



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA  
FACULDADE DE ENGENHARIA QUÍMICA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA



**REMOÇÃO DE COMPOSTOS ORGÂNICOS DE ÁGUA DO RIO UBERABINHA  
POR FILTRAÇÃO EM CARVÃO ATIVADO RECICLADO**

Daniela Garcia Boneberg

**Uberlândia  
2013**



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA  
FACULDADE DE ENGENHARIA QUÍMICA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA



**REMOÇÃO DE COMPOSTOS ORGÂNICOS DE ÁGUA DO RIO UBERABINHA  
POR FILTRAÇÃO EM CARVÃO ATIVADO RECICLADO**

Daniela Garcia Boneberg

**Dissertação de Mestrado apresentada ao  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia  
Química da Universidade Federal de  
Uberlândia como parte dos requisitos  
necessários à obtenção do título de Mestre em  
Engenharia Química, área de concentração em  
Pesquisa e Desenvolvimento de Processos  
Químicos.**

**Uberlândia - MG**

**2013**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDA AO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS À OBTENÇÃO DO TÍTULO DE MESTRE EM ENGENHARIA QUÍMICA, EM 28/03/2013.

BANCA EXAMINADORA:

---

Prof. Dr. Moilton Ribeiro Franco Júnior  
Orientador (PPG-EQ/UFU)

---

Prof. Dr. Ricardo Amâncio Malagoni  
(FEQUI/UFU)

---

Prof. Dr. Ricardo Francisco Pires  
(ICTE-FEQUI/UFTM)

Uberlândia – MG

2013

## **Agradecimentos**

Primeiramente agradeço a Deus a oportunidade de ter voltado aos estudos, desenvolver este trabalho e de ter possibilitado o fim de mais uma caminhada.

Aos meus familiares em especial a minha mãe Eunice que sempre me incentivou e me encorajou nos momentos mais difíceis. Ao meu eterno pai Delmar que estará sempre nas minhas lembranças e no meu coração.

Ao meu marido Tommi e minha filha Laura pelo apoio, compreensão e paciência nas horas de ausência.

Ao meu orientador Prof. Moilton pela confiança, disponibilidade constante, sugestões precisas, amizade e acima de tudo o incentivo constante que tornaram possível a conclusão desta dissertação. Toda minha admiração por seu brilhantismo acadêmico.

Aos colegas e funcionários do Laboratório de Engenharia Termo-ambiental – UFU pela ajuda prestada durante os experimentos.

À Universidade Federal de Uberlândia e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, pela oportunidade concedida.

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>i</b>
<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>iv</b>
<b>LISTA DE SIGLAS.....</b>	<b>vi</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>ix</b>
<b>“ABSTRACT” .....</b>	<b>x</b>
<b>CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO 2 - REVISÃO DA LITERATURA .....</b>	<b>5</b>
2.1 A matéria orgânica natural (MON) .....	5
2.2 Substâncias Húmicas (SH) .....	6
2.3 Formação de produtos carcinogênicos no tratamento da água .....	8
2.4 Importância dos Trihalometanos .....	11
2.5 Controle dos Trihalometanos.....	13
2.6 Processos alternativos de desinfecção e remoção dos THMs.....	15
2.7 Remoção de MON e de precursores de THMs.....	16
2.8 Técnicas utilizadas para a remoção .....	17
2.9 Coagulação e Floculação .....	17
2.10 Remoção de ácido húmico pelo uso de adsorventes.....	19
2.11 Uso do carvão ativado .....	21
2.12 Fundamentos da filtração.....	23
2.13 Caracterização da Matéria Orgânica (MON).....	26
2.14 Parâmetros para Análises da Matéria Orgânica (MON).....	27
2.15 Espectroscopia na Região do Ultravioleta-Visível .....	28
2.16 Aspectos legais sobre a qualidade de água .....	30
<b>CAPÍTULO 3 – MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>31</b>
3.1 Equipamentos e acessórios .....	33
3.2. Procedimento Experimental .....	35
3.3 Grandezas físicas ou parâmetros do filtrado analisados .....	36

3.4 Análise de MON e COT .....	37
<b>CAPÍTULO 4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>39</b>
4.1. Massa de Filtrado .....	43
4.2 pH .....	44
4.3 Condutividade Elétrica .....	47
4.4 Remoção de orgânicos.....	50
4.5 Carbono Orgânico Total (COT) .....	54
<b>CAPÍTULO 5 – CONCLUSÃO .....</b>	<b>58</b>
5.1 Conclusão .....	58
5.2 Sugestões para trabalhos futuros .....	59
<b>CAPÍTULO 6 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>60</b>
APÊNDICE 01 – Tabelas A1 - Resultados dos experimentos: Filtro 01 ( $\Delta P = 87 \text{ cmH}_2\text{O}$ ) .....	69
APÊNDICE 02 – Tabelas A2 - Resultados dos experimentos: Filtro 01 ( $\Delta P = 126 \text{ cmH}_2\text{O}$ ) .....	70
APÊNDICE 03 – Tabelas A3 - Resultados dos experimentos: Filtro 02 ( $\Delta P = 86 \text{ cmH}_2\text{O}$ ) .....	71
APÊNDICE 04 – Tabelas A4 - Resultados dos experimentos: Filtro 02 ( $\Delta P = 126 \text{ cmH}_2\text{O}$ ) .....	72
APÊNDICE 05 – Tabelas A5 - Resultados dos experimentos: Filtro 03 ( $\Delta P = 86 \text{ cmH}_2\text{O}$ ) .....	73
APÊNDICE 06 – Tabelas A6 - Resultados dos experimentos: Filtro 03 ( $\Delta P = 126 \text{ cmH}_2\text{O}$ ) .....	74
APÊNDICE 07 – Tabelas A7 - Resultados dos experimentos: Filtro 04 ( $\Delta P = 86 \text{ cmH}_2\text{O}$ ) .....	75
APÊNDICE 08 – Tabelas A8 - Resultados dos experimentos: Filtro 04 ( $\Delta P = 126 \text{ cmH}_2\text{O}$ ) .....	76

APÊNDICE 09 – Tabelas A9 - Resultados dos experimentos: Filtro 05 ( $\Delta P = 86 \text{ cm H}_2\text{O}$ )	77
APÊNDICE 10 – Tabelas A10 - Resultados dos experimentos: Filtro 05 ( $\Delta P = 126 \text{ cmH}_2\text{O}$ )	78
APÊNDICE 11 – Tabelas A11 - Resultados dos experimentos: Filtro 07 ( $\Delta P = 86 \text{ cmH}_2\text{O}$ )	79
APÊNDICE 12 – Tabelas A12 - Resultados dos experimentos: Filtro 07 ( $\Delta P = 126 \text{ cmH}_2\text{O}$ )	80
APÊNDICE 13 – Tabelas A13 - Resultados dos experimentos: Filtro 08 ( $\Delta P = 86 \text{ cmH}_2\text{O}$ )	81
APÊNDICE 14 – Tabelas A14 - Resultados dos experimentos: Filtro 08 ( $\Delta P = 126 \text{ cmH}_2\text{O}$ )	82
APÊNDICE 15 – Tabelas A15 - Resultados dos experimentos: Filtro 09 ( $\Delta P = 126 \text{ cmH}_2\text{O}$ )	83
APÊNDICE 17 – Tabelas A18- Resultados dos experimentos: Filtro 7' ( $\Delta P = 126 \text{ cm H}_2\text{O}$ )	86
APÊNDICE 18 – Tabelas A18 - Resultados dos experimentos: Filtro 8' ( $\Delta P = 86 \text{ cmH}_2\text{O}$ )	88
APÊNDICE 19 – Tabelas A19 - Resultados dos experimentos: Filtro 8' ( $\Delta P = 126 \text{ cm H}_2\text{O}$ )	90
APÊNDICE 20 – Tabelas A20 – TESTE DO BRANCO	92

