

## I-049 - UTILIZAÇÃO DA DUPLA FILTRAÇÃO, OXIDAÇÃO E ADSORÇÃO COM CARVÃO ATIVADO PULVERIZADO NO TRATAMENTO DE ÁGUA EUTROFIZADA

**Sérgio Carlos Bernardo Queiroz<sup>(1)</sup>**

Engenheiro Ambiental pela Universidade Federal do Tocantins. Mestre em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (IPH/UFRGS). Engenheiro da Companhia de Saneamento do Tocantins (SANEATINS).

**Antônio Domingues Benetti**

Engenheiro Civil, Mestre em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Doutor em Environmental Engineering por Cornell University. Professor Associado II no Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

**Luiz Di Bernardo**

Professor Titular aposentado do Departamento de Hidráulica e Saneamento da Escola de Engenharia de São Carlos (EESC-USP). Professor da Universidade da Associação de Ensino de Ribeirão Preto (UNAERP). Diretor da Hidrosan Engenharia SS Ltda.

**Angela Di Bernardo Dantas**

Engenheira Civil com Mestrado, Doutorado e Pós-doutorado em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC-USP). Professora da Universidade da Associação de Ensino de Ribeirão Preto (UNAERP). Diretora da Hidrosan Engenharia SS Ltda.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Quadra 406 N, Alameda 10, HM 01 Lote 02, Bloco 03 AP 104, Residencial Vinícius de Moraes - Palmas - TO - CEP: 77006-492 - Brasil - Tel: (63) 3225-1894 - e-mail: sergiocbq@hotmail.com

### RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo principal avaliar os processos de dupla filtração, de oxidação com cloro e de adsorção em carvão ativado pulverizado para o tratamento da água do reservatório UHE Lajeado, na cidade de Palmas-TO. Os processos visaram, principalmente, à remoção de algas e possíveis subprodutos da oxidação. Para realização da pesquisa, foi montada uma instalação piloto de dupla filtração, composta pelas unidades de pré-cloração, adsorção em carvão ativado pulverizado, filtro ascendente em pedregulho e filtro rápido descendente de areia. Os filtros de pedregulho e de areia trabalharam com taxas de filtração de 120 e 180 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.d, respectivamente. A água bruta utilizada no estudo apresentava concentrações de cianobactérias acima de 10<sup>5</sup> cel/mL. Os resultados encontrados mostraram que o sistema foi capaz de produzir água potável que atende aos padrões da portaria 518 do Ministério da Saúde, obtendo-se valores de turbidez na saída do filtro descendente sempre abaixo de 0,50 uT. Em todos os ensaios realizados houve remoção de cianobactérias e de clorofila-a acima de 99%, sendo que os filtros ascendente e descendente foram os principais responsáveis por esta remoção. O uso do carvão ativado pulverizado aumentou a remoção do carbono orgânico total. Não houve formação significativa de subprodutos orgânicos halogenados no efluente do filtro de areia, ficando os valores encontrados muito abaixo do máximo permitido pelas legislações brasileira e internacional.

**PALAVRAS-CHAVE:** Dupla filtração, adsorção, oxidação, cianobactérias, subprodutos orgânicos halogenados.

### INTRODUÇÃO

A pressão exercida por atividades antrópicas no meio ambiente tem provocado uma grande deterioração da qualidade das águas superficiais. Essa queda na qualidade se deve, entre outros, ao lançamento nos corpos d'água de grande carga de nutrientes (nitrogênio e fósforo), que aliado a certas condições ambientais provocam um crescimento excessivo de organismos fitoplanctônicos (algas e cianobactérias). A presença desses organismos provoca sérios problemas operacionais em estações de tratamento de água (ETA) se estas não estiverem preparadas para removê-los.

Uma grande preocupação em relação ao tratamento da água é a escolha de tecnologias que sejam adequadas às características do manancial a ser explorado. Em muitas situações, a escolha dos processos de tratamento acaba

sendo inadequada, devido à falta de um monitoramento da qualidade da água do manancial antes da elaboração do projeto, ou pela falta de proteção do manancial, possibilitando modificações em suas características após a implantação da ETA (Mondardo *et al.*, 2006).

Além das algas, a presença de matéria orgânica dissolvida (MOD) em águas de abastecimento tem recebido a atenção de diversos pesquisadores desde a década de 70. A matéria orgânica dissolvida é gerada pela decomposição da matéria orgânica natural (MON), tal como a vegetação. Quando encontradas em mananciais para abastecimento público, podem conferir cor elevada, odor e sabor (Tangerino & Di Bernardo, 2005). Além disso, quando o cloro é adicionado à água bruta, ele reage com a MON e pode produzir trihalometanos, destacando-se o clorofórmio ( $\text{CHCl}_3$ ), ácidos mono, di e tricloroacético, e outros subprodutos orgânicos halogenados provenientes da oxidação, denominados de subprodutos da oxidação (SPOs). Estes subprodutos podem ser tóxicos, cancerígenos, mutagênicos ou teratogênicos. Em elevadas concentrações e longos períodos de exposição podem causar danos à saúde pública. Da mesma forma que a matéria orgânica dissolvida, os organismos fitoplanctônicos constituem-se também em compostos precursores dos SPHs.

Di Bernardo *et al.* (2003) destacaram o uso da dupla filtração como uma das mais promissoras tecnologias para tratamento de água, estimando-se que grande parte das necessidades de tratamento poderiam ser satisfeitas com o uso desta tecnologia, que emprega a filtração direta ascendente seguida da filtração rápida descendente. A filtração em pedregulho tem sido empregada em condições diversas de pré-tratamento apresentando resultados satisfatórios em vários países, incluindo o Brasil.

