

**I-107 – PRÉ-TRATAMENTO POR ELETROXIDAÇÃO ASSOCIADA À FOTOCATÁLISE HETEROGÊNEA NUMA ETA POR FILTRAÇÃO DIRETA****Eliezer Fares Abdala Neto** <sup>(1)</sup>

Engenheiro Mecânico pela Universidade de Fortaleza. Mestre em Engenharia Civil, área de concentração Saneamento Ambiental pela Universidade Federal do Ceará. Doutorando em Engenharia Civil com área de concentração em Saneamento Ambiental no Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da Universidade Federal do Ceará.

**Marisete Dantas de Aquino**

Engenheira. Doutor em Meio Ambiente / Recursos Hídricos. Professora Associada II do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental do Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Ceará.

**Manoel do Vale Sales**

Engenheiro Civil, mestre e doutor em engenharia civil. Engenheiro especialista da Companhia de Água e Esgoto do Ceará – CAGECE.

**Endereço** <sup>(1)</sup>: Rua Carlos Vasconcelos, 472 - Meireles – Fortaleza – Ce - CEP: 60115-170 - Brasil - Tel: (85) 88559010 - e-mail: superagua1@hotmail.com

**RESUMO**

A água desempenha um papel fundamental na geração e manutenção da vida em nosso planeta, ela compõe parte significativa das células de todos os seres vivos. A poluição do meio aquático pode causar alterações das características físicas, químicas ou biológicas, afetando os processos de tratamento de diversas formas. A reação do cloro com alguns compostos orgânicos leva à formação de trihalometanos. Além da poluição antrópica a água bruta contém ácidos fúlvicos e húmicos, resultantes da decomposição de folhas da vegetação. A maioria desses ácidos contém radicais cetona, que podem causar a formação de halofórmios após a reação com o cloro. Em diversas ETAs no Brasil é praticada a pré-oxidação da água bruta, mas em muitos casos não se faz o monitoramento adequado dos subprodutos gerados potencialmente prejudiciais à saúde. Tal fato reforça a necessidade de serem feitas mais pesquisas para o desenvolvimento ou aperfeiçoamento de técnicas destinadas a diminuir ou eliminar o uso das desinfecções químicas, mitigando a formação de subprodutos da cloração durante o processo de tratamento de água. Neste contexto surgiu o interesse no tema de pesquisa aqui estudado, que tem como objetivo, investigar o desempenho no uso de uma tecnologia alternativa (eletroxidação associada à fotocatalise heterogênea) comparado à desinfecções químicas (cloro e dióxido de cloro), na pré-oxidação de água. Avaliou-se a qualidade da água tratada, em termos de DQO, Clorofila “a” e turbidez. Os resultados atestam, para todas as carreiras de filtração realizadas, que os melhores resultados foram obtidos com o uso do fotoreator, alcançando remoção entre 54 a 78,80% na DQO; atingindo valores médios de turbidez 0,11 uT e removendo 99,0% em média de biomassa fitoplanctônica. Dentre os pré-oxidantes químicos o mais efetivo foi o dióxido de cloro com valores entre 25 a 61,4% de remoção para DQO, a turbidez atingiu valores acima de 0,50 uT e menores que 1,0 uT e 90,0% na remoção de clorofila “a”. Os melhores resultados obtidos com o uso do fotoreator justificam-se por ser uma tecnologia caracterizada como Processo Oxidativo Avançado, onde os radicais hidroxila reagem rápida e indiscriminadamente com a maioria dos compostos orgânicos, podendo terminar na completa mineralização dos compostos orgânicos. Conclui-se que a eletroxidação associada à fotocatalise heterogênea como alternativa de pré-oxidação, se posiciona como uma tecnologia a ser considerada e melhor investigada para compor operações que antecedem às ETAs, diminuindo o uso dos oxidantes químicos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Eletroxidação, Fotocatálise Heterogênea, Tratamento de Água, Fotoreator, Pré-oxidação física.

**INTRODUÇÃO**

A água desempenha um papel fundamental na geração e manutenção da vida em nosso planeta, ela compõe parte significativa das células de todos os seres vivos, estando envolvida em processos de transporte de nutrientes e dejetos; manutenção de temperatura; produção e armazenamento de energia, etc. Há também fatores externos ao nosso organismo que nos ligam a água, a história da humanidade tem evidenciado isso, quando nos mostra o surgimento de várias civilizações primitivas sempre às margens de mananciais, tornando-se condição fundamental para seu desenvolvimento.

De acordo com Di Bernardo e Dantas (2005), a poluição do meio aquático pode causar alterações das características físicas (turbidez, temperatura, condutividade, viscosidade, tensão superficial, etc.), químicas (pH, toxicidade, DBO, DQO, etc.) ou biológicas (espécies do fitoplâncton e do zooplâncton). As alterações na qualidade da água afetam os processos de tratamento de diversas formas: as dosagens de coagulantes e oxidantes são aumentadas; os flocos apresentam menor densidade; as carreiras de filtração têm menor duração; e são adicionadas à água substâncias precursoras da formação de subprodutos indesejados e causadoras de gostos e odores.

No Brasil, a presença, em seus mananciais, de microalgas e cianobactérias é um grave problema enfrentado pelas Estações de Tratamento de Água (ETAs) que utilizam a tecnologia de tratamento convencional ou Filtração Direta. Ou seja, dependendo da espécie e do número de indivíduos, há a redução da duração das carreiras de filtração, comprometendo seriamente a qualidade da água produzida, principalmente devido à liberação de metabólitos. Atualmente, são conhecidos aproximadamente 150 gêneros de cianobactérias, sendo que cerca de 46 espécies já foram identificadas como potencialmente tóxicas a vertebrados. (CUNHA, 2003).

A reação do cloro com alguns compostos orgânicos leva à formação de trialometanos (THM's). A água bruta contém ácidos fúlvicos e húmicos, resultantes da decomposição de folhas da vegetação (OPAS, 1987). A maioria desses ácidos contém radicais cetona, que podem causar a formação de halofórmios após a reação com o cloro (VAN BREMEM, 1984).