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 2.1-</b> Estado da arte do conceito estrutural de um ácido húmico. ....	8
<b>Figura 2.2 -</b> Tamanho de partículas suspensas, colóides, organismos, moléculas de átomos presentes na água. ....	16
<b>Figura 2.3 -</b> Caminhos para a coagulação por adsorção-neutralização de carga e por varredura utilizando sulfato de alumínio. ....	18
<b>Figura 2.4 –</b> Representação esquemática das reações: (a) de protonação do grupamento amino da quitosana e (b) formação do complexo quitosana/ácido húmico ( $-\text{NH}_3^+ \cdots -\text{OOC}-\text{R}$ ) ....	19
<b>Figura 2.5 -</b> Efeito do pH na adsorção do ácido húmico na concentração de 15 ppm; volume de solução: 75 mL; massa de grânulos revestidos de quitosana: 10g; temperatura: 25°C.....	20
<b>Figura 4.6 -</b> Variação do pH do filtrado em função do tempo (mesh 60; $\Delta P = 86 \text{ cmH}_2\text{O}$ ). ....	47
<b>Figura 4.7 -</b> Variação do pH do filtrado em função do tempo (mesh 60; $\Delta P = 126 \text{ cmH}_2\text{O}$ ). ....	47
<b>Figura 4.8 -</b> Variação da condutividade do filtrado em função do tempo (mesh 48; $\Delta P = 86 \text{ cmH}_2\text{O}$ ).....	48
<b>Figura 4.9 -</b> Variação da condutividade do filtrado em função do tempo (mesh 48; $\Delta P = 126 \text{ cmH}_2\text{O}$ ).....	48
<b>Figura 4.10 -</b> Variação da condutividade do filtrado em função do tempo (mesh 100; $\Delta P = 86 \text{ cmH}_2\text{O}$ ).....	49
<b>Figura 4.11 -</b> Variação da condutividade do filtrado em função do tempo (mesh 100; $\Delta P = 126 \text{ cmH}_2\text{O}$ ).....	49
<b>Figura 4.12 -</b> Variação da condutividade do filtrado em função do tempo (mesh 60; $\Delta P = 86 \text{ cmH}_2\text{O}$ ).....	50
<b>Figura 4.13 -</b> Variação da condutividade do filtrado em função do tempo (mesh 60; $\Delta P = 126 \text{ cmH}_2\text{O}$ ).....	50
<b>Figura 4.14 -</b> % de Remoção de compostos orgânicos (filtros de 48 # e $\Delta P = 86 \text{ cmH}_2\text{O}$ ). ....	51
<b>Figura 4.15 -</b> % de Remoção de compostos orgânicos (filtros de 48 # e $\Delta P = 126 \text{ cmH}_2\text{O}$ ). ....	51
<b>Figura 4.16 -</b> % de Remoção de compostos orgânicos (filtros de 100 # e $\Delta P = 86 \text{ cmH}_2\text{O}$ ). ....	52



<b>Figura 4.17-</b> % de Remoção de compostos orgânicos (filtros de 100 # e $\Delta P = 126 \text{ cmH}_2\text{O}$ ).	52
<b>Figura 4.18 -</b> % de Remoção de compostos orgânicos (filtros de 100 # e $\Delta P = 86 \text{ cmH}_2\text{O}$ ).	53
<b>Figura 4.19 -</b> % de Remoção de compostos orgânicos (filtros de 100 # e $\Delta P = 126 \text{ cmH}_2\text{O}$ ).	53
<b>Figura 4.20 -</b> Concentração de carbono no filtrado em função do tempo de filtração ( $\Delta P = 86 \text{ cmH}_2\text{O}$ ).	54
<b>Figura 4.21 -</b> Concentração de carbono no filtrado em função do tempo ( $\Delta P = 86 \text{ cmH}_2\text{O}$ ).	55
<b>Figura 4.22 -</b> Concentração de carbono no filtrado em função do tempo ( $\Delta P = 86 \text{ cmH}_2\text{O}$ ).	55
<b>Figura 4.23 -</b> Concentração de carbono no filtrado em função do tempo ( $\Delta P = 126 \text{ cmH}_2\text{O}$ ).	56
<b>Figura 4.24 -</b> Concentração de carbono no filtrado em função do tempo ( $\Delta P = 126 \text{ cmH}_2\text{O}$ ).	56
<b>Figura 4.25 -</b> Concentração de carbono no filtrado em função do tempo ( $\Delta P = 126 \text{ cmH}_2\text{O}$ ).	57

**LISTA DE TABELAS**

<b>Tabela 2.1</b> - Principais precursores de THMs.....	9
<b>Tabela 3.1</b> - Especificação dos filtros confeccionados.....	35
<b>Tabela 4.1</b> - Propriedades físico-químicas das amostras de água bruta do rio Uberabinha.....	39
<b>Tabela 4.2</b> - Resultados de filtração por gravidade utilizando o filtro 1.....	41
<b>Tabela 4.3</b> - Resultados de taxa média de filtrado, % de remoção de orgânicos e valores de COT calculados para ensaios com os filtros para a queda de pressão de $\Delta P = 86 \text{ cm H}_2\text{O}$ .....	42
<b>Tabela 4.4</b> - Resultados de taxa média de filtrado, % de remoção de orgânicos e valores de COT calculados para ensaios com os filtros para a queda de pressão de $\Delta P = 126 \text{ cm H}_2\text{O}$ .....	43

## LISTA DE SIGLAS

AHA – Ácidos Haloacéticos

CAG – Carvão Ativado Granular

CGAR – Carvão granular ativado reciclado

CID – Carbono Inorgânico Dissolvido

COD – Carbono Orgânico Dissolvido

COT – Carbono Orgânico Total

COD – Carbono Orgânico Dissolvido

COP – Carbono Orgânico Suspenso ou Particulado

COV – Carbono Orgânico Purgável ou Volátil

CONV – Carbono Orgânico Não Volátil ou Não-Purgável

CT – Carbono Total

DOC – Dissolved Organic Carbon

DQO – Demanda Química de Oxigênio

ETA – Estação de Tratamento de Água

FLCAG – Filtro de Laboratório de Carvão Ativado Granular

HPI – Parcela Hidrofílica

HPO – Fração Húmica

HPOA – Ácido Hidrofóbicos

M – Massa Total de Carvão

MOD – Matéria Orgânica Dissolvida

MON – Matéria Orgânica Natural

MOR – Matéria Orgânica Refratária

MT – Massa total

pH – Potencial Hidrogênico

Q – Vazão de filtrado

SH – Substância Húmicas

SHA – Substâncias Húmicas Aquáticas

SHA-M – Substâncias Húmicas Aquáticas complexadas com metais

SHT – Substâncias Húmicas Terrestre

SOH – Subprodutos orgânicos halogenados

SPDs – Subprodutos da desinfecção

TAM – Ácidos Trialometanos

T – Temperatura

t - tempo

THM – Trihalometanos

TPH – Fração Transfílica

TPHA – Ácidos Transfílicos

UPEq – Unidade de Pesquisa da Engenharia Química

USEPA – United States Environmental Protection Agency

UF – Ultrafiltração

UV – Radiação Ultravioleta

VMP – Valor Máximo Permitido

$\lambda$  – Condutividade

$\alpha$  – Absorbância

% R - Remoção

$\Delta P$  – Queda de Pressão

## RESUMO

Matéria orgânica natural (MON) é encontrada em toda a superfície, em águas subterrâneas e solos. Durante as últimas décadas, relatos de todo o mundo mostram um aumento contínuo na cor e MON da água de superfície, que tem um efeito adverso sobre os processos de purificação da água potável. Por várias razões práticas e de higiene, a presença de MON é indesejável na água de beber. Várias tecnologias têm sido propostas para a remoção do MON com vários graus de sucesso. As propriedades e quantidade de MON, no entanto, podem afetar significativamente a eficiência do processo e sabe-se que os níveis de carbono orgânico total (COT) na água bruta, têm um potencial para produzir concentrações de trihalometanos (THM). Visando melhorar e otimizar este processo, a caracterização e quantificação de NOM, nos diferentes tratamentos de purificação e as fases dos processos de tratamento são importantes. Assim, medidas experimentais foram realizadas com o objetivo de reduzir o nível de compostos orgânicos para a água do rio Uberabinha. Os testes avaliaram a eficácia na redução de compostos orgânicos em água bruta utilizando o processo de filtração por gravidade utilizando filtro de carbono ativado reciclado. Amostras do filtrado foram coletadas em intervalos de uma hora e foram submetidas a análises de pH, condutividade e absorbância ( $UV_{254nm}$ ). Os resultados encontrados mostraram que o sistema foi capaz de reduzir compostos orgânicos. O uso do carvão ativado reciclado mostrou uma remoção significativa do carbono orgânico total (COT). Verificou-se também que o pH e condutividade do produto final não se alteraram em comparação com os valores iniciais de água bruta. Também, a influência da pressão e do tamanho das partículas de carbono foi claramente observada na quantidade e na qualidade do filtrado. Os resultados obtidos indicaram que a variação de pressão influencia a porcentagem de remoção de matéria orgânica. A variação do tempo durante as filtrações não prejudicou a eficiência de cada filtro. Por fim, a filtração por gravidade com carbono ativado granular reciclado é capaz de reduzir MON a um nível aceitável. A partir destes resultados verifica-se que este protótipo pode servir como uma técnica auxiliar no tratamento da água em regiões periféricas onde a água tratada não é fornecida.

**Palavras chave:** matéria orgânica natural (MON), filtração por gravidade, carbono reciclado, absorbância, carbono orgânico total (COT).