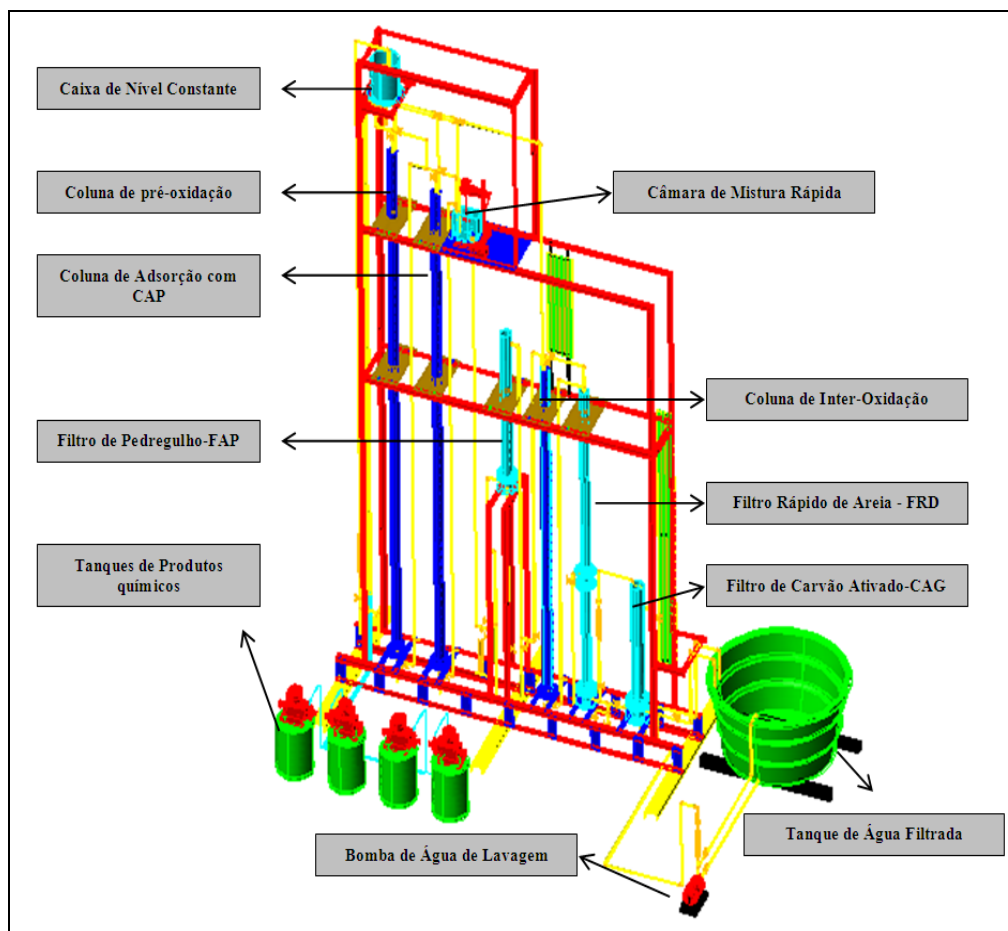
Dentro do contexto mencionado acima, a cidade de Palmas, capital do estado do Tocantins, busca uma alternativa para o futuro no abastecimento de água da cidade. Palmas conta hoje com três Estações de Tratamento de Água com captação superficial. Em paralelo ao crescente aumento da demanda de água tratada, está ocorrendo a redução da vazão dos mananciais superficiais que abastecem a cidade. Por exemplo, o ribeirão Taquaruçu, responsável pelo abastecimento de aproximadamente 67% da população, encontra-se com sua vazão toda comprometida na época da seca. Sendo assim, a Companhia de Saneamento (SANEATINS) vem buscando uma nova fonte de abastecimento capaz de suprir em quantidade e qualidade as exigências da demanda.

O lago formado através da construção da UHE Luiz Eduardo Magalhães (UHE Lageado) é a mais viável e potencial fonte de abastecimento de Palmas, pois além de deter um volume de 5,5 bilhões de metros cúbicos, margeia a cidade em toda sua extensão, o que promove uma maior logística ao abastecimento de água para o consumo humano da localidade. Entretanto, segundo Silva *et al.* (2003), foi registrado no reservatório desta hidrelétrica a floração de cianobactérias tóxicas, sendo encontradas quantidades massivas de *Microcystis aeruginosa* e *Radiocystis fernandoi*. Concentrações de microcistinas acima de  $3\mu\text{g/L}$  já foram encontradas no lago da UHE durante as florações.

Assim, a Companhia de Saneamento vem estudando a tecnologia de tratamento mais adequada para a qualidade da água do lago, sendo a Dupla Filtração uma opção a ser considerada. Este trabalho investigou a utilização desta tecnologia para o tratamento de água da cidade de Palmas, complementada ou não por adsorção em carvão ativado pulverizado e pré-oxidação com cloro.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização da pesquisa foi utilizada uma instalação piloto de dupla filtração (IPDF), implantada nas dependências da Estação de Tratamento de Água da ETA 006 em Palmas-TO. A unidade piloto era constituída pelos sistemas de recalque de água bruta, de regularização da vazão de água bruta, de mistura rápida e coagulação química, de distribuição de água coagulada, de coluna de pré-oxidação e coluna de adsorção, de filtro ascendente de pedregulho (FAP), filtro rápido descendente de areia (FRD), de coluna de interoxidação e filtro de carvão ativado granular (FCAG). Como não era objeto de estudo da pesquisa, não foram utilizados nos experimentos, a coluna de inter-oxidação e o filtro de carvão ativado granular. A figura 1 mostra o esquema geral da IPDF.



**Figura 1: Esquema geral da IPDF**

Previamente aos ensaios na ETA piloto, foram realizados ensaios de bancada de filtração direta, oxidação com cloro e adsorção em carvão ativado pulverizado (CAP) para determinação das condições de coagulação, consumo de cloro e dosagem de CAP.

Após a obtenção dos dados nos ensaios de bancada, realizaram-se os ensaios na IPDF. Conforme ilustrado na figura 2, foram executados 04 ensaios (carreiras de filtração), sendo que cada carreira possuía uma configuração diferente na IPDF. A duração da carreira de filtração foi fixada em 36 horas.

### Operação dos filtros

As taxas de filtração foram de 120 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.d no filtro ascendente de pedregulho e de 180 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.d no filtro rápido descendente. O FAP foi operado com a execução de descargas de fundo intermediárias (DFI) e finais (DFF). Eram realizadas com esvaziamento total do filtro com taxa inicial da ordem de 1000 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.d. A descarga de fundo final foi realizada no final da carreira de filtração, antes da execução da lavagem do FAP, enquanto as descargas de fundo intermediárias – DFIs foram efetuadas durante a carreira de filtração. Assim, as DFs no FAP passaram a ser realizadas com esvaziamento total do filtro com duração de 1 a 1,5 min, após 6 horas do início da carreira de filtração.

A lavagem do FAP foi efetuada com a aplicação de água com velocidade ascensional de 0,5 m/min durante cerca de 10 minutos, enquanto a lavagem do FRD foi executada com água para promover expansão de 30 a 40 % na camada de areia (velocidade ascensional de 0,8 m/min) durante cerca de 15 min.

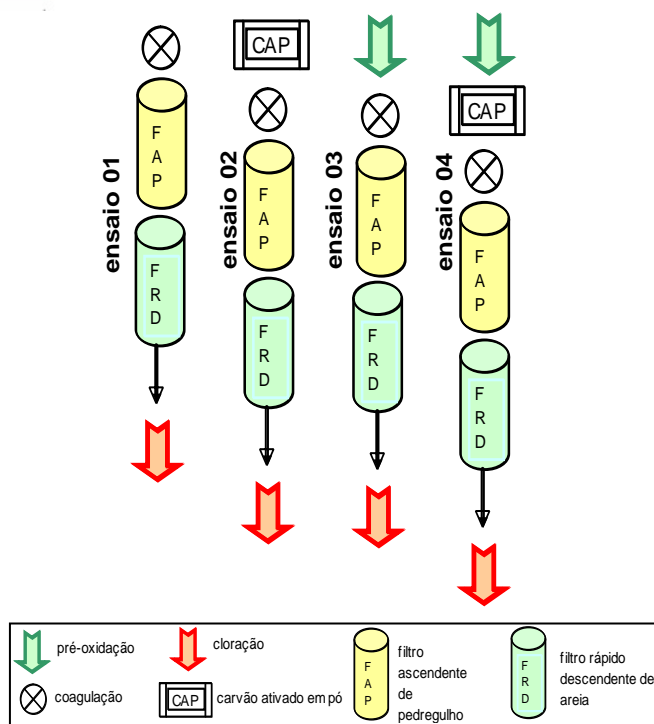


Figura 2: Esquema dos ensaios realizados na IPDF.

### Parâmetros de controle e eficiência

A tabela 1 mostra os parâmetros de controle da qualidade da água monitorada nos ensaios, assim como a frequência com que foram analisados. As análises das amostras foram realizadas segundo os métodos indicados no Standard Methods (APHA *et al.*, 1998). Na tabela 2 são apresentadas as especificações dos equipamentos utilizados e os métodos adotados na determinação dos parâmetros monitorados.