Em diversas ETAs no Brasil é praticada a pré-oxidação da água bruta, mas em muitos casos não se faz o monitoramento adequado dos subprodutos gerados potencialmente prejudiciais à saúde. Tal fato reforça a necessidade de serem feitas mais pesquisas para o desenvolvimento ou aperfeiçoamento de técnicas destinadas a mitigação da formação de subprodutos da cloração durante o processo de tratamento de água (SALES, 2005).

Diante disso, entende-se que os compostos classificados como subprodutos da desinfecção são originados a partir do uso do cloro e ou derivados em águas contendo matéria orgânica natural (substâncias húmicas), algas e outros. O cloro tem sido utilizado como oxidante da matéria orgânica e agente desinfetante sobre microrganismos patogênicos ou não presentes na água por mais de 100 anos, porém vale ressaltar que, a despeito das vantagens do cloro, a perspectiva do emprego de desinfetantes alternativos incrementou-se devido, basicamente, à progressiva evolução dos padrões de potabilidade estabelecidos pelos órgãos de controle culminando com a introdução, a partir do final da década de 70, dos THM's como parâmetros de qualidade de água para consumo humano, em função das propriedades carcinogênicas dos mesmos.

O processo eletroquímico baseia-se na aplicação de um potencial capaz de oxidar ou reduzir substratos de interesse. A eletro-oxidação direta de compostos orgânicos, ocorre, na maioria das vezes, a potenciais altos e, em meio aquoso, a reação de desprendimento de oxigênio é um caminho competitivo com a degradação. No caso de oxidação indireta, a reação ocorre com espécies que são geradas eletroquimicamente e que são capazes de oxidar os poluentes orgânicos na solução (FREIRE *et al.*, 2000).

Neste contexto surgiu o interesse no tema de pesquisa aqui estudado, que tem como objetivo, investigar o desempenho no uso de uma tecnologia alternativa (eletrooxidação associada à fotocatalise heterogênea) comparando à desinfecções químicas (cloro e dióxido de cloro), aplicada na pré-oxidação de água com elevada concentração de microalgas, a ser submetida à tecnologia de tratamento por Filtração Direta descendente, seguida por desinfecção por cloro numa Estação de Tratamento de Água – Piloto (ETA – Piloto). Avaliando a qualidade da água tratada, no que se refere à redução de concentração dos precursores dos trialometanos, principalmente, através do monitoramento da matéria orgânica em termos de DQO, estimativa da biomassa fitoplanctônica em termos de Clorofila “a” e turbidez.

## MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada em uma ETA Piloto, por filtração direta descendente, integrante do Centro de Pesquisa da Companhia de Água local (Companhia de Água e Esgoto do Estado do Ceará - CAGECE), em área anexa à Estação de Tratamento de Água (ETA - Gavião) responsável pelo abastecimento da Região Metropolitana do município de Fortaleza. As análises e exames laboratoriais foram realizados nos laboratórios deste Centro e em laboratórios localizados na Universidade Federal do Ceará. A fase experimental foi conduzida em duas etapas: caracterização da água bruta e ensaios em escala piloto entre diferentes condições de pré-oxidação em regime contínuo, objetivando avaliar desempenho entre os diversos pré-oxidantes

estudados, no que se refere à redução de concentração dos precursores dos trihalometanos (THM's), principalmente, através do monitoramento da matéria orgânica em termos de DQO, estimativa da biomassa fitoplanctônica em termos de Clorofila "a" e da concentração dos THM's formados.

### Principais parâmetros avaliados

Para avaliação de desempenho das diversas condições de pré-oxidação experimentadas, foram monitorados os seguintes parâmetros de controle:

- Turbidez - valores medidos através de um turbidímetro de bancada, fabricado pela Hach Company, modelo 2100P.
- As análises de DQO foram realizadas através do método titulométrico padrão com digestão das amostras em refluxo fechado, conforme descrito no Standard Methods (seção 5220 C).
- Clorofila "a" – Estimativa da biomassa fitoplanctônica, as amostras de águas foram filtradas por microfiltração e os pigmentos verdes e azul-verdes dissolvidos em solvente orgânico. Depois foi determinada a absorvância dos mesmos em 663 e 770 nm por espectrofotometria.

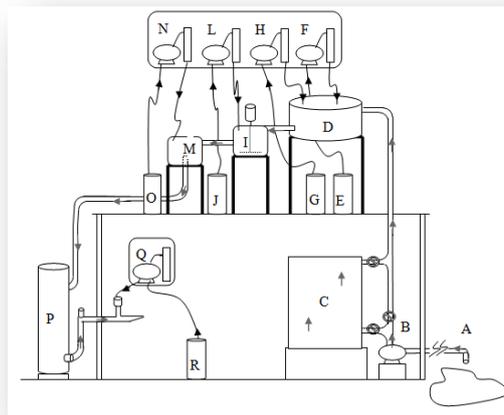
### Descrição da instalação piloto

A figura 1 apresenta um esboço das instalações da ETA – Piloto, utilizada durante a pesquisa, onde a captação da água bruta (A) foi realizada por uma bomba centrífuga (B), com recalque dirigido por meio de registros esféricos acionados de acordo com a condição de pré-oxidação a ser experimentada, ou seja, física com o uso do Fotoreator Híbrido (C); ou química dosando cloro ou dióxido de cloro diretamente no reservatório (D), que servia também como tanque de equalização da vazão de recalque da bomba centrífuga (B).

Para o uso do cloro, na pré-oxidação, utilizou-se um conjunto: bomba dosadora e bureta (F) para controle e ajuste de dosagem; no uso do dióxido de cloro a dosagem e o controle foi realizado pelo conjunto bomba dosadora e bureta (H), no uso do fotoreator (C) como pré-oxidante o recalque da bomba centrífuga (B) era desviado para o mesmo. Após a pré-oxidação o fluxo era dirigido para a câmara de mistura rápida (I), usado para dispersão das soluções por um agitador mecânico, dotado de controle eletrônico de rotação e paletas, com gradiente "G" de 1100 s<sup>-1</sup>, com ponto de aplicação do coagulante, anteriormente ajustado e controlado pelo conjunto bomba dosadora e bureta (L). Em seguida, no reservatório plástico (M) de 20 L, era dosado o polímero pelo conjunto bomba dosadora e bureta (N). Finalmente, o fluxo seguia por gravidade até a coluna de filtração (fluxo descendente) (P), saindo como água filtrada e então recebendo dosagem de cloro (pós-cloração), ajustada e controlada pelo conjunto bomba dosadora e bureta (Q).