## “ABSTRACT”

Natural organic matter (NOM) is found in all surface, ground and soil waters. During recent decades, reports worldwide show a continuing increase in the color and NOM of the surface water, which has an adverse affect on drinking water purification. For several practical and hygienic reasons, the presence of NOM is undesirable in drinking water. Various technologies have been proposed for NOM removal with varying degrees of success.

The properties and amount of NOM (natural organic matter) can hardly affect the process efficiency and it is known that raw water total organic carbon (TOC) levels have a potential to produce concentrations of trihalomethanes (THM). In order to improve and optimize these processes, the characterization and quantification of NOM at different purification and treatment processes stages is important. In this work, experimental measurements were conducted to reduce the level of natural organic matter for small amounts of Uberabinha River water. Treatment was tested for its efficacy to reduce raw water NOM using gravity filtration with recycled granular activated carbon. Four different particle sizes were used in the experiments. Samples of filtrate were collected in intervals of one hour and were analyzed for conductivity, pH and UV<sub>254</sub> absorbance. The results showed that the system was able to reduce organic compounds. The use of recycled activated carbon showed a significant removal of total organic carbon (TOC). It was verified that pH and conductivity of the final product have not changed comparing to the raw water initial values. Also, the influence of pressure and the carbon particle size was clearly observed in the quantity and quality of the filtrate. The results indicated that the pressure variation influences the % removal of organic matter. The variation of time during the filtration did not impair the efficiency of each filter. In a nutshell, gravity filtration with recycled granular activated carbon was capable of reducing NOM to an acceptable level encouraging its recycling and use. With these results it seems that it could be appropriate as a device in the treatment of water in remote areas where water treated isn't provided.

**Keys Words:** natural organic matter (NOM), gravity filtration, recycled carbon, absorbance, total organic carbon (TOC).

## CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

À medida que a população e as atividades econômicas crescem, muitos países atingem, rapidamente, condições de escassez de água ou se defrontam com limites para o desenvolvimento econômico. A demanda de água aumenta rapidamente, com aproximadamente 70 a 80 % exigidos para irrigação, menos de 20 % para a indústria e apenas 6 % para o consumo doméstico (KONRADT-MORAES, 2009).

A contaminação da água é definida como a alteração de sua qualidade natural pela ação do homem, que faz com que seja, parcial ou totalmente, imprópria para o uso a que se destina. Entende-se por qualidade natural da água o conjunto de características físicas, químicas e bacteriológicas que a água apresenta em seu estado natural nos rios, lagos, mananciais, no subsolo ou no mar (MOPU, 1985).

Segundo a Funasa (2003), a contaminação dos recursos hídricos e dos mananciais de abastecimento público por rejeitos oriundos das atividades humanas, tem sido um dos maiores fatores de risco para a saúde da população, especialmente em regiões com condições inadequadas de saneamento e suprimento de água, o que é observado tanto em regiões brasileiras de alta concentração urbana como em áreas rurais. Os materiais em suspensão presentes na água servem de suporte e proteção para os microrganismos, dificultando sua eliminação pela desinfecção, sendo a matéria orgânica fonte de substrato para a proliferação da flora bacteriana, assim como as matérias nitrogenada e fosfatada, responsáveis pelo crescimento das algas e pela eutrofização dos corpos d'água (KONRADT - MORAES, 2009).

Apesar dos grandes avanços no desenvolvimento de tecnologias para o tratamento de águas para abastecimento público nos últimos 100 anos, muito há por se caminhar na busca de soluções seguras, para garantir a produção de água potável a partir de mananciais de superfície. O desafio mantém-se inalterado, talvez maior, frente às descobertas de que vários compostos naturais industrialmente produzidos e, até mesmo, gerados durante o próprio tratamento da água, podem vir a manifestar-se em concentrações potencialmente perigosas para a saúde pública (MENDES, 2006).

Segundo Di Bernardo (2002), a poluição do meio aquático pode causar alterações nas características físicas (turbidez, cor, número e tamanho de partículas, temperatura, condutividade, viscosidade, tensão superficial, etc), químicas (DQO, DBO, pH, toxicidade, etc), ou biológicas (espécies do fitoplâncton e do zooplâncton). Embora as características

físicas da água tenham importância relativamente pequena do ponto de vista sanitário, elas podem ser determinantes na escolha da tecnologia de tratamento. Normalmente, as características físicas são facilmente determinadas, com destaque para as seguintes: cor, turbidez, sabor e odor, temperatura e condutividade elétrica.

Os compostos orgânicos naturais nas águas são oriundos da degradação de plantas e animais, e são denominados substâncias húmicas. Antigamente, a medida de cor era feita apenas por razões estéticas, porém, com a descoberta de que tais substâncias são precursoras de formação de trihalometanos e organo-halogenados em geral, quando a desinfecção é realizada com cloro livre, a quantificação da cor passou a ser muito importante. Quando a medida de cor é feita com o sobrenadante de amostra de água centrifugada por 30 min, com rotação de 3.000 rpm, ou de água filtrada em membrana de 0,45µm, obtém-se a cor verdadeira. Com a amostra de água em seu estado natural, tem-se a cor aparente, pois há interferência de partículas coloidais e suspensas, além de microrganismos. As substâncias húmicas, geralmente, são compostas pelo ácido húmico (AH) e pelo ácido fúlvico. As dimensões das moléculas dessas substâncias variam com o pH e com o grau de polimerização (entre 3,5 e 10 nm). A cor medida depende do pH da amostra, em que se tem a cor verdadeira em função da absorbância. Embora a concentração de ácido fúlvico seja superior à de ácido húmico (AH) em águas naturalmente coloridas, diversos trabalhos na EESC-USP (Campus da USP – São Carlos) têm sido realizados com água preparada com ácido húmico (AH), devido ao fácil manuseio deste se comparado com o ácido fúlvico (DI BERNARDO, 2002).

Os constituintes orgânicos nas águas apresentam três origens principais: as substâncias naturais, atividades antrópicas e reações que ocorrem nas estações de tratamento de água. No primeiro caso, têm-se as substâncias húmicas, microrganismos e seus metabólitos e hidrocarbonetos aromáticos. Substâncias orgânicas decorrentes de atividades antrópicas resultam de lançamentos de águas residuárias sanitárias ou industriais, tratadas ou não, do escoamento superficial urbano ou rural e do escoamento subsuperficial em solos contaminados (DI BERNARDO, 2002).

A medida do carbono orgânico total (COT) fornece uma idéia da composição orgânica global da água, enquanto a do halogenado orgânico total (HOT) indica a presença de compostos orgânicos halogenados. A medição de tais parâmetros é mais simples e menos onerosa que a dos compostos individuais, além de possibilitar comparações gerais entre diferentes fontes de abastecimento, identificação das causas da poluição e necessidade de análises específicas. Sempre que o teor de COT for maior que 5 mg/L e a cor verdadeira for menor que 2,0 uC, é recomendável verificar a existência de compostos organoclorados,



organofosforados e carbamatos com a absorvância no comprimento de onda igual a 254 nm (DI BERNARDO, 2002).

A intensa atividade industrial e os novos produtos lançados no mercado tornam, praticamente, impossíveis a enumeração e quantificação de todo composto orgânico que pode estar presente na água. A legislação estabelece limites máximos de compostos orgânicos permitidos na água de consumo humano. Contudo, a determinação rápida e precisa da concentração desses tipos de compostos representa séria dificuldade para as estações de tratamento e órgãos de controle da poluição, pois geralmente exige pessoal especializado para realizar as medições (DI BERNARDO, 2002).

Uma das maiores preocupações quanto ao risco ambiental causado pelo AH consiste na presença dele (ácido húmico) nas águas para consumo humano. Esta substância altera a qualidade da água devido à sua coloração escura, tornando-a indesejável para o consumo, além da formação de produtos carcinogênicos decorrentes do tratamento com cloro. Dentre os produtos formados estão os chamados trihalometanos (THMS) e o seu limite na água potável foi definido em 100 ppb pela Organização Mundial de Saúde. A remoção prévia do ácido húmico, é portanto, necessária. Devido a estes problemas, várias técnicas vêm sendo utilizadas com sucesso na remoção de ácido húmico (AH) visando à purificação da água. Uma delas consiste na coagulação/floculação seguida de sedimentação ou filtração. Normalmente os agentes utilizados nesta técnica são floculantes inorgânicos (sulfato de alumínio) e polímeros sintéticos (derivados de poliacrilamida). O sulfato de alumínio é o mais utilizado em processos de tratamento de água sendo utilizado para remover AH da água. Além desta técnica, tem-se registro de outras que podem ser aplicadas visando à remoção de AH da água, como é o caso da troca-iônica, filtração por membrana, oxidação/biofiltração e a fotodegradação. Porém tratam-se de técnicas de custo mais elevado (BRUM, 2005).