### Pós-cloração e formação de subprodutos

A etapa de pós-cloração (desinfecção) foi realizada nas quatro carreiras de filtração. A amostra de 0,5 L de água filtrada foi coletada na saída do FRD após 18 horas de funcionamento da IPDF com a finalidade de verificação da formação de subprodutos orgânicos halogenados. Uma solução de cloro, recém preparada, era adicionada a cada frasco para obter uma dosagem de 5 mg/L de cloro (pós-cloração). Os frascos eram fechados e lacrados com papel parafinado para evitar perdas de compostos voláteis por evaporação. A seguir, os frascos eram armazenados a temperatura  $25^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ , em câmara de DBO termostaticado. Após 30 minutos e 24 h, os frascos eram abertos e rapidamente coletados 100 mL de amostra em um frasco contendo aproximadamente 1 g de agente desclorante (ácido ascórbico) com objetivo de paralisar a reação do cloro. Os frascos identificados eram imediatamente lacrados e acondicionados em geladeira à temperatura de  $4^{\circ}\text{C}$ . As amostras foram enviadas para o laboratório da UNAERP em Ribeirão Preto-SP para extrações líquido-líquido e posterior cromatografia gasosa (CG-DCE). A tabela 3 apresenta um resumo das condições dos ensaios de oxidação.

### Água de estudo usada na ETA piloto

A água bruta utilizada na pesquisa foi proveniente de um braço do lago da UHE Lageado, em um possível futuro ponto de captação da estação de tratamento de água ETA 06. Como pode ser observado pela figura 3 este ponto fica a jusante do lançamento do efluente de uma estação de tratamento de esgoto (ETE Aureny, composto por lagoas de estabilização). A qualidade da água neste braço do lago vem sendo monitorada há mais de 4 anos e este ponto, a jusante da ETE, apresentou as piores condições, sendo encontradas florações de cianobactérias acima de 200.000 cel/mL. Entretanto, durante a realização dos ensaios experimentais, foram encontrados valores altos de cianobactérias apenas uma vez, fato este que impossibilitaria comparar os resultados das quatro carreiras de filtração programadas. Decidiu-se então, que quando a água coletada não estivesse com concentração de cianobactérias acima de  $10^5$  cel/mL, a mesma seria contaminada com algas oriundas da ETE até atingir esta concentração. As algas eram coletadas utilizando-se uma rede de plâncton com abertura de poro 25  $\mu\text{m}$  (ver figuras 4 e 5).

**Tabela 1: Parâmetros de controle de qualidade da água dos ensaios.**

Ensaio	Bruta	Pré-oxidada	CAP	Coagulada	Saída FAP	Saída FRD
1	Turbidez, pH, cor aparente e verdadeira, clorofila, temperatura, oxigênio consumido, cianobactérias COT (12 h)	-	-	pH (6 h)	Turbidez, cor aparente, clorofila, COT, oxigênio consumido, cianobactérias (6 h)	Turbidez, cor aparente, clorofila, COT, oxigênio consumido, cianobactérias (6 h) SPO * (18h)
2		-	Clorofila, oxigênio consumido, COT, Cianobactérias (6 h)	pH (6 h)	Turbidez, cor aparente, clorofila, COT, oxigênio consumido, cianobactérias (6 h)	Turbidez, cor aparente, clorofila, COT, oxigênio consumido, cianobactérias (6 h) SPO * (18h)
3		Cloro Residual, pH, clorofila, oxigênio consumido, COT cianobactérias (6 h), SPO* (18h)	-	pH (6 h)	Turbidez, cor aparente, clorofila, COT, oxigênio consumido, cianobactérias (6 h)	Turbidez, cor aparente, clorofila, COT, oxigênio consumido, cianobactérias (6 h) SPO * (18h)
4		Cloro Residual, pH, clorofila, oxigênio consumido, COT cianobactérias (6 h), SPO* (18h)	Clorofila, oxigênio consumido, COT, Cianobactérias (6 h)	pH (6 h)	Turbidez, cor aparente, clorofila, COT, oxigênio consumido, cianobactérias (6 h)	Turbidez, cor aparente, clorofila, COT, oxigênio consumido, cianobactérias (6 h) SPO * (18h)

\* SPO - subproduto da oxidação com cloro (amostra única coletada após 18 h de carreira)

**Tabela 2: Métodos e equipamentos utilizados na determinação dos parâmetros de controle.**

Parâmetro	Método e Equipamento
Residual de cloro (mg/L)	Espectrofotométrico Hach/DR 2010
Turbidez (uT)	Turbidímetro nefelométrico Hach / 1720C; 2100P; 2100N
pH	Potenciômetro Orion / 420A
Cor aparente e verdadeira (uH)	Espectrofotômetro Hach / DR 2010
Oxigênio Consumido (mg/L)	Método do Permanganato de Potássio
Carbono Orgânico Total (mg/L)	TOC 5000 A; Combustão; Radiação infra-vermelho: Total organic carbon analyser Shimadzu / TOC 5000 A
Cianobactérias (cel/mL)	Utermohl (CETESB, 1987)



**Tabela 3: Condições dos ensaios de oxidação.**

Variável	Condições
Temperatura	25°C em estufa termostaticado
Dosagem na pós-cloração	5 mg/L Cl <sub>2</sub>
Volume da amostra	500 mL em frasco escuro de vidro e fechado
Tempo de contato	30 min e 24 h
Inibidor (descolorante)	Ácido ascórbico



**Figura 3: Localização do ponto de coleta da água de estudo.**



**Figura 4: Coleta das algas na lagoa de estabilização.**



**Figura 5:** À esquerda: chegada da água do lago no reservatório de 10m³ de água bruta. À direita: mistura das algas coletadas na lagoa de estabilização com a água do lago.

## RESULTADOS

### Água bruta

A tabela 4 apresenta os resultados da caracterização físico-química e biológica das quatro águas de estudo utilizadas na pesquisa. Como mencionado anteriormente, só foi encontrada concentração de cianobactérias significativa na água do lago no período de realização do ensaio 1 (105.000 cel/mL). Assim, para os demais ensaios, algas provenientes das lagoas de estabilização foram adicionadas a água do lago afluente a IPDF para atingir concentrações maiores que  $10^5$  cel/mL.

Apesar da cor aparente ter resultado relativamente alta, os valores de cor verdadeira estiveram baixos, indicando pequena concentração de MOD. Os valores de turbidez também não foram elevados, sendo o máximo medido no ensaio 2, com 15 uT.