As vazões eram aferidas tanto no reservatório de 250 L (D) instalado a jusante do fotoreator (C), como no reservatório plástico de 20L (M), instalado a jusante da câmara de mistura rápida/coagulação (I). Desta forma, antes de se efetuar a coleta de amostras eram verificadas estas vazões. Variações menores ou iguais a 10% em relação à vazão estabelecida de 4 L/min eram toleradas. Antes de iniciar uma etapa de experimentos, carreiras iniciais foram utilizadas para verificar funcionamento da instalação piloto, correção de pequenos problemas, ajustes das bombas dosadoras e ajuste das vazões.

Em todos os experimentos a coluna filtrante foi operada com taxas de filtração constantes, simulando a mesma taxa de filtração aplicada na ETA – Gavião, com valor de 326 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia, o que corresponde a uma vazão de 4 L/min. Desta forma ficou estabelecido que as carreiras de filtração fossem interrompidas quando a perda de carga no filtro atingisse valor de 1,50 m, resultado visualizado no equipamento de perda de carga. As lavagens ascensionais foram realizadas sempre no início e no término de cada carreira de filtração, com velocidade ascensionais de 0,60 m/min, capaz de provocar uma expansão em torno de 25% da altura da camada, com duração média de 10 minutos, tempo suficiente para que a água de lavagem apresentasse turbidez inferior a 5 uT. A água bruta utilizada nos experimentos é a mesma fonte de suprimento para a ETA - Gavião, a qual apresenta características decorrentes de processos de eutrofização e pode ser considerada como representativa das águas de outros açudes do Estado utilizados para o suprimento de água potável.



- A – Captação no açude Gavião
- B – Bomba centrífuga e os registros para seleção de uso do fotoreator
- C – Fotoreator Híbrido como alternativa de pré-oxidação
- D – Reservatório de 250 L recebendo água fotolisada ou bruta
- E – Reservatório para solução de cloro
- F – Bomba pulsante p/solução de Cl e bureta p/ controle de dosagem
- G – Reservatório para solução de dióxido de cloro
- H – Bomba pulsante p/solução de ClO<sub>2</sub> e bureta para controle de dosagem
- I – Câmara de mistura rápida/coagulação de seção retangular c/motor,eixo e pás
- J – Reservatório para solução de coagulante
- L – Bomba pulsante p/solução de coagulante e bureta p/controle de dosagem
- M – Reservatório plástico p/ajustar vazão de filtração e aplicação de polímero
- N – Conjunto bomba dosadora p/solução polímero e bureta p/controle de dosagem
- O – Reservatório para solução de polímero
- P – Coluna filtrante do tipo descendente
- Q – Bomba dosadora p/solução de Cl e bureta para controle de dosagem
- R – Reservatório para solução de cloro

**Figura 1** – Esboço das instalações da ETA – Piloto, utilizada na pesquisa.

### Coagulação/auxiliar de coagulação/mistura rápida

Nos experimentos foram empregados o coagulante e o polímero utilizados pela ETA Gavião, com dosagens suficientes para manter a turbidez da água filtrada inferior a 0,5 uT, conforme é recomendado pela Portaria nº 518 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2004). Como coagulante foi utilizado o Policloreto de alumínio (PAC), na concentração de 5,0 mg/L. Em todas as carreiras de filtração usou-se apenas um tipo de polímero catiônico, que tem como base química o composto polidialil dimetil cloreto de amônio, como auxiliar de coagulação, na concentração de 2,0 mg/L, essa escolha foi baseada na experiência de vários anos de utilização pela Cagece, onde esse produto tem demonstrado grande eficiência quando usado associado a um coagulante inorgânico em processos de tratamento que utilizam filtração direta. Para a dispersão das soluções foi utilizado um agitador mecânico, dotado de controle eletrônico de rotação e paletas, com gradiente “G” de 1100 s-1.

### Pré-oxidantes químicos

A concentração da solução de cloro foi realizada pelo método 4500 Cl G do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (1992), com modificações recomendadas pela Hach Company para realização da análise com o espectrofotômetro DR 2000. Para o dióxido de cloro a concentração da solução foi medida através do método 4500-ClO<sub>2</sub> D.2d do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (1992), com algumas modificações necessárias para a utilização do espectrofotômetro DR 2000.

### Pré-oxidante físico: fotoreator híbrido

Como opção alternativa de pré-oxidação, foi desenvolvido um fotoreator híbrido, conforme está apresentado na figura 3, combinando oxidantes físicos: processo eletrolítico associado à fotocatalise heterogênea. Construído com chapas de alumínio de ¼ da polegada de espessura, comprimento 1,13 m, largura de 0,34 m e profundidade de 0,076 m. Seu ambiente interno tem formatação original do tipo chicanas, dispondo de cinco

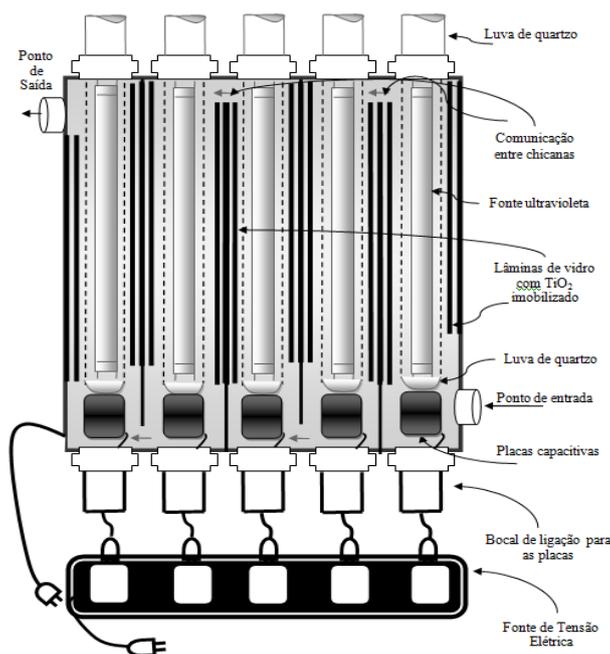
compartimentos divididos por paredes interligadas que forcem o fluxo hidráulico à turbulência. A pressão interna da câmara e temperatura foi monitorada através de manômetro e termômetro instalados no próprio fotoreator, e as leituras eram feitas no momento de cada coleta de amostra de modo a garantir a segurança na operação do sistema. Testes preliminares nos permitiram estabelecer um valor máximo para a pressão interna da câmara de reação,  $0,5 \text{ Kg/cm}^2$ . O volume interno útil do fotoreator é de 11,04 L, portanto com vazão de 4 L/min, que é o mesma vazão utilizada na coluna de filtração descendente, o tempo de detenção hidráulico (TDH) foi de 2,75 minutos.