Dentre os adsorventes mais empregados, o carvão ativado comercial é o material mais utilizado nas ETAs na remoção de compostos orgânicos e dos THMs, principalmente, por possuir uma alta capacidade de remoção e controle de poluentes, conforme a Agência de Proteção Ambiental dos EUA (CRINI, 2006). Contudo, sua eficiência está condicionada ao emprego de elevadas dosagens e tempos reduzidos (KOSTOPOULOU *et al.*, 2000), em contrapartida, seu custo é bastante elevado. A fim de diminuir o custo do tratamento, há uma busca por alternativas, as quais sejam economicamente mais viáveis e facilmente disponíveis e, sobretudo, que possam ser prontamente regenerados sem perderem suas características e propriedades, fornecendo uma recuperação quantitativa. Entretanto, a literatura ainda é

limitada à disponibilidade de adsorventes que apresentem as características supracitadas e produzam soluções mitigadoras com elevada eficiência na adsorção desses compostos.

Considerando que elementos filtrantes usados para obtenção de água filtrada doméstica são descartados no lixo e que a filtração por gravidade possui custo nulo surge uma alternativa interessante, nesse trabalho, para se tratar pequenas quantidades de água para uso doméstico e distante de estações de tratamento tradicional.

Dessa forma, este trabalho tem como objetivo geral realizar um estudo experimental visando à redução da matéria orgânica natural (MON) de água proveniente de um rio natural, a partir da técnica de filtração por gravidade, empregando filtros recheados com carvão granular ativado reciclado (CGAR). As amostras de água do rio foram coletadas às margens do rio Uberabinha, no setor urbano na cidade de Uberlândia.

Outrossim, têm-se os seguintes objetivos específicos:

- Avaliar qualitativamente e quantitativamente a remoção de MON presente nas amostras de um trecho das águas do rio Uberabinha por análise de espectrofotometria UV-VIS do filtrado;
- Determinar o percentual de eficiência na remoção do MON por filtros de carvão ativado reciclado com diferentes granulometrias, massa de carvão, e variação de pressão.
- Realizar análises de pH, condutividade, absorbância, das amostras de água bruta e após filtração;
- Quantificar a massa de filtrado coletada por dia em escala de laboratório;
- Construir gráficos de remoção de matéria orgânica para cada filtro utilizado;
- Investigar regiões nos gráficos que representem conjuntamente maior massa de filtrado e eficiência na remoção de compostos orgânicos.

## **CAPÍTULO 2 - REVISÃO DA LITERATURA**

### **2.1 A matéria orgânica natural (MON)**

A expressão “matéria orgânica natural” (MON) é um termo usado para designar toda a matéria orgânica em um reservatório ou ecossistema natural, sendo diferente da matéria orgânica viva e dos compostos de origem antrópica (BUFFLE, 1990).

Essa matéria orgânica encontrada em águas naturais possui uma grande variedade de propriedades, é constituída de uma mistura extremamente complexa de compostos, a maior parte dos quais (cerca de 80%) ainda não identificados (BUFFLE, 1990). Trata-se de compostos com estrutura química indefinida, com tempo de permanência mais longo no ambiente e relativamente resistente à degradação, denominados, genericamente, matéria orgânica refratária (MOR). Os outros 20% restantes consiste de compostos orgânicos com estrutura química definida, tais como carboidratos, aminoácidos e hidrocarbonetos (ROMÃO, 2003).

A matéria orgânica natural é um componente responsável por vários processos químicos e biológicos em águas. Quanto a sua distribuição no ambiente aquático, pode ser descrita como matéria orgânica dissolvida (MOD) ou como matéria orgânica particulada (MOP). A MOD é definida operacionalmente como a fração que atravessa uma membrana de porosidade 0,45  $\mu\text{m}$  e usualmente constitui a maior parte da matéria orgânica presente em água de rios. Por sua vez, a MOP é aquela que fica retida na membrana de 0,45  $\mu\text{m}$  (THURMAN, 1985).

A matéria orgânica natural (MON) é amplamente distribuída no solo, águas naturais e sedimentos. Mudanças hidrológicas e da composição do solo influenciam a quantidade da matéria orgânica em ambientes aquáticos, sua natureza química e, podem provocar diferentes efeitos biogeoquímicos no ecossistema. Assim, as características químicas da MON são influenciadas pela fonte do material (alóctones ou autóctones) e pelos processos biogeoquímicos envolvidos no ciclo do carbono nos sistemas terrestres e aquáticos. Estes fatores incluem o fluxo de carbono orgânico alóctone proveniente da bacia hidrográfica, fixação do carbono autóctone pelo fitoplâncton e plantas aquáticas, transformação e degradação do carbono alóctone e autóctone pela atividade biológica e/ou

fotodegradação. A MON pode influenciar também a profundidade da zona fótica, afetando a penetração de radiação fotossintética ativa. A determinação do carbono orgânico dissolvido (COD) não fornece dados sobre a natureza das substâncias orgânicas, pois MON é constituída por compostos orgânicos aquagênicos e pedogênicos. As proteínas, peptídeos e polissacarídeos ocorrem na proporção de 20 a 30 % da MON e os compostos refratários (aquagênicos e pedogênicos) correspondem de 70 a 80% segundo AZEVEDO (2006). Em ambientes aquáticos, a concentração de macromoléculas pedogênicas – ácido húmico (AH), polissacarídeos e lipídeos – é baixa devido à retenção destas substâncias pelas partículas do solo, enquanto proteínas e aminoácidos podem ser completamente degradados. Consequentemente, a composição química da MON varia de um curso d'água para outro, mas em muitos casos, as frações pedogênicas do ácido fúlvico e aquagênicos (polissacarídeos, peptídeos e seus semelhantes) predominam (AZEVEDO, 2006).

## 2.2 Substâncias Húmicas (SH)

A maior parte dessa MON presente em ambientes aquáticos está na forma de substâncias húmicas (SH), as quais são encontradas em solos, turfas, sedimentos e águas naturais. Podem ser classificadas como substâncias de coloração escura, de natureza heterogênea, elevada massa molar, estrutura complexa e indefinida. Estas substâncias são transportadas para as águas naturais por processos de lixiviação e/ou erosão, podendo ainda ser formadas diretamente no meio aquático por decomposição de plantas e organismos (ROMÃO, 2003). A gênese desses compostos é explicada pela decomposição de resíduos animais e vegetais, bem como pela atividade de síntese de microrganismos. Possuem alto teor de grupos funcionais contendo oxigênio na forma de carboxilas, carbonilas e hidroxilas fenólicas (ROSA *et al.*, 2007).

Para ROCHA (2000), as SH desempenham um importante papel no destino e transporte de contaminantes, bem como no ciclo de nutrientes do ambiente. As SH, por serem uma classe complexa de polieletrólitos biogênicos, exibem uma grande variedade de tamanhos moleculares, estruturas e funcionalidades. Esse comportamento possibilita a ocorrência de inúmeras reações no ambiente.

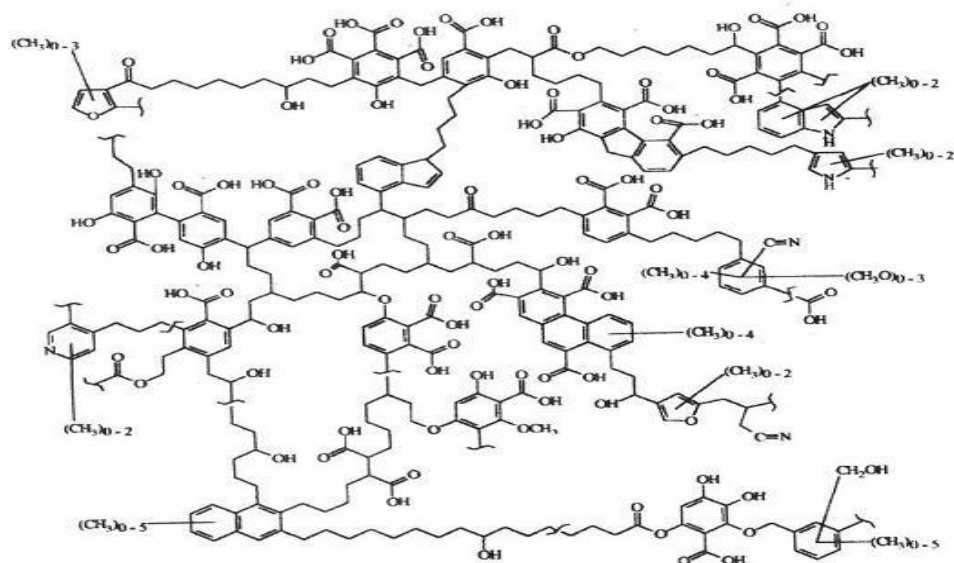
A presença das SH em águas naturais é a principal responsável pela sua coloração. Elas apresentam caráter hidrofóbico e servem de substrato para o crescimento

de microrganismos e de transporte de contaminantes orgânicos hidrofóbicos e inorgânicos (TAN, 2003).