**Tabela 4: Caracterização das águas usadas nos ensaios na IPDF.**

Parâmetros	Ensaio 1	Ensaio 2	Ensaio 3	Ensaio 4
Alumínio (mg/L)	0,044	0,03	< 0,001	0,005
Condutividade (µS/cm)	34,4	67,5	53,2	55,9
Cor aparente (uH)	80	110	85	90
Cor verdadeira (uH)	5	6	5	7
Ferro (mg/L)	0,02	0,03	< 0,01	0,02
Manganês (mg/L)	0,09	0,02	0,01	0,06
Nitrato (mg/L)	0,3	0,3	0,8	0,5
Nitrito (mg/L)	0,005	0,004	0,001	0,003
Nitrogênio amoniacal (mg/L)	0,67	0,93	0,75	1,12
Fósforo total (mg/L)	0,17	0,23	0,29	0,21
pH	7,3	7,6	7,4	7,3
Sólidos totais dissolvidos (mg/L)	32	23	39	50
Turbidez (uT)	9,8	15	10,2	13
Carbono orgânico total (mg/L)	3,9	4,8	4,7	5,1
Cianobactérias (cel/mL)	105.000	120.000	109.000	118.000
Clorofila-a (µg/L)	24	30	26	25

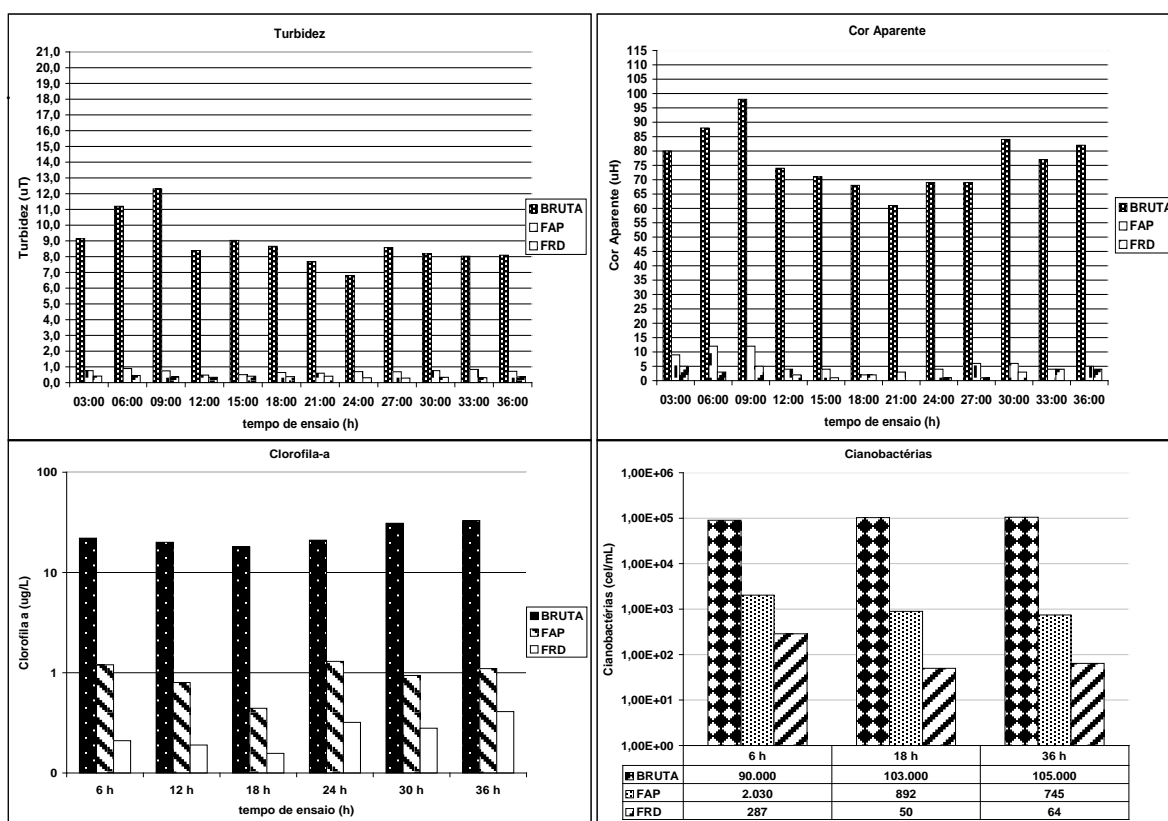
### Ensaio 1

A tabela 5 mostra o resumo dos dados no ensaio. As figuras 6 e 7 mostram, de forma gráfica, os valores dos parâmetros ao longo das 36 horas de duração do ensaio. Observa-se que, os valores de turbidez no efluente do FAP oscilaram entre 0,50 e 0,90 uT, enquanto que, na saída do FRD, variaram entre 0,30 e 0,50 uT. Portanto, o efluente do FRD apresentou valores de turbidez que estiveram dentro do recomendado pela portaria 518 do

Ministério da Saúde (MS). A cor aparente na água bruta variou de 61 a 98 uH. Apesar destes valores relativamente altos, a cor verdadeira era baixa (6 uH). Assim o FRD conseguiu produzir água tratada com valores de cor aparente abaixo de 5 uH.

**Tabela 5: Resumo dos dados do ensaio 1.**

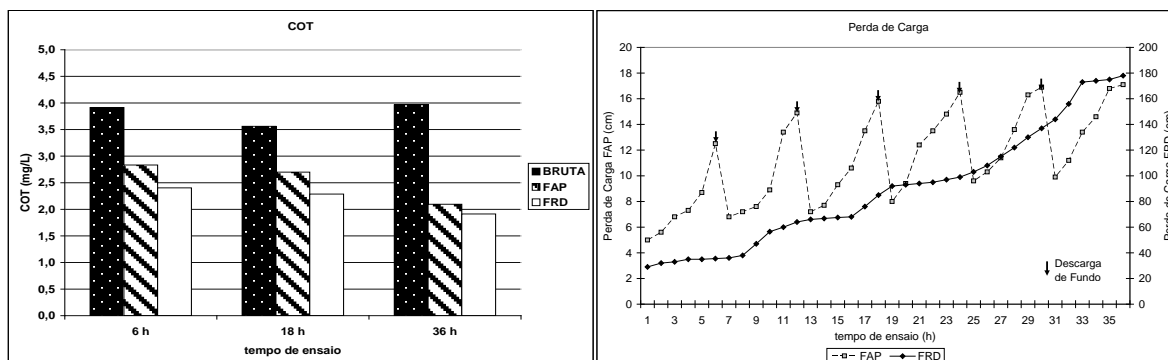
Taxas de filtração (m³/m².d)	FAP = 120 m³/m².d e FRD = 180 m³/m².d			
Dosagem de Sulfato de Alumínio	30 mg/L; pH = 6,2			
Parâmetros	Água Bruta	Água coagulada	Efluente do FAP	Efluente do FRD
pH	6,9 a 7,4	6,1 a 6,6	-	-
Turbidez (uT)	6,8 a 12,3	-	0,5 a 0,9	0,3 a 0,5
Cor Aparente (uH)	61 a 98	-	2 a 12	< 1 a 5
Clorofila-a (µg/L)	18 a 33	-	0,44 a 1,30	0,16 a 0,41
Cianobactérias (cel/mL)	9 x 10 <sup>4</sup> a 10,5 x 10 <sup>4</sup>	-	745 a 2030	50 a 287
Carbono orgânico total (mg/L)	3,56 a 3,97	-	2,01 a 2,83	1,91 a 2,40
Oxigênio consumido (mg/L)	3,3 a 4,2	-	0,9 a 1,5	0,7 a 1,3



**Figura 6: Resultados de turbidez, cor aparente, clorofila-a e cianobactérias no ensaio 1.**

No FAP obteve-se remoção de carbono orgânico total (COT) em torno de 33,0 %. Com a associação do FRD, a remoção aumentou para 42 %. Apesar desta redução, as concentrações no efluente do FRD não estiveram tão baixas, entre 1,91 e 2,40 mg/L. Os teores de clorofila-a na água bruta oscilaram entre 18 e 33 µg/L. A remoção alcançada pelo sistema foi muito boa, cerca de 98,8 %, com concentrações no efluente do FRD em torno de 0,28 µg/L. O FAP foi responsável pela maior parte desta remoção (96,0 %). A remoção de cianobactérias teve comportamento similar ao da clorofila-a, com redução na ordem de 99,9 % no sistema, sendo o FAP responsável por 98,8 % desta diminuição.