#### Fotocatálise Heterogênea

Conforme está apresentado na figura 2, em cada uma das chicanas estava abrigada uma luva de cristal de quartzo com as fontes ultravioletas posicionadas internamente (marca Phillips, modelo TUV TL-D 55W – HO) de baixa pressão de vapor de mercúrio e longa duração (8.000 h). Cada luva de quartzo estava centralizada na sua respectiva chicana por conexões de vedação presentes em uma das laterais menores da câmara de reação. Nas paredes laterais, estendendo-se por todo o comprimento, foram fixadas placas de vidro jateadas de 8 mm de espessura, tendo uma de suas faces impregnada por dióxido de titânio (catalisador sólido), aplicado na concentração aproximada de  $10 \text{ g TiO}_2/\text{m}^2$ , de acordo com metodologia proposta por Nogueira e Jardim (1996).

#### Eletroxidação por campo elétrico uniforme

A eletroxidação foi promovida pelo uso de eletrodos de aço (placas capacitivas) conectados por bocais de ligação a uma fonte de tensão/corrente estabilizada, modelo HY-125 da marca Hayama, com densidades de corrente no sistema de  $30 \text{ mA/cm}^2$ . As placas capacitivas foram espaçadas em 2 mm, em cada chicana haviam um par de placas metálicas, conforme apresenta a figura 2, entre elas a água funcionava como eletrólito dando origem a um campo elétrico uniforme.



**Figura 2** – Esboço do ambiente interno e periféricos que compõem o fotoreator híbrido construído para a pesquisa.

#### Distribuição dos experimentos

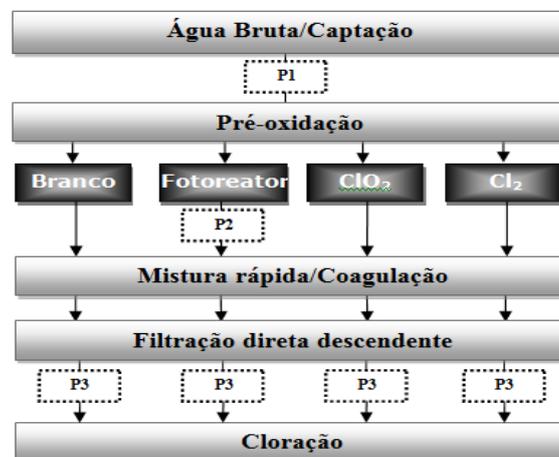
Em quatro dias de experimentações foram realizadas 16 carreiras de filtração, sendo 04 carreiras de filtração em cada dia, conforme apresentado no quadro 1. As amostras foram coletadas com ½ hora e 1,5 horas após o início da carreira, e os pontos de amostragem estão apresentados na figura 3. As amostras foram referenciadas pelo tipo de pré-oxidante utilizado: ABF - Água bruta sem pré-oxidação, adicionada de coagulante, polímero e filtrada; ACF - Água bruta pré-oxidada com cloro, adicionada de coagulante, polímero e filtrada; ADF - Água bruta pré-oxidada com dióxido de cloro, adicionada de coagulante, polímero e filtrada; e AFF - Água bruta pré-oxidada pelo fotoreator, adicionada de coagulante, polímero e filtrada.

**Quadro 1** – Distribuição dos experimentos por data, carreira de filtração, e parâmetros analisados.

Data	Carreiras	Pré-oxidantes experimentados
03/09/10	23, 24, 25 e 26	ABF, ACF, ADF e AFF
07/09/10	27, 28, 29 e 30	ABF, ACF, ADF e AFF
09/09/10	31, 32, 33 e 34	ABF, ACF, ADF e AFF
13/09/10	35, 36, 37 e 38	ABF, ACF, ADF e AFF

ABF: Água bruta sem pré-oxidação, adicionada de coagulante, polímero e filtrada;  
ACF: Água bruta pré-oxidada com cloro, adicionada de coagulante, polímero e filtrada;  
ADF: Água bruta pré-oxidada com dióxido de cloro, adicionada de coagulante, polímero e filtrada;  
AFF: Água bruta pré-oxidada pelo fotoreator, adicionada de coagulante, polímero e filtrada;

O tempo de 1,5 horas para duração de cada carreira de filtração se justifica pelos resultados preliminares terem mostrado que, o tempo médio de uma carreira de filtração com oxidantes químicos e sem oxidante foi de 2,5 horas em média, nas condições da ETA Piloto na época dos ensaios. Portanto, o intervalo de tempo de carreira escolhido contempla a estabilização do processo e antecede a ocorrência da saturação do filtro.



**Figura 3** – Esboço dos experimentos realizados, envolvendo diferentes condições de pré-oxidação com pontos de coleta de amostras denominados de: P1, P2 e P3.

A tabela 1 apresenta uma série de parâmetros que foram mantidos fixos durante a realização dos experimentos.

**Tabela 1** – Lista de parâmetros mantidos fixos para todos os experimentos.

Parâmetro	Valor
Tx. de filtração	325 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia
Vazão de filtração	240 L/h;
Concentração do coagulante – PAC	5,0 mg/L
Concentração do polímero	2,0 mg/L
Concentração de Cloro (pré-oxidação)	2,0 mg/L
Concentração de Dióxido de Cloro (pré-oxidação)	1,2 mg/L
Vazão no fotoreator	4 L/min
Tempo de detenção hidráulica (Fotoreator)	2,75 min.
Pressão interna no fotoreator	0,5 Kg/cm <sup>2</sup>

## RESULTADOS

Durante o período de estudos as características da água bruta variaram bastante, principalmente em relação a comunidade fitoplanctônica, alcalinidade e bicarbonatos, conforme apresentado na tabela 2. Os valores de turbidez, embora considerados elevados comparado ao histórico registrado pela estação, não sofreram variações consideráveis.