A MON exhibe propriedades singulares como complexação, redução química, transporte e biodisponibilidade de metais, dentre outras; sendo assim, tem sido objeto intenso de investigação científica. No entanto, segundo BUFFLE (1990), para trabalhar com essa mistura complexa, procedimentos adequados para extração e fracionamento são de fundamental importância. O fracionamento baseado no tamanho molecular ajuda a diminuir a heterogeneidade e a complexidade do material a ser investigado.

A presença das SH em águas naturais é a principal responsável pela sua coloração. Elas apresentam caráter hidrofóbico e servem de substrato para o crescimento de microrganismos e de transporte de contaminantes orgânicos hidrofóbicos e inorgânicos. A MON exhibe propriedades singulares como complexação, redução química, transporte e biodisponibilidade de metais, dentre outras. No entanto, para trabalhar com essa mistura complexa, procedimentos adequados para extração e fracionamento são de fundamental importância. As substâncias húmicas (SH) referem-se à matéria orgânica no meio ambiente que resulta da decomposição de plantas e microrganismos. Em águas naturais as SH apresentam concentração variando de 20 µg/L em aquíferos até 30 mg/L em águas superficiais. Constituem 40-60% do carbono orgânico dissolvido na água natural e apresentam um peso molecular entre 500 e 5000. A composição destas substâncias é de aproximadamente 50% de carbono, 35- 40% de oxigênio e 4-5 % de hidrogênio, 1-2% de nitrogênio e menos de 1% de enxofre e fósforo. Os grupos funcionais importantes presentes nas SH são os carboxílicos e fenólicos (BRUM, 2005).

As propriedades coloidais das SH foram revisadas e atualizadas recentemente por JONES e BRYAN (1998). Porém, as propriedades físicas e químicas continuam indefinidas na literatura pelo fato de apresentarem estrutura química complexa. No meio ambiente, as SH se comportam como ligantes aniônicos e estão misturadas com outros compostos orgânicos e espécies inorgânicas precisando ser isoladas para posterior utilização em estudos. Estas substâncias podem ser extraídas do solo e da água utilizando-se ácido e base forte e ao final do processo com a utilização de resina hidrofóbica obtendo-se assim os três tipos de SH. Esta subdivisão consiste de humina, ácido fúlvico e ácido húmico. O ácido húmico (AH) apresenta solubilidade em água quando o valor de pH é maior que 2 e a coloração da solução varia de amarelo escuro a preto em função da concentração. A Figura 2.1 ilustra a estrutura desse ácido.



**Figura 2.1-** Estado da arte do conceito estrutural de um ácido húmico (JONES e BRYAN, 1998).

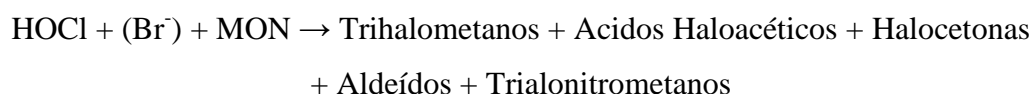
Apesar do AH apresentar uma estrutura complexa com seu elevado teor de aromáticos e muitos grupamentos carboxílicos, como ilustra a Figura 2.1, não se trata de uma substância tóxica sendo muito importante para a fertilidade dos solos. No entanto a sua presença no meio ambiente, pode tornar-se um fator complicador na remoção de íons metálicos pesados, devido à formação do complexo AH-íon metálico (STUMM *et al.*, 1981).

### 2.3 Formação de produtos carcinogênicos no tratamento da água

As unidades de tratamento de água para o abastecimento público são, normalmente, projetadas para utilizar águas com certas características mínimas. Normalmente, a qualidade da água está muito abaixo dos padrões ou com excesso de matéria orgânica devendo ser submetida à etapa de desinfecção na maioria das vezes com a utilização de produtos à base de cloro por serem baratos e eficazes. Porém, nessa etapa podem ocorrer a formação de “subprodutos de desinfecção” de acordo com o desinfetante utilizado, a presença de material orgânico, íons brometo e outros fatores ambientais. Na década de 70 os EUA confirmaram a correlação entre o câncer e os subprodutos de desinfecção (SPDs) formados a partir das reações entre o cloro e as substâncias orgânicas, os ácidos húmicos e fúlvicos contidos na água natural. Estes subprodutos são os trihalometanos (THMs), ácidos haloacéticos (AHAs) e outros halogenados. Além disso,

quando a água contém uma quantidade considerável de bromo, o cloro oxida o íon brometo a ácido hipobromoso que reage com o ácido húmico formando por exemplo o bromofórmio ( $\text{CHBr}_3$ ) (NOBUKAWA e SANUKIDA, 2001; ICHIHASHI *et al.*, 1998).

A formação de subprodutos de desinfecção do cloro ocorre pela reação do cloro com a matéria orgânica natural (MON), também chamados de precursores de trihalometanos. A reação de formação pode ocorrer na presença ou ausência de bromo, pela seguinte equação geral (CRITTENDEN *et al.*, 2005; SINGER, 1999):



Cerca de 500 tipos de SPDs são conhecidos, porém poucos foram investigados devido à sua ocorrência significativa e os efeitos que causam na saúde humana. Dentro dos sub-produtos da desinfecção, os trihalometanos (THMs) são os mais comumente encontrados após a cloração e considerados carcinogênicos e potencialmente perigosos para a saúde humana (CANCHO, 2005). Na Tabela 2.1 estão resumidas as principais fontes de compostos orgânicos presentes em mananciais que atuam na formação dos THMs.

Tabela 2.1 - Principais precursores de THMs (ISAAC, 1993)

FONTE	EXEMPLOS
Vegetais	Produtos da degradação: ácidos húmicos e fúlvicos (resorcinol, ácido vanílico, ácido sirínico, ácido 3,5-dihidroxibenzóico)
Algas	Biomassa de algas, aminoácidos, piridinas, exudados extracelulares e proteínas
Indústrias	Efluentes industriais (fenóis, metil, etil, cetona, etc)

Os estudos de SINGER (1999) relatam que a formação dos subprodutos de desinfecção é proporcional ao número de grupamentos aromáticos presentes nos compostos orgânicos contidos na água. Esta constatação baseia-se no resultado de uma pesquisa realizada em rios localizados nos EUA que mostra que o ácido húmico consome maior quantidade de cloro e consequentemente forma mais THMs e AHAs do que o ácido fúlvico.

Os trihalometanos são basicamente: triclorometano (clorofórmio)  $\text{CHCl}_3$ , bromodiclorometano  $\text{CHBrCl}_2$ , dibromodiclorometano  $\text{CHBr}_2\text{Cl}$ , tribromometano  $\text{CHBr}_3$ , dicloroiodometano, bromocloroiodometano, clorodiiodometano, dibromoiodometano,

bromodiiiodometano, triiodometano. Entre os compostos relacionados, os que têm concentração mais significativa em água potável são os quatro primeiros: triclorometano, bromodiclorometano, dibromoclorometano e tribromometano. Portanto, quando se faz referência aos THM (trihalometanos), na realidade estão sendo mencionados os quatro compostos citados. O THM mais facilmente detectável é o clorofórmio. Os ácidos húmicos e fúlvicos são chamados “precursores” dos trihalometanos (SANTOS, 1987).

A reação de formação dos THM se inicia quando há o contato entre os reagentes (cloro e precursores) e pode continuar ocorrendo por muito tempo, enquanto houver reagente disponível (principalmente o cloro livre). Segundo PERRY (1983), o equilíbrio na cloração entre as reações de substituição envolvendo, inicialmente, a formação de ligações carbono-cloro, ou nitrogênio-cloro, e reações gerais de oxidação é importante na formação dos THM. Reações adicionais não têm muita importância, porque são, em geral, bem mais lentas.