**Figura 7: Resultados de carbono orgânico total (COT) e perda de carga no ensaio 1.**

Os valores de perda de carga encontrada no FAP, antes da primeira descarga de fundo (DFIs), com 6 h de funcionamento foi de 12 cm, e a última, com 36 h de operação, foi de 17,1 cm. Vale ressaltar a importância das DFIs para o bom funcionamento do FAP, pois cada vez que era executada, a perda de carga diminuía significativamente, prolongando assim a carreira de filtração. Após 36 h de operação, o FRD apresentou perda de carga de 178 cm, quase o valor limite para execução de lavagem (181 cm).

## Ensaio 2

Os resultados do ensaio 2 são apresentados na tabela 6 e figuras 8 e 9. Os valores de turbidez na água bruta foram maiores do que no ensaio 1, variando entre 13,0 a 20,1 uT. O valor médio medido no efluente do FRD foi de 0,33 uT, abaixo do que o encontrado no ensaio 1. Também a cor aparente teve valores mais elevados na água bruta quando comparados ao primeiro ensaio, entre 94 e 115 uH. Os seus valores na saída do FRD ficaram abaixo de 2 uH, resultado melhor do que os obtidos no ensaio 1, provavelmente pela aplicação do carvão ativado pulverizado.

**Tabela 6: Resumo dos dados do ensaio 2.**

Taxas de filtração (m³/m².d)	FAP = 120 m³/m².d e FRD = 180 m³/m².d			
Dosagem de Sulfato de Alumínio	48 mg/L; pH = 6,1			
Dosagem de Carvão Ativado	40 mg/L			
Parâmetros	Água Bruta	Água coagulada	Efluente do FAP	Efluente do FRD
pH	7,4 a 7,6	6,1 a 6,5	-	-
Turbidez (uT)	13,5 a 20,1	-	0,7 a 1,6	0,2 a 0,4
Cor Aparente (uH)	93 a 115	-	3 a 15	< 1 a 2
Clorofila-a (µg/L)	16 a 45	-	0,18 a 1,20	0,06 a 0,28
Cianobactérias (cel/mL)	6 x 10 <sup>4</sup> a 14 x 10 <sup>4</sup>	-	66 a 139	26 a 49
Carbono orgânico total (mg/L)	4,49 a 5,12	-	2,29 a 2,46	1,58 a 1,68
Oxigênio Consumido (mg/L)	3,9 a 4,5	-	1,1 a 2,2	1,0 a 1,7

A remoção de Clorofila-a ocorreu na mesma ordem de grandeza daquela medida no ensaio 1, 97% no FAP e chegando a 99% com o FRD. As concentrações de cianobactérias na saída do FRD oscilaram entre 26 e 49 cel/mL (99,97% de remoção). O FAP, sozinho, removeu 99,91% das cianobactérias.

Nesta carreira de filtração, devido a aplicação do carvão ativado, a remoção de COT pelo sistema foi maior que no ensaio 1. O FAP conseguiu remover em média 51 %, e o FRD aumentou a remoção total para 67 %. Os valores na saída do FRD ficaram entre 1,58 e 1,68 mg/L, menores do que no ensaio 1.

Os valores de perda de carga no FAP oscilaram entre 13,2 e 19,1 cm no final das 6 e 36 horas de funcionamento, respectivamente, com DFIs de 6 em 6 horas. Estes valores estão cerca de 2 cm maiores dos que foram encontrados no ensaio anterior. No FRD o aumento da perda de carga foi mais significativo, atingindo o limite máximo previsto (181 cm) com 29 horas de operação. Assim houve necessidade de se lavar o filtro.

Supõe-se que esse aumento na perda de carga dos dois filtros se deva, principalmente, a pior qualidade da água bruta deste ensaio em relação ao anterior.

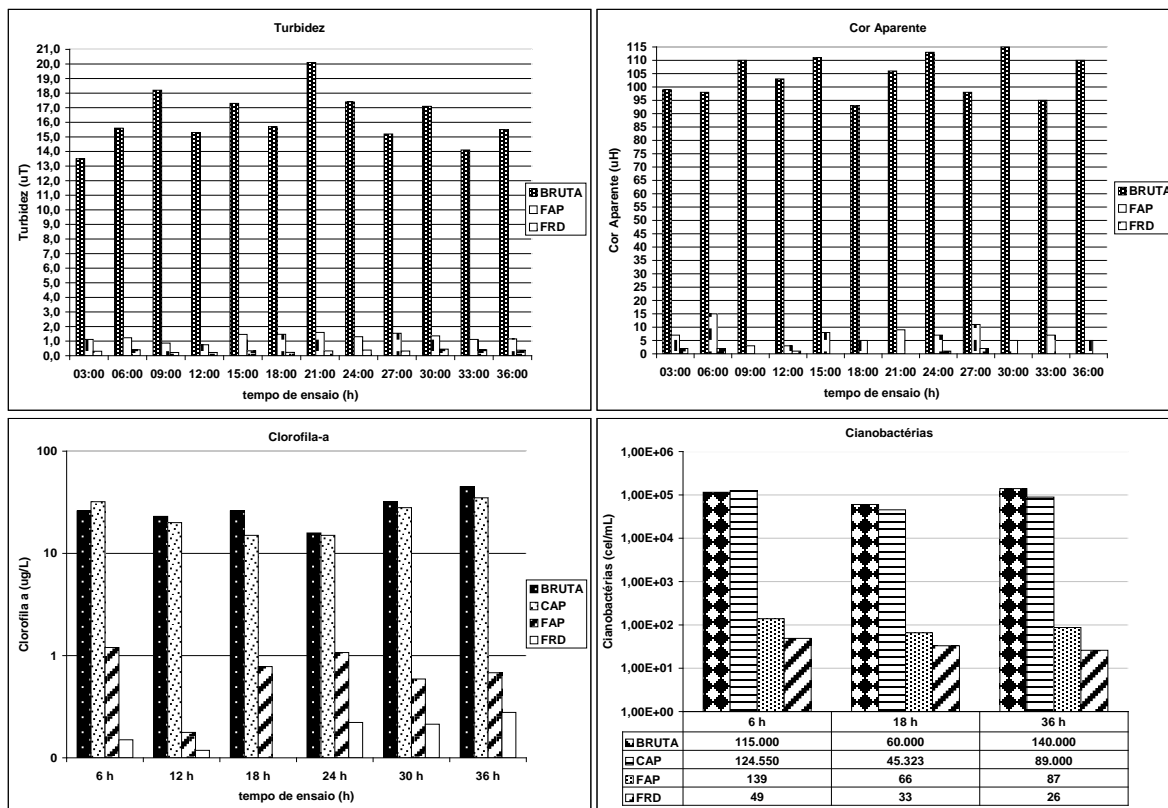


Figura 8: Resultados de turbidez, cor aparente, clorofila-a e cianobactérias no ensaio 2.