**Tabela 2** – Características das águas estudadas na ETA – Gavião, valores mínimos e máximos.

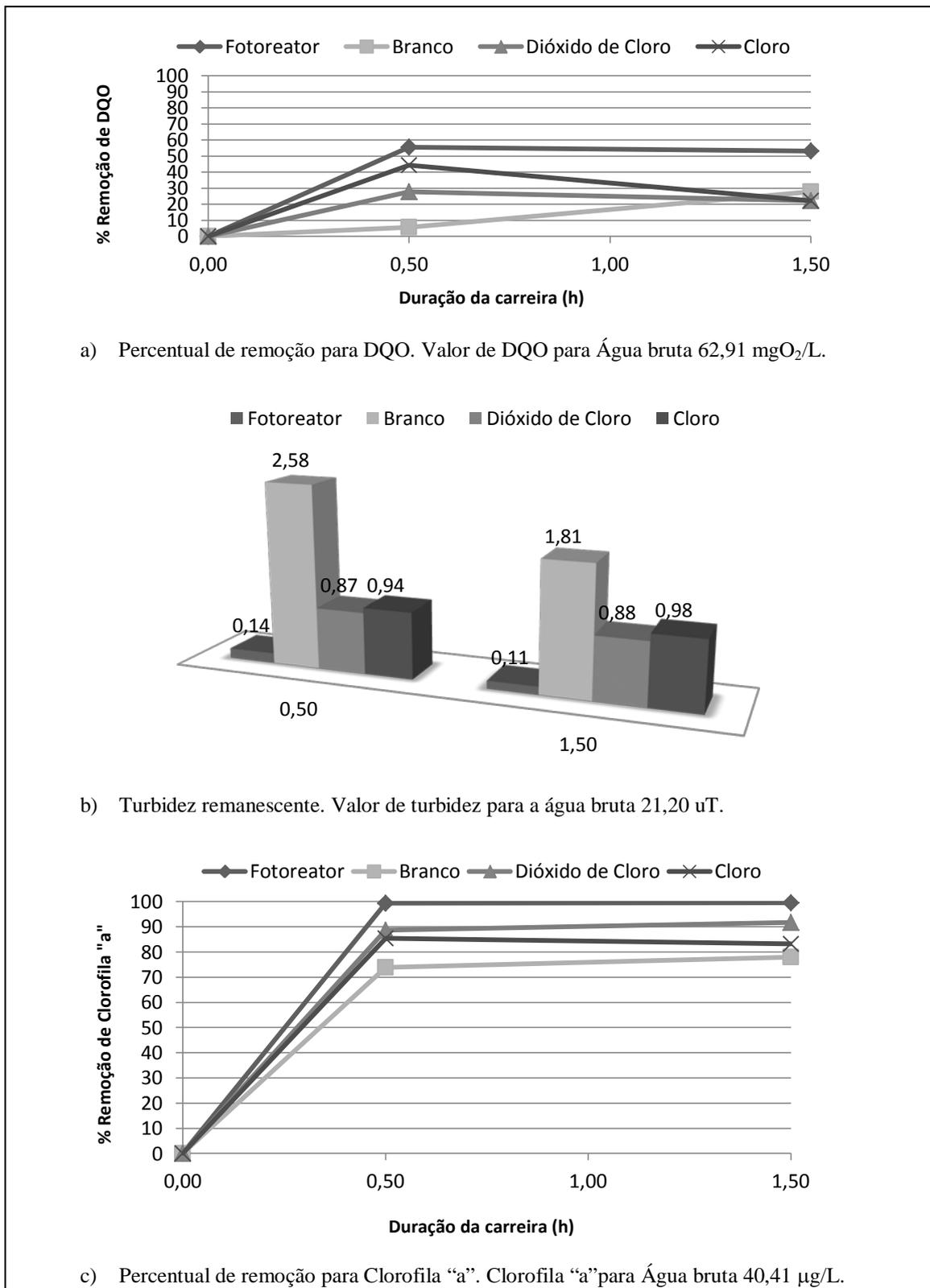
DETERMINAÇÃO	ÁGUA BRUTA
Alcalinidade total (mgCaCO <sub>3</sub> /L)	66,80 – 163,80
Dureza total (mg CaCO <sub>3</sub> /L)	87,4 – 93,5
Nitritos (mgN-NO <sub>2</sub> <sup>2-</sup> /L)	0,009 – 0,03
Nitratos (mgN-NO <sub>3</sub> <sup>7-</sup> /L)	≤0,114
Cálcio (mgCa <sup>2+</sup> /L)	11,7 – 13,7
Magnésio (mgMg <sup>2+</sup> /L)	13,7 – 14,9
Sódio (mgNa <sup>+</sup> /L)	47,80 – 101,80
Potássio (mgK <sup>+</sup> /L)	1,8 – 3,9
Ferro total (mgFe/L)	0,05 – 0,17
Cloretos (mgCl/L)	84,0 – 93,0
Bicarbonatos (mgHCO <sub>3</sub> <sup>7-</sup> /L)	81,50 – 199,60
Sulfatos (mg(SO <sub>4</sub> ) <sup>2-</sup> /L)	13,0 – 18,7
Condutividade (microSiemen/cm)	462 - 596
Cor (Hz)	80,00
pH	7,80 – 7,60
DQO (mgO <sub>2</sub> /L)	62,91 – 99,12
Turbidez (uT)	20,1 – 22,9
Clorofila “a” (µg/L)	22,64 – 90,45

As figuras 4a, 5a, 6a e 7a apresentam os percentuais de remoção referentes a DQO para a água submetida a diferentes condições de pré-oxidação. Os resultados atestam, para todas as carreiras realizadas, o maior percentual de remoção com o uso da pré-oxidação física (fotoreator). Alcançando no dia 03, 07, 09 e 13/09 remoção de 54%, 62,80%, 68,90% e 78,80%, respectivamente. Dentre os pré-oxidantes químicos o que mais se comportou como efetivo foi o dióxido de cloro com 61,4% de remoção de DQO, no dia 13/09.