A reação do halofórmio envolve uma série de reações básicas catalíticas de substituição de um grupo  $\alpha$ -carbonil, seguida, eventualmente, pela hidrólise para produzir o trihalometano. Para os compostos simples que contêm acetil, o patamar de determinação de baixa velocidade é a desagregação do próton, que é independente da concentração de halogênios, mas altamente dependente do pH. As variáveis que influenciam a reação de formação dos THM são (KHORDAGUI & MANCY, 1983; SANTOS, 1987; VAN BREMER, 1984):

- 1) Tempo: em relação ao tempo, a formação de trihalometanos em condições naturais não é instantânea. Em princípio, quanto maior o tempo de contato entre o cloro e os precursores, maior será a probabilidade de formação dos THM.
- 2) Temperatura: o aumento da temperatura significa um aumento na probabilidade de formação dos THM.
- 3) pH: a formação dos THM aumenta com a elevação do pH, pela sua ação catalítica sobre o halofórmio.
- 4) Concentração de brometo e iodeto: os brometos e iodetos, na presença de cloro aquoso, são oxidados a espécies capazes de participar da reação de substituição orgânica, resultando na formação de THM puro ou misturado (um ou mais de um dos compostos). O bromo tem vantagens sobre o cloro nas reações de substituição com os compostos orgânicos, mesmo que o cloro esteja presente em excesso quando comparado com o bromo inicial.



- 5) Características e concentrações dos precursores: quanto maior a concentração de ácidos húmicos e fúlvicos, maior será a formação de THM. As características da água e dos precursores presentes também irão influenciar a formação de THM.
- 6) Concentração de cloro: quanto maior a dosagem de cloro, maior será a probabilidade de formação de THM. A forma sob a qual o cloro se apresenta também é importante; o cloro livre tem maior poder de formação de THM do que o cloro combinado.

## 2.4 Importância dos Trihalometanos

A relação entre o uso de cloro nas estações de tratamento de água, suas reações com os compostos orgânicos presentes e a formação de compostos que o poderiam ter efeitos negativos sobre a saúde humana foi estudada pela primeira vez por R. H. Harris, na década de 70 (SANTOS, 1987). A partir de suas indicações pioneiras sobre a possibilidade de existir uma correlação entre águas de abastecimento e câncer, outros pesquisadores passaram a estudar o assunto, como Rook, na Holanda, e Bellar, Litchtemberg & Krones, nos Estados Unidos. O aumento da preocupação com os níveis desses compostos presentes na água tem levado a amplas discussões sobre a legislação em inúmeros países (PERRY, 1983).

A Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA), em um estudo no qual foram analisadas amostras de água provenientes de 113 estações de tratamento, detectou a presença de 27 compostos orgânicos com probabilidade de serem causadores de doenças. Nessa relação de compostos, os quatro trihalometanos foram considerados muito importantes, porque surgiram com frequência muito grande em todas as pesquisas realizadas nas águas de abastecimento cloradas. Como consequência deste estudo, a EPA propôs, em 1978, o limite máximo permissível de 100 µg/L THM para águas de abastecimento. Embora não existissem provas cabais de que esses compostos pudessem ser nocivos à saúde, o limite foi proposto com objetivos preventivos. Em 1979, o critério adotado de 100 µg/L (média de concentração anual) foi regulamentado, apesar das evidências de carcinogenicidade do clorofórmio terem sido obtidas apenas em estudos com animais (KHORDAGUI & MANCY, 1983). Posteriormente, alguns estudos realizados no Canadá considerando a cloração de água bruta (SANTOS, 1989) indicaram uma associação entre a dosagem de cloro e o câncer de estômago, e entre a quantidade de carbono orgânico total (COT, indicador de THM) e o câncer do intestino grosso em homens. Também houve associações positivas entre o

clorofórmio na água tratada e o risco de morte por câncer de cólon (homens e mulheres), câncer de estômago, entre dosagem de cloro e câncer retal (homens e mulheres) e câncer de tórax. Para mulheres também houve associação entre dosagem de cloro ou água clorada sujeita a contaminação por substâncias orgânicas e câncer do cólon e cérebro (MEYER *et al.*, 1994).

O clorofórmio induz ao câncer de fígado, tireóide e rins em ratos e camundongos, mas associações significantes não foram observadas no homem. Outros países seguiram os Estados Unidos em relação à legislação, sendo adotados os padrões de 350 µ/L, no Canadá, 25 µ/L, na Alemanha, 75 µ/L, na Holanda, e 10 µ/L, na França (PERRY, 1983). A controvérsia que cerca a formação dos THM é cientificamente complexa e as alterações que estão sendo introduzidas em legislação estão baseadas em dados incompletos (MEYER, *et al.*, 1994).

Os níveis de THM refletem claramente as práticas adotadas no tratamento e na distribuição da água em países diferentes, além da qualidade das águas brutas. Na Alemanha, por exemplo, em que são utilizadas águas que possuem níveis de carbono orgânico total reduzidos (2 mg/L) e a dosagem de cloro é limitada a menos de 1 mg/L, os níveis de THM são bem mais baixos do que nos Estados Unidos, no qual os processos de precloração levam a níveis mais altos de THM na água. No Reino Unido, os níveis consideravelmente elevados de THM são associados à precloração e à utilização de águas com alto teor de carbono orgânico total (COT). No Brasil, a partir da promulgação da Portaria Nº 36, de 19/01/90, do Ministério da Saúde, foram estabelecidos novos padrões de potabilidade da água, os quais passaram a vigorar em 23/01/92. Conforme essa legislação, o teor máximo de trihalometanos em água potável foi fixado em 100 µg/L (MEYER, *et al.*, 1994).

A qualidade da água e sua origem seja ela proveniente de planícies, planaltos ou do solo, é importante em relação à formação dos THM, já que este é um processo relacionado com a natureza do conteúdo orgânico da água. Os materiais húmicos e fúlvicos são considerados os precursores de THM de maior importância presentes em águas naturais (VAN BREMEM, 1984).

As variações sazonais nas concentrações de THM ocorrem em função das variações da temperatura da água, mas também tem relação com as alterações nas concentrações dos precursores. A concentração de algas também influencia a formação dos THM (PERRY, 1983).

## 2.5 Controle dos Trihalometanos

Segundo MEYER *et al* (1994), as recomendações para o controle dos THM variam de pequenas alterações nos tipos de tratamento existentes até mudanças de alto custo nos sistemas de tratamento. O importante é que qualquer mudança proposta para um sistema de tratamento não acarrete uma deterioração na qualidade da água pronta para o consumo. Os métodos para o controle da formação dos THM podem ser classificados em redução da concentração dos precursores e uso de processos alternativos para a desinfecção. Em adição, outra alternativa de controle é a remoção dos THM já formados (BAZZOLI, 1993; KHORDAGUI & MANCY, 1983).

A diminuição da concentração dos precursores pode ser conseguida pela aplicação de diversas técnicas de acordo com PERRY (1983) e SANTOS (1989):

1. Clarificação: a coagulação é considerada uma técnica de tratamento para a redução de turbidez, mas também apresenta um grande significado na remoção de orgânicos. Alguns compostos orgânicos são, provavelmente, absorvidos junto com as partículas em suspensão (turbidez), entre os quais os ácidos húmicos e fúlvicos. Esses compostos são parcialmente removidos nos processos de coagulação/precipitação numa estação de tratamento de água. Os ácidos húmicos são responsáveis, em parte, pela coloração de algumas águas, podendo ser removidos pela aplicação de coagulantes à água, como os sais de ferro e alumínio. A remoção de orgânicos pela coagulação é mais bem realizada sob condições levemente ácidas (pH 4 a 6).
2. Controle de precursores no manancial: a realização de determinações periódicas da concentração de precursores de THM em água bruta pode revelar medidas de controle que poderiam ser tomadas para minimizar essas concentrações. Entre tais medidas deveriam ser incluídos o controle de algas, a prevenção do avanço de água salina (presença de compostos bromados) e a seleção de mananciais alternativos.
3. Aeração: a aeração já foi aplicada como uma técnica alternativa de remoção dos precursores de THM. Entretanto esta técnica não foi eficiente, o que é explicado pelo conhecimento atual de que as moléculas dos ácidos fúlvicos e húmicos têm peso molecular elevado.

