aplicações. 2. ed. São Paulo, EDUSP.
- Babcock, D. B.; Singer, P. C. (1979) Chlorination and coagulation of humic and fulvic acids. *Journal of the American Water Works Association*, Denver, **71**(3), 149.