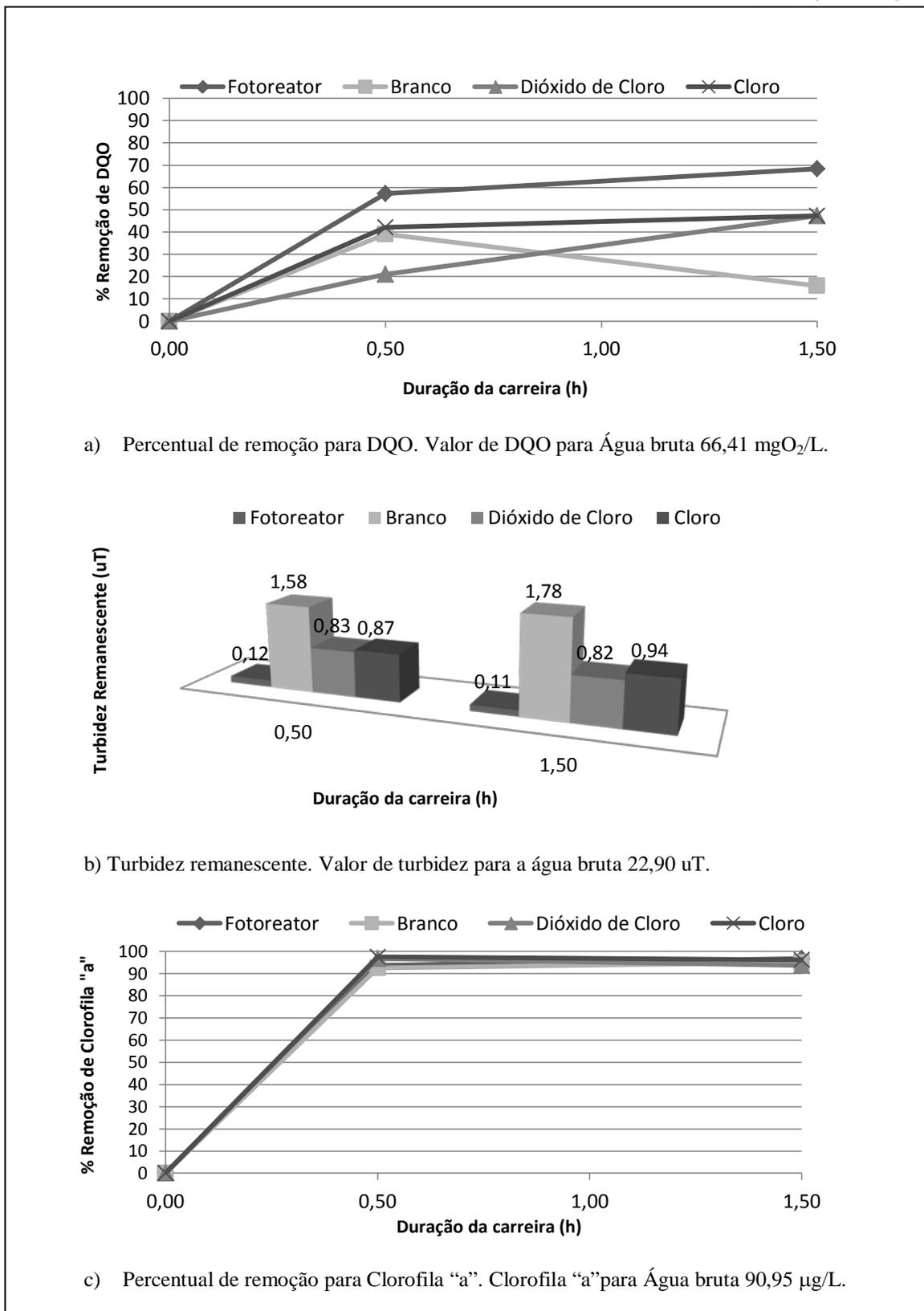
Os resultados de turbidez remanescente apresentados nas figuras 4b, 5b, 6b e 7b mostram que, já nos primeiros 30 minutos das carreiras de filtração, com o uso do fotoreator, os valores obtidos para água filtrada ficaram entre 0,10 e 0,20 uT, estabilizando-se entre 0,10 e 0,15 uT até o término da carreira de filtração. Ressalta-se que, estes resultados foram observados em todas as carreiras de filtração em que se utilizou o fotoreator híbrido, atestando maior ação oxidativa desta tecnologia em comparação com os oxidantes químicos utilizados. Indicando que o uso do fotoreator pode ser adequadas para a produção de água com baixa turbidez. Os valores médios de turbidez alcançados nos dias 03, 07, 09 e 13/09 foram de 0,11 uT, 0,13 uT, 0,20 uT e 0,14 uT, respectivamente. Considera-se a turbidez da água filtrada como indicador de desempenho especialmente por sua correspondência com a remoção de protozoários, especificamente correlacionando a remoção desta característica física à de cistos e oocistos de protozoários.

Um dos pigmentos responsáveis pela fotossíntese e por isso, utilizada para estimar a biomassa de fitoplâncton num corpo hídrico, é a determinação de Clorofila “a”. De grande importância para águas superficiais, especialmente aquelas submetidas às condições climáticas do semi-árido nordestino, expondo-as a altas horas de sol a pino. Os resultados para a principal variável indicadora de estado trófico dos ambientes aquáticos estão apresentados nas figuras 4c, 5c, 6c e 7c, como percentuais de remoção alcançados nas condições de pré-oxidação estudadas. Os valores obtidos para a água bruta, em todas as carreiras revelam condições eutrofizadas, para a maioria de amostras coletadas.