4. Oxidação: o uso de agentes oxidantes capazes de oxidar os precursores de THM tem como objetivo a diminuição do potencial de formação de trihalometanos pela ação de produtos químicos (alterando os precursores) e a completa oxidação química dos precursores (até a forma de dióxido de carbono), a fim de se eliminar o problema potencial da presença depois do tratamento de subprodutos da oxidação, os quais podem ser até mais perigosos do que os THM. Os oxidantes que podem ser usados são os seguintes: ozona, dióxido de cloro, permanganato de potássio, radiação ultravioleta e peróxido de hidrogênio. As dosagens necessárias desses oxidantes para reduzir o potencial de formação de THM são elevadas e o tempo de contato é maior que o normalmente usado na desinfecção. A alternativa de oxidação dos precursores até hoje foi realizada somente em nível de estudos, não tendo sido implementada como rotina em sistemas de tratamento de água. Existe a possibilidade de que a utilização desta técnica implique a geração de subprodutos indesejáveis. As reações de oxidação dos precursores são bastante complexas e os subprodutos obtidos podem variar com as condições da reação de remoção do potencial de formação de trihalometanos. Águas que apresentam concentração elevada de bromo produzem teores elevados de trihalometanos. Tais águas podem ser tratadas com ozônio para retardar ou prevenir a formação de THM contendo bromo, o que resulta numa diminuição da concentração total de trihalometanos.
5. Adsorção em carvão ativado em pó: os precursores de THM são uma mistura de muitos produtos químicos, e esta mistura varia conforme o corpo hídrico em questão. O tratamento por adsorção dessas substâncias é mais difícil que o tratamento de produtos identificados individualmente. Os materiais húmicos aquáticos são os mais relevantes dentre os precursores dos THM e não são uma única substância. As características desses compostos são influenciadas por numerosos fatores que alteram sua capacidade de adsorção, tais como distribuição do peso molecular, pH, íons inorgânicos presentes, fonte dos precursores e frações relativas dos ácidos húmicos e fúlvicos. Essas variáveis influenciam as características físico-químicas da solução e a própria superfície do carvão ativado (o que afeta a adsorção, mesmo de substâncias puras).
6. Adsorção em carvão ativado granular: o carvão ativado granular é eficiente na remoção da maioria dos precursores dos THM. Entretanto, ele tem a desvantagem de

necessitar que o carvão ativado granular seja substituído com frequência, para manter a eficiência de remoção do material orgânico. A frequência de regeneração do meio filtrante depende da carga orgânica sobre os filtros e do tipo de precursores a serem removidos.

7. Resinas trocadoras de íons: algumas resinas trocadoras de ânions já foram testadas na remoção dos precursores de THM, apresentando resultado satisfatório.

## 2.6 Processos alternativos de desinfecção e remoção dos THMs

Os processos alternativos de desinfecção da água, que evitam a formação de THM, são aqueles que não utilizam cloro livre, tais como: cloraminas (cloro combinado), dióxido de cloro, ozonização, permanganato de potássio, peróxido de hidrogênio, cloreto de bromo, bromo, iodo, íon ferrato, alto pH e radiação ultravioleta. Destes, os mais utilizados são as cloraminas, o dióxido de cloro e a ozona (LAUBUSCH, 1971; SANTOS, 1987).

Embora o uso desses compostos na desinfecção ofereça a vantagem de não contribuir para a formação dos THM, outros subprodutos podem ser produzidos, conforme o teor de matéria orgânica presente na água (SANTOS, 1989). Esses subprodutos apresentam a mesma dificuldade de remoção que os THM, sendo que seus efeitos sobre a saúde não foram ainda completamente avaliados. Além disso, cada um dos desinfetantes apresenta outras desvantagens: a ozona não produz residual para o sistema de distribuição; a cloramina é um desinfetante mais fraco que o cloro livre, podendo ter alguma toxicidade; e o dióxido de cloro produz cloritos e cloratos como subprodutos, bem como outras espécies aniônicas, cujo efeito à saúde é desconhecido (MEYER, *et al.*, 1994).

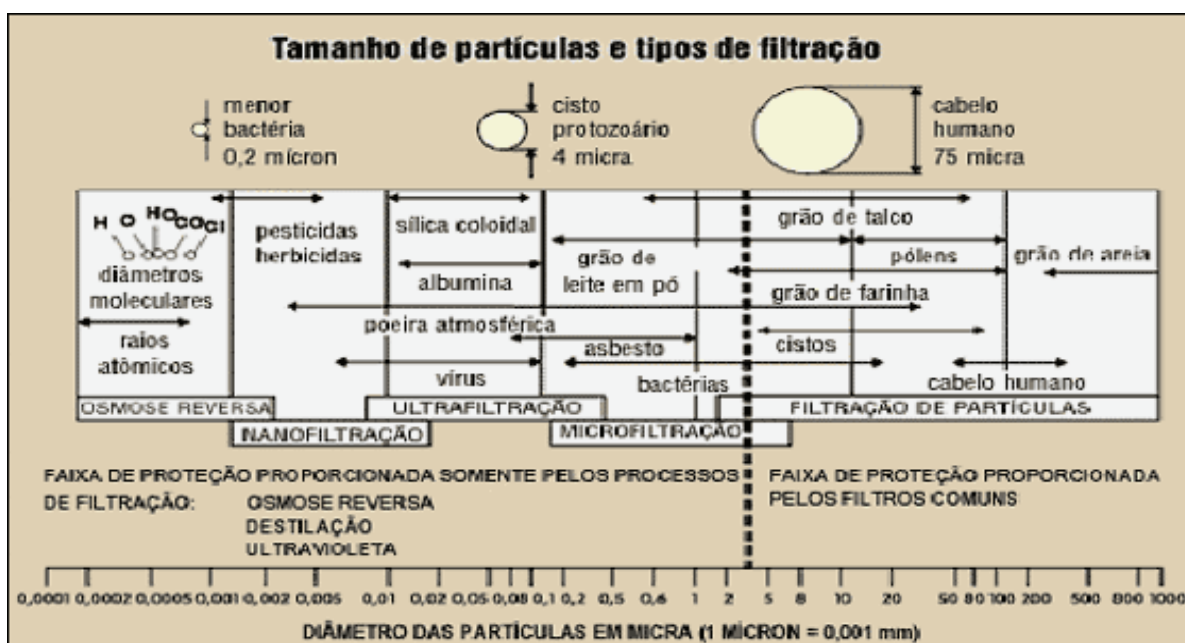
A alternativa de remoção dos THM já formados significaria a construção de mais uma unidade numa estação de tratamento de água, existindo, entretanto, a possibilidade de aproveitamento das unidades já existentes. O carbono granular ativado é considerado, segundo PERRY (1983), o método mais eficiente na redução da concentração de THM, sendo recomendado seu uso pela EPA, também serve para remover outros contaminantes ainda não determinados. Entretanto, a necessidade de regenerar o meio filtrante com frequência, de modo a garantir a eficiência da remoção de material orgânico, é uma desvantagem do método (MEYER, *et al.*, 1994).

## 2.7 Remoção de MON e de precursores de THMs

A água pode conter uma variedade de impurezas, destacando-se partículas em suspensão coloidais, substâncias húmicas e microrganismos na água. Estas possuem cargas negativas que impede que as mesmas se aproximem e se aglutinem formando flocos de modo a serem removidos por processos físicos tais como a sedimentação. A alteração das características eletrostáticas naturais das partículas e os mecanismos para a sua aproximação e futura remoção fazem parte da coagulação-floculação (DI BERNARDO *et al.*, 2002).

Partículas na água têm origem mineral (argilas, silicatos, hidróxidos de alumínio e ferro oxidado, asbestos, etc.) ou orgânica (vírus, bactérias, algas, cistos de protozoários), sendo de fundamental importância o seu conhecimento para o desenvolvimento de processos de tratamento de água (EDZWALD, 1993).

A remoção de precursores de THMs pode ser obtida por meio da coagulação/floculação, adsorção em carvão ativado e filtração em membranas. Na Figura 2.2 estão apresentados os tamanhos das partículas suspensas, coloidais, moléculas e átomos comumente existentes na água e os tipos de filtração (DI BERNARDO *et al.*, 2005).



**Figura 2.2** - Tamanho de partículas suspensas, colóides, organismos, moléculas de átomos presentes na água (DI BERNARDO *et al.*, 2005).

## 2.8 Técnicas utilizadas para a remoção

As técnicas que serão citadas são apenas aquelas que contribuíram de fato para estabelecer uma metodologia efetiva para remover ácido húmico de água e subprodutos da desinfecção (SPDs).