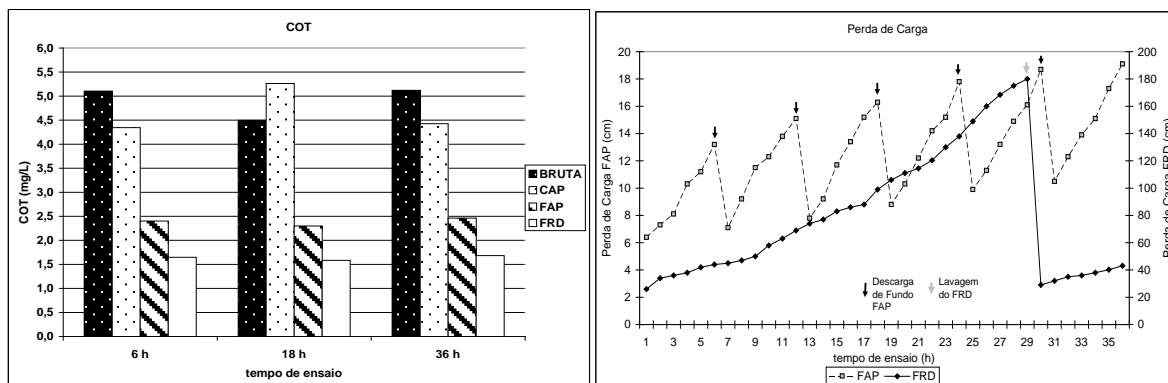


Figura 9: Resultados de carbono orgânico total (COT) e perda de carga ensaio 2.

### Ensaio 3

Na tabela 7 e figuras 10 e 11 são apresentados os resultados do ensaio 3. Os efluentes do FAP e FRD tiveram valores de turbidez menores do que os encontrados nos ensaios anteriores, ficando todos abaixo de 0,40 uT. A cor aparente na saída do FRD oscilou entre menos de 1 e 3 uH.

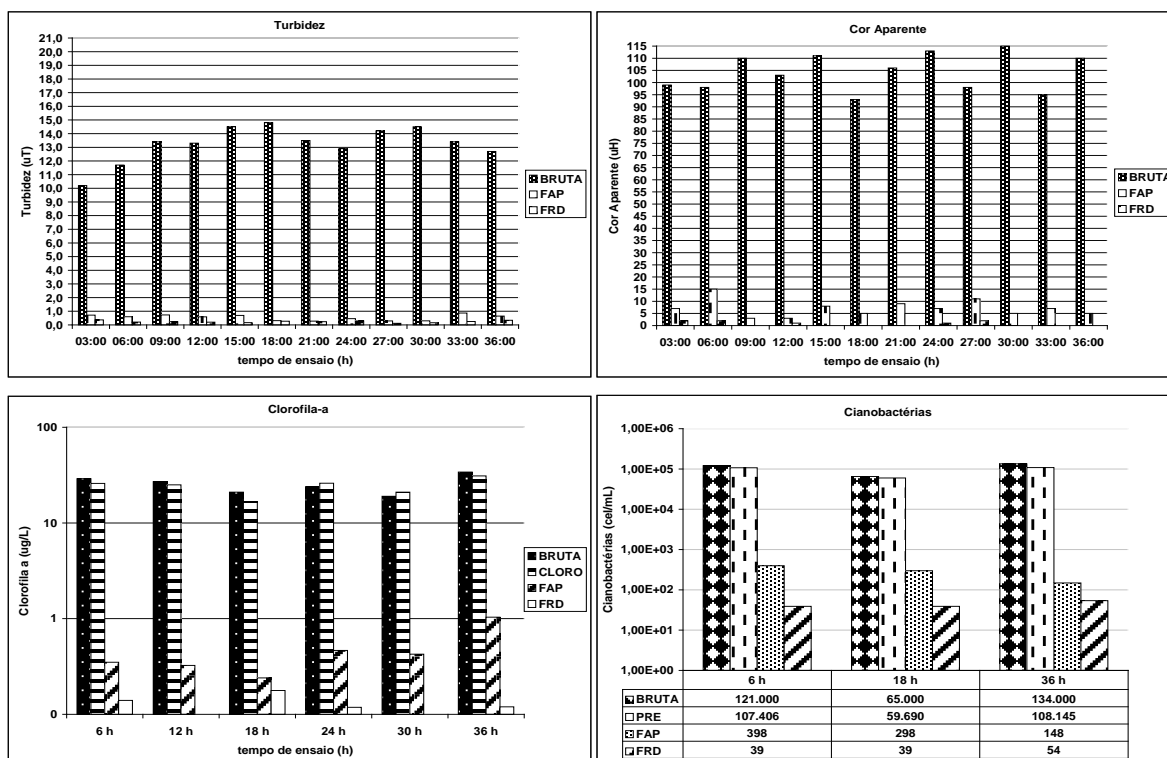
A remoção global de COT alcançada pelo sistema foi cerca de 68 %, similar ao ensaio 2, onde foi utilizado o carvão ativado pulverizado. Os teores de COT na saída FRD variaram entre 1,73 e 1,79 mg/L, pouco maior do que o ensaio 2.

A clorofila-a e as cianobactérias, assim como nos ensaios anteriores continuaram apresentando bons índices de remoção. O FAP continuou removendo a maior parte da clorofila-a (98,2%) e cianobactérias (99,7%). O FRD

aumentou a remoção para 99,5 e 99,9 % respectivamente. As perdas de carga foram menores que nos ensaios anteriores, sendo de 15,9 cm e 157 cm após 36 horas de operação, no FAP e no FRD, respectivamente.

**Tabela 7: Resumo dos dados no ensaio 3.**

Taxas de filtração (m³/m².d)	FAP = 120 m³/m².d e FRD = 180 m³/m².d			
Dosagem de Sulfato de Alumínio	39 mg/L; pH = 6,2			
Residual de Cloro	≅ 0,1 mg/L			
Parâmetros	Água Bruta	Água coagulada	Efluente do FAP	Efluente do FRD
pH	7,2 a 7,3	6,0 a 6,4	-	-
Turbidez (uT)	10,2 a 14,8	-	0,3 a 0,9	0,1 a 0,4
Cor Aparente (uH)	57 a 94	-	< 1 a 8	< 1 a 3
Clorofila-a (µg/L)	19 a 34	-	0,24 a 1,04	0,05 a 0,18
Cianobactérias (cel/mL)	6,5 x 10⁴ a 13,4 x 10⁴	-	148 a 398	39 a 54
Carbono orgânico total (mg/L)	4,69 a 6,17	-	2,52 a 2,57	1,73 a 1,79
Oxigênio Consumido (mg/L)	4,6 a 5,0	-	1,4 a 2,6	1,2 a 2,0



**Figura 10: Resultados de turbidez, cor aparente, clorofila-a e cianobactérias**

#### Ensaio 4

Os resultados são apresentados na tabela 8 e nas figuras 12 e 13. Os valores de turbidez na água bruta, saídas do FAP e FRD variaram 7,1 e 12,3, 0,3 e 1,4 e menor que 0,5 uT, respectivamente. Os resultados para cor aparente foram semelhantes ao ensaio 3, com valores nos efluentes do FAP e FRD entre < 1 a 7 uH e < 1 uH, respectivamente.

A remoção de COT foi a maior entre todos os ensaios realizados, embora próxima daquela observada no ensaio 3. O FAP apresentou remoção de 56 %, chegando a 69% com o FRD. Os valores na saída do FRD foram os mais baixos dos quatro ensaios, variando entre 1,41 e 1,56 mg/L.