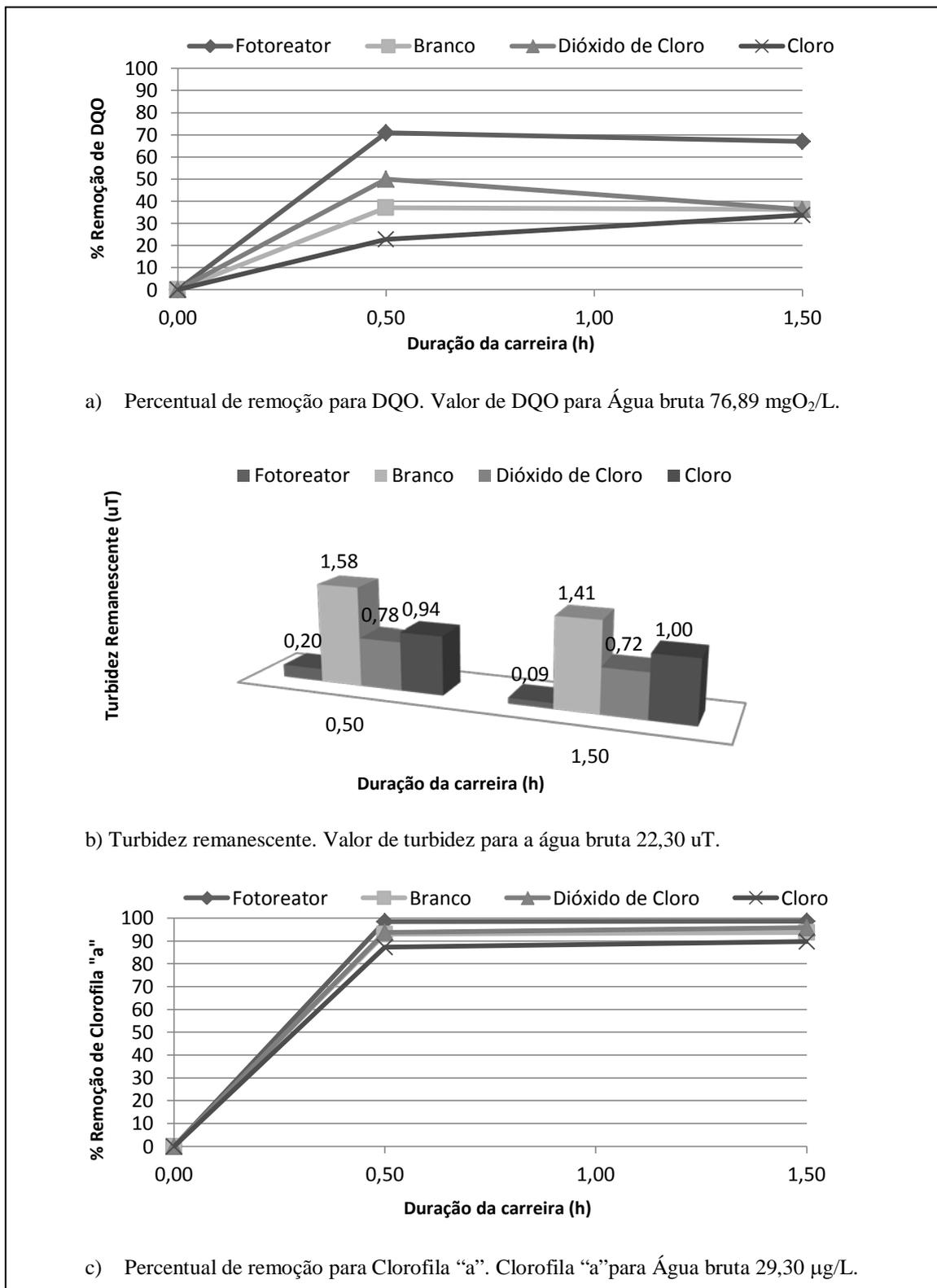
Os resultados para clorofila “a” para a água tratada mostrou certa proximidade de valores, até para os experimentos denominados de branco, ou seja, sem o uso de pré-oxidantes, revelando que o filtro tem sido o maior responsável pela retenção de grande parte desta biomassa fitoplanctônica presente na água bruta. Mesmo assim, os resultados apontam maior eficiência de remoção com o uso do fotoreator, onde foi alcançado valor médio de 99,0% de remoção enquanto que, no uso do cloro a remoção foi de 90,0%, com o dióxido de cloro foi alcançado 93,8% e, sem o uso de pré-oxidantes houve retenção de 84,9% de biomassa fitoplanctônica no leito filtrante.



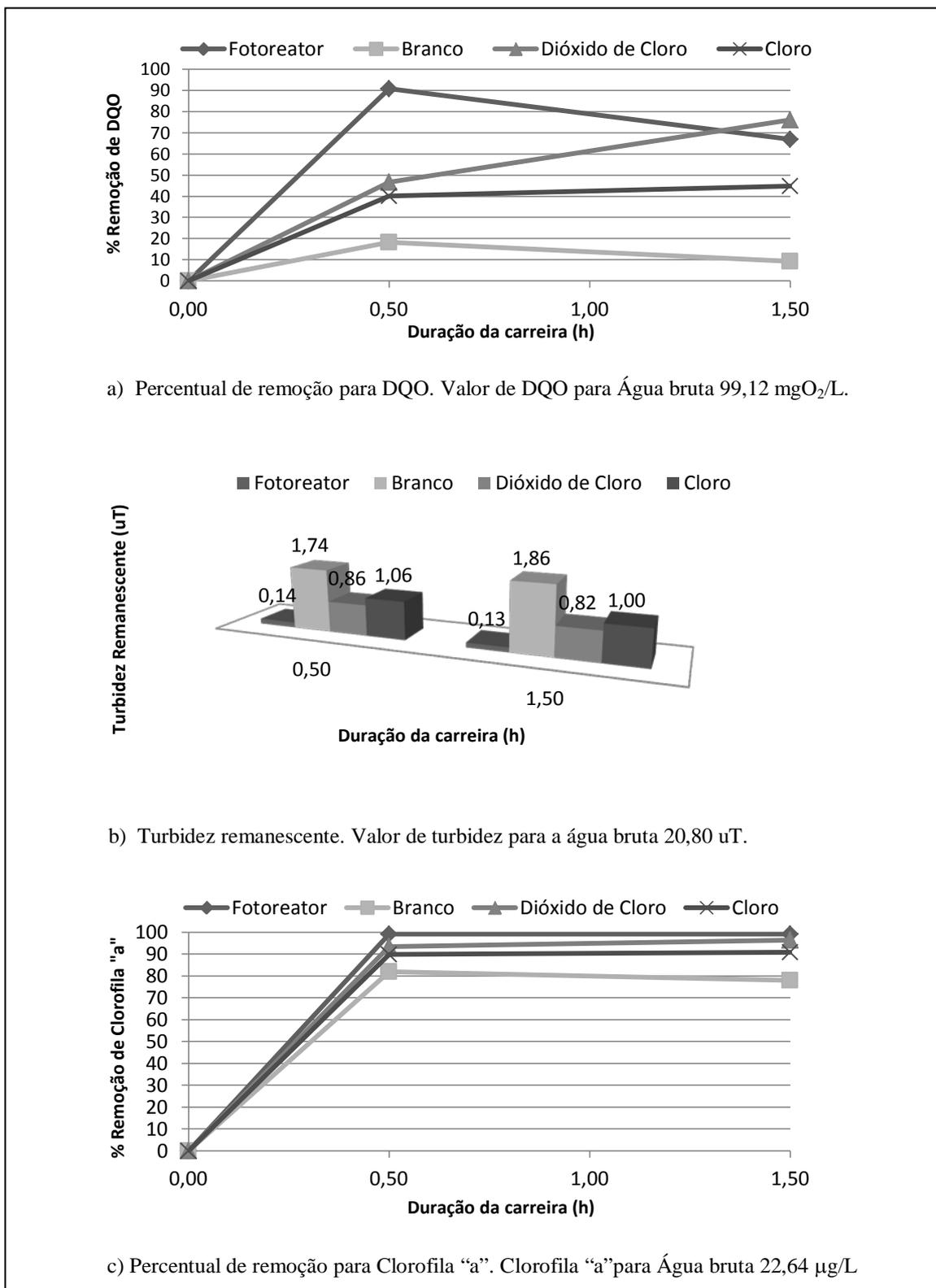
**Figura 4** – Gráficos dos resultados de: (a) percentual de remoção de DQO, (b) turbidez remanescente, e (c) percentual de remoção de Clorofila "a". Dados referentes as carreiras de filtração no. 23, 24, 25 e 26, em experimentos envolvendo diferentes condições de pré-oxidação. Realizado no dia: 03/09/2010.



**Figura 5** – Gráficos dos resultados de: (a) percentual de remoção de DQO, (b) turbidez remanescente, e (c) percentual de remoção de Clorofila "a". Dados referentes as carreiras de filtração no. 27, 28, 29 e 30, em experimentos envolvendo diferentes condições de pré-oxidação. Realizado no dia: 07/09/2010.



**Figura 6** – Gráficos dos resultados de: (a) percentual de remoção de DQO, (b) turbidez remanescente, e (c) percentual de remoção de Clorofila "a". Dados referentes a carreira de filtração no. 31, 32, 33 e 34, em experimentos envolvendo diferentes condições de pré-oxidação. Realizado no dia: 09/09/2010.



**Figura 7** – Gráficos dos resultados de: (a) percentual de remoção de DQO, (b) turbidez remanescente, e (c) percentual de remoção de Clorofila "a". Dados referentes a carreira de filtração no. 35, 36, 37 e 38, em experimentos envolvendo diferentes condições de pré-oxidação. Realizado no dia: 13/09/2010.

Os melhores resultados obtidos com o uso do fotoreator justificam-se, por caracterizar-se como um Processo Oxidativo Avançado (POA), onde a geração de radicais hidroxilas ( $\bullet\text{HO}$ ), que reagem rápida e indiscriminadamente com a maioria dos compostos orgânicos, na formação de radicais orgânicos que reagem com oxigênio, iniciam uma série de reações de degradação que podem terminar, na completa mineralização dos compostos orgânicos.

A turbidez da água filtrada deve ser considerada como um importante indicador de desempenho do fotoreator aqui estudado, tomando como base o estabelecido pela Portaria nº518 que mantém o limite de 1,0 uT e recomenda 0,5 uT em 95 % das amostras mensais, com vistas a assegurar adequada eficiência de remoção de enterovírus, cistos de *Giardia* spp e oocistos de *Cryptosporidium* sp. Além disso, ressalta-se ainda os melhores índices alcançados na remoção da matéria orgânica em termos de DQO e da biomassa fitoplanctônica em termos de Clorofila “a”, quando comparados com as outras condições de pré-oxidação estudadas..

## CONCLUSÕES

Conclui-se em função dos resultados obtidos que, a eletroxidação associada à fotocatalise heterogênea, aplicada como alternativa de pré-oxidação mostra-se como uma tecnologia a ser considerada e melhor investigada para compor operações que antecedem às ETAs, diminuindo ou eliminando o uso das desinfecções químicas, mitigando a formação de subprodutos da cloração durante o processo de tratamento de água.

Recomenda-se o prosseguimento das investigações incluindo uma maior amplitude investigativa, para maior fundamentação das ocorrências químicas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BRANCO, S. M. Água origem, uso e prevenção, Editora Moderna, 1993.
2. BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE. Portaria nº 518, de 25 de março de 2004. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 26 mar. 2004. Disponível em: <http://dtr2001.saude.gov.br/sas/PORTARIAS/Port2004/GM/GM-518.htm>. Acesso em: 20 mar. 2011.
3. CUNHA, N. T. et al. Registro de toxinas paralisantes produzidas por *Cylindrospermopsis raciborskii* na região sul do Brasil. In: 2º Simpósio Brasileiro de Engenharia Ambiental, Itajaí, Santa Catarina. Anais Itajaí, CD-ROM. 2003.
4. DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. D. B. Métodos e técnicas de tratamento de água. 2.ed. São Carlos: RiMa, 2005. p. 32-33.
5. FREIRE, R. S.; PELEGRINI, R.; KUBOTA, L. T.; DURÁN, N.; PERALTA-ZAMORA, P. Química Nova 23 (2000) 504.
6. SALES, M. V. Tratamento de água eutrofizada através de dupla filtração e oxidação. Universidade Federal do Ceará, Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos). Fortaleza, 2005. XII, 261f. :II.
7. VAN BREMEM, J., 1984. Water Quality. International Course in Sanitary Engineering. Delft: IHE/International Institute for Infrastructural, Hydraulic and Environmental Engineering. (Mimeo.).