## 2.9 Coagulação e Floculação

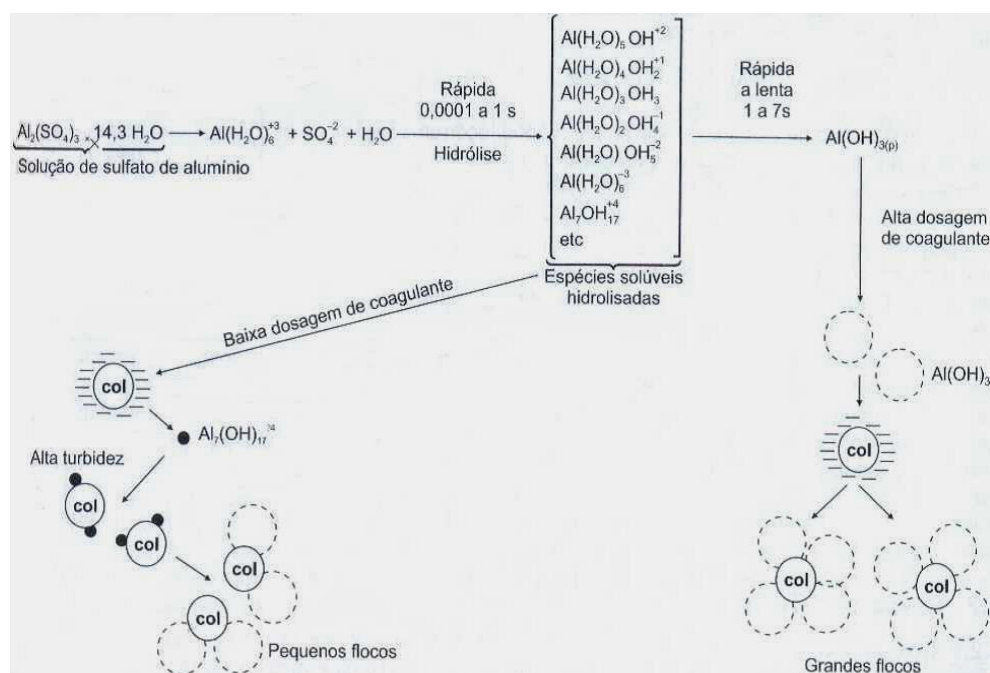
Nas operações de tratamento de água, os processos de coagulação e floculação são empregados para separar, da água, os sólidos que estão em suspensão. Apesar dos termos coagulação e floculação serem utilizados como um único termo, estes significam dois processos distintos e geralmente são realizados em sequência. A coagulação é a desestabilização dos colóides pela neutralização das forças que os mantêm afastados por adição de um reagente químico (coagulante). Neste processo é preciso ter agitação suficiente para dispersar o coagulante e este deve ser utilizado na concentração apropriada. Na floculação são adicionados polímeros responsáveis pela formação de pontes entre os flocos formando assim grandes aglomerados. Ao contrário da coagulação, a agitação deve ser muito leve e o floculante deve ser adicionado lentamente (BRUM, 2005).

O sulfato de alumínio é muito utilizado na Noruega onde existem aproximadamente 160 plantas projetadas para remover substâncias húmicas. Além deste coagulante são utilizados também, o cloreto de alumínio pré-polimerizado e o cloreto de ferro sendo a faixa de pH na coagulação entre 5,5-7,0 e 4,0-5,0 respectivamente. Como muitos compostos orgânicos são aniônicos na faixa de pH da água natural, eles interagem fortemente com polieletrólitos catiônicos. A maior contribuição para a densidade de carga advém da dissociação de grupos carboxílicos. Os polieletrólitos mais carregados apresentaram remoção de 90%, sendo 70% o menor valor obtido com outros polieletrólitos presentes nos testes. A densidade de carga para o ácido húmico pode ser calculada, ao assumir-se que as condições ótimas de floculação correspondem à neutralização de carga. Porém, não foi verificada relação estequiométrica entre a carga catiônica adicionada e carga aniônica do ácido húmico (BRUM, 2005).

Na técnica de coagulação melhorada, o processo envolve a seleção do mais apropriado coagulante, doses elevadas de coagulante e ajuste de pH. Para os sais de metais

polivalentes, dois mecanismos para a remoção de MON são aceitos. No primeiro, a MON carregada negativamente é neutralizada por metais carregados positivamente formando complexos insolúveis ( $\text{Al}(\text{OH})_3$  ou  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ). A eficácia da coagulação é fortemente dependente do pH e da dose de coagulante. Tipicamente, a coagulação de MON é mais eficaz no intervalo de pH 5 a 6. Neste intervalo de pH, a densidade de carga de ácidos húmico e fúlvico é reduzida, tornando-os mais hidrofóbicos e adsorvíveis. A redução do pH pode ser conseguida por acidificação e ou por dosagem mais elevada de coagulante. Assim a remoção de carbono orgânico total (COT) pode ser aumentada pela diminuição do pH e /ou por aumento das doses de coagulantes (SULAYMON, 2009).

A floculação aglomera os colóides com o floco hidratado do óxido. Nesta fase, a superfície de adsorção é ativa. Colóides não inicialmente adsorvidos são removidos por emaranhamento no floco. Segundo AMIRTHARAJAH & MILLS (1982), citados por DI BERNARDO (2002), os mecanismos de coagulação por adsorção e neutralização de cargas e por varredura, quando é utilizado sulfato de alumínio, podem ocorrer segundo os caminhos indicados da Figura 2.3:



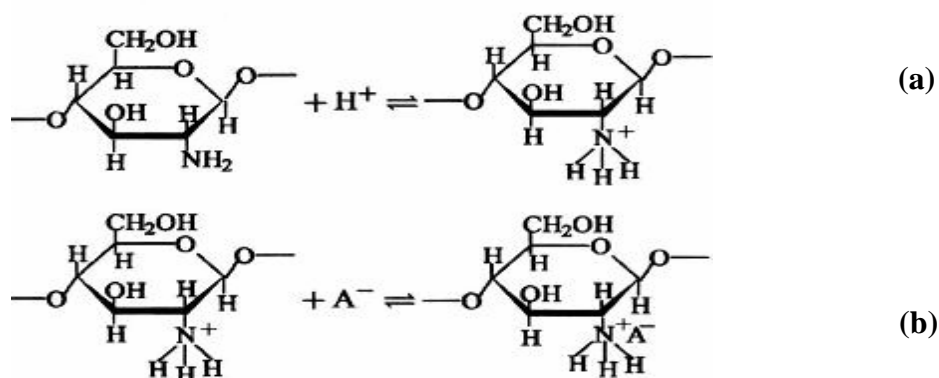
**Figura 2.3** - Caminhos para a coagulação por adsorção-neutralização de carga e por varredura utilizando sulfato de alumínio (Fonte: DI BERNARDO, 2002).



## 2.10 Remoção de ácido húmico pelo uso de adsorventes

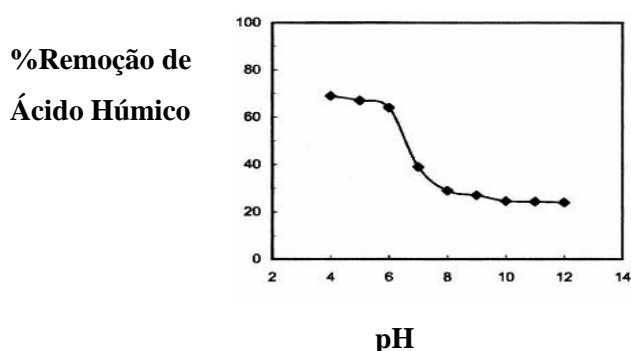
O uso de adsorventes para a remoção do ácido húmico presente na água é uma técnica alternativa, na qual predominam as interações eletrostáticas e formação de complexos. Apesar do carbono ativado ser um dos adsorventes mais utilizados para a remoção de contaminantes orgânicos e inorgânicos o seu uso apresenta algumas desvantagens como alto investimento inicial e custos operacionais elevados envolvidos na regeneração do carbono. Vários tipos diferentes de adsorventes já foram testados e apresentaram resultados satisfatórios. DAIFULLAH *et al.* (2004) desenvolveram o carbono ativado partindo de biomassa para a remoção de ácido húmico. Eles verificaram que a adsorção diminui com o aumento do pH, pois em faixas alcalinas o carbono ativado apresenta os grupamentos hidroxila totalmente desprotonados e carregados negativamente. Devido à abundância de grupamentos carboxílicos e fenólicos na estrutura do ácido húmico, esse também é carregado negativamente, impedindo assim a adsorção nessas condições. A influência da temperatura também foi estudada e seu aumento intensificou a adsorção, revelando-se um processo endotérmico (BRUM, 2005).

Um novo tipo de adsorvente foi estudado por ZHANG e BAI (2003) que revestiram grânulos de um polímero com quitosana (biopolímero). O aumento da capacidade de adsorção do AH em quitosana deve-se ao aumento da quantidade de grupamentos amino protonados. Na Figura 2.4, a reação (a) mostra a protonação do grupamento amino do quitosana de  $-NH_2$  para  $-NH_3^+$ , que interage com o grupamento carboxílico ( $A = R-COO^-$ ) do AH. A reação (b) mostra a formação do complexo quitosana/ácido húmico ( $-NH_3^+ \dots \text{OOC}-R$ ).



**Figura 2.4** – Representação esquemática das reações: (a) de protonação do grupamento amino da quitosana e (b) formação do complexo quitosana/ácido húmico ( $-NH_3^+ \dots \text{OOC}-R$ ) (ZHANG e BAI, 2003).

Analizando a reação (a), espera-se que em altas concentrações de  $H^+$ , ou seja em pH na faixa ácida, o equilíbrio seja deslocado para a direita aumentando assim a quantidade