As maiores remoções de clorofila-a e cianobactérias foram às observadas neste ensaio. As remoções de cianobactérias no FAP e FRD chegaram a 99,90 % e 99,99%, respectivamente. A pré-cloração foi responsável pela remoção de 11 % de cianobactérias. Verificou-se, mais uma vez, que a maior parcela da remoção das algas ficou por conta do sistema de coagulação e filtração. As perdas de carga no FAP e FRD, após 36 horas de operação, foram de 16,2 cm e 168 cm, cerca de 11 cm a mais do que no ensaio 3.

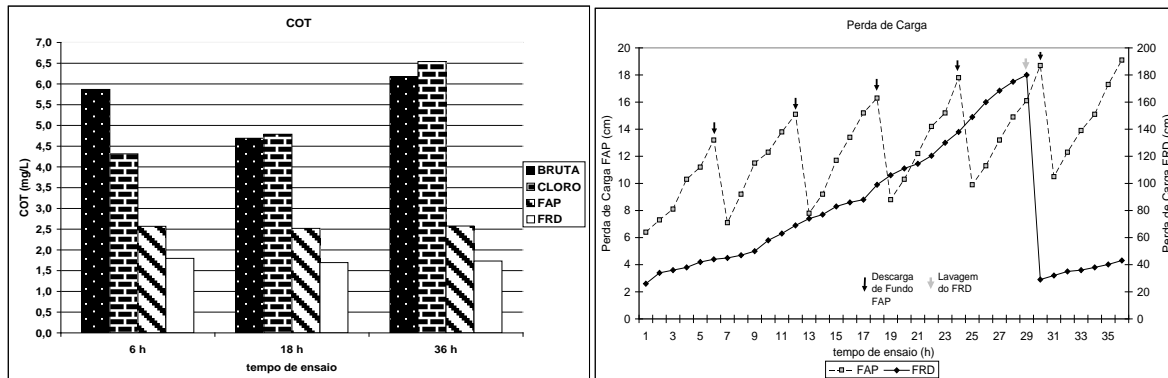


Figura 11: Resultados de Carbono Orgânico Total (COT) e perda de carga no ensaio 3.

Tabela 8: Resumo dos dados no ensaio 4.

Taxas de filtração (m³/m².d)	FAP = 120 m³/m².d e FRD = 180 m³/m².d			
Dosagem de sulfato de alumínio	45 mg/L; pH = 6,2			
Dosagem de Carvão Ativado	40 mg/L			
Residual de Cloro	≅ 0,1 mg/L			
Parâmetros	Água Bruta	Água coagulada	Efluente do FAP	Efluente do FRD
pH	7,5 a 7,2	6,1 a 6,5	-	-
Turbidez (uT)	7,1 a 12,3	-	0,3 a 1,4	0,2 a 0,5
Cor Aparente (uH)	68 a 87	-	< 1 a 7	< 1 a 2
Clorofila-a (µg/L)	20 a 41	-	0,16 a 0,51	0,06 a 0,14
Cianobactérias (cel/mL)	13 x 10 <sup>4</sup> a 19 x 10 <sup>4</sup>	-	119 a 232	6 a 10
Carbono orgânico total (mg/L)	3,98 a 6,28	-	2,06 a 2,19	1,41 a 1,56
Oxigênio Consumido (mg/L)	4,8 a 5,0	-	1,2 a 1,9	0,8 a 1,9

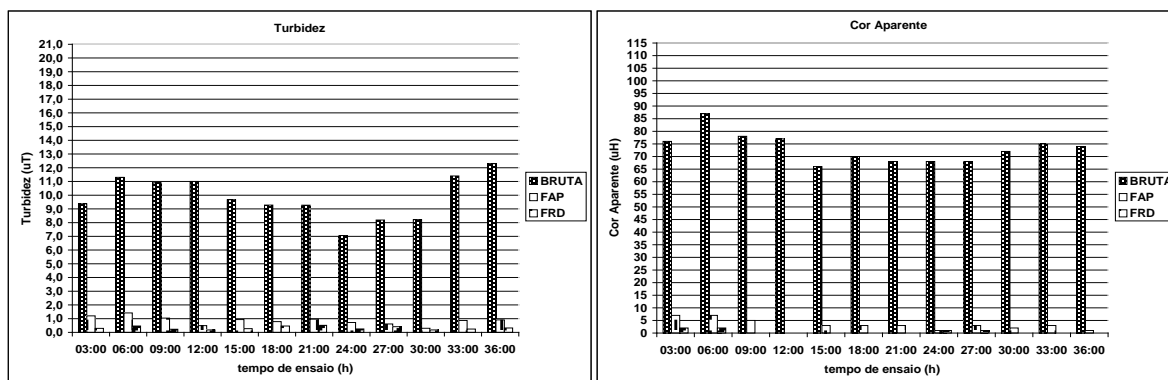
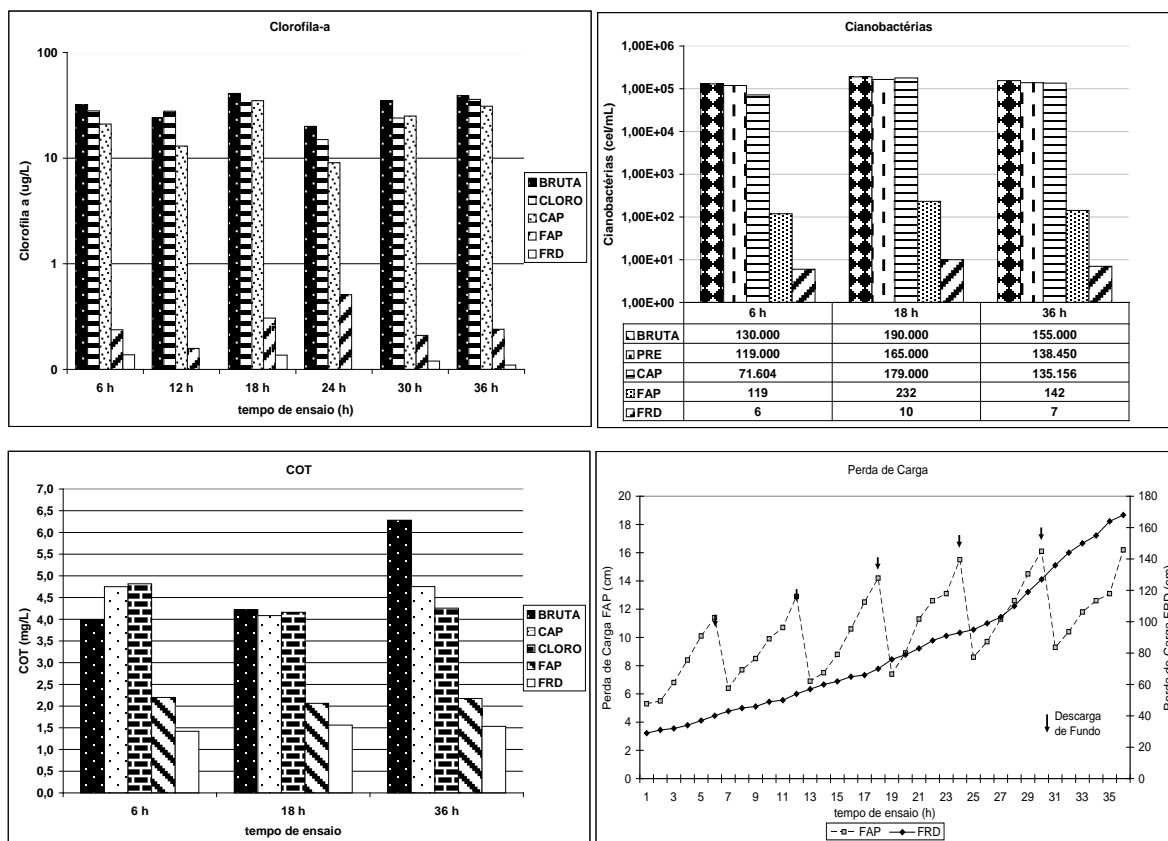


Figura 12: Resultados de turbidez e cor aparente no ensaio 4





**Figura 13: Resultados de clorofila-a, cianobactérias, carbono orgânico total (COT) e perda de carga no ensaio 4.**

### Subprodutos orgânicos halogenados (SOH)

A figura 14 mostra os resultados das concentrações dos SPOs analisados durante os 4 ensaios. Para cada carreira de filtração, foi realizada uma coleta para análise de SPOs, sempre após 18 horas do início do funcionamento do sistema. As amostras foram coletadas na saída do FRD, seguindo-se a cloração (5 mg/L de cloro), com tempos de contato de 30 minutos e 24 horas.

A formação de SOHs não aconteceu de forma significativa. Praticamente só ocorreu a formação de ácidos haloacéticos, mesmo assim em concentrações baixas. Os maiores valores de ácidos haloacéticos foram encontrados no ensaio 3, 27,35 µg/L e 30,35 µg/L, respectivamente para os tempo de 30 minutos e 24 horas.

A portaria 518 do MS, não estabelece valor limite para os ácidos haloacéticos, enquanto que a Agência de Proteção Ambiental Americana (EPA) limita este parâmetro em 60 µg/L. Em relação aos trihalometanos, só ocorreu a formação no ensaio 3, 5,42 µg/L com tempo de 30 minutos de oxidação e 19,44 µg/L com o tempo de 24 horas. Estes valores estão bem abaixo do limite estabelecido pela portaria 518 do Ministério da Saúde, 100 µg/L. Ressalta-se que no ensaio 3, onde houve pré-cloração, foram detectados trihalometanos, além das maiores concentrações de ácidos haloacéticos e cloro hidratado. No ensaio 4, onde também foi realizada a pré-cloração, a formação de subprodutos foi bastante reduzida, possivelmente pela utilização do carvão ativado pulverizado.

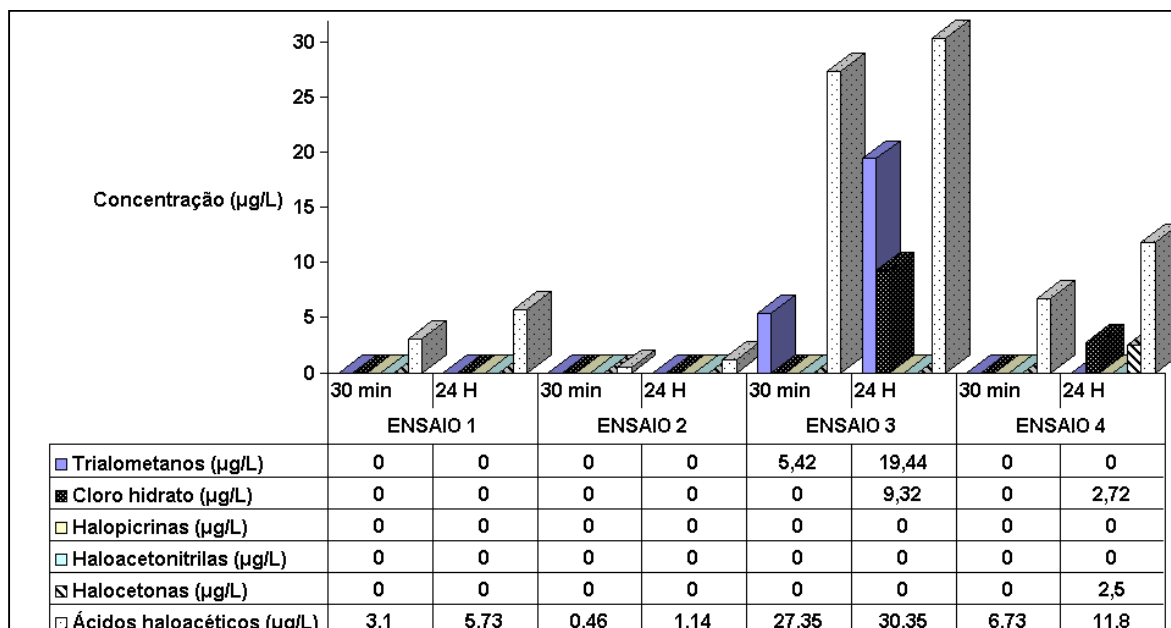


Figura 14: Resultados dos subprodutos da oxidação nos 4 ensaios.

## CONCLUSÕES

Os resultados medidos nos ensaios realizados permitem as seguintes conclusões:

- 1º) As taxas de filtração usadas na pesquisa se mostraram adequadas para tratar a água de estudo, mesmo com as altas concentrações de cianobactérias;
- 2º) O sistema de dupla filtração conseguiu produzir água potável, em todos os ensaios realizados, atendendo aos parâmetros estabelecidos pelo Ministério da Saúde;
- 3º) O uso do carvão ativado pulverizado mostrou-se eficiente nas remoções de carbono orgânico total e na adsorção de SOH nos ensaios em que foi feita a pré-oxidação com cloro;
- 4º) Os mecanismos de coagulação aliados aos filtros de pedregulho e areia foram os principais responsáveis pela remoção das cianobactérias;
- 5º) A formação de subprodutos da oxidação não foi significativa;
- 6º) O uso da pré-cloração favoreceu a formação de ácidos haloacéticos e trialometanos, porém em concentrações inferiores aos limites estabelecidos pela legislação brasileira e internacional

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA, AWWA, WPCF. Standard methods for the examination of water and wastewater. 20th ed. Washington: APHA, 1998.
2. CETESB - Determinação de pigmentos fotossintetizantes clorofila a, b e c e feofitina. Método de Ensaio L5.306. São Paulo : CETESB. 22 pp. 1990.
3. DI BERNARDO, L.; WIECHETECK, G. K; BENINI B. D. S. Utilização da dupla filtração ascendente de areia grossa para remoção de substâncias húmicas. In: XXII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 2003. Anais. Joinville, 2003.
4. MONDARDO, R. I.; SENS, L. M.; MELO FILHO, L. C. Pré-tratamento com cloro e ozônio para remoção de cianobactérias. Revista Engenharia Sanitária e Ambiental, v.11, n 4, p. 337-342, Out/Dez. 2006.
5. SILVA, J. R. L.; CUNHA, I. L., WETTMAN, A. Caracterização do fitoplâncton nas amostras coletadas na orla do lago e concentração de *microcistina* na praia da Graciosa em Palmas-TO. In: 3º CONGRESSO CIENTÍFICO DO CEULP/ULBRA, 2003. Anais, Palmas TO, 2003.
6. TANGERINO, E. P.; DI BERNARDO, L. Remoção de substâncias húmicas por meio da oxidação com ozônio e peróxido de hidrogênio e Fime. Revista Engenharia Sanitária e Ambiental, v.10, n 4, p. 290-298, Out/Dez 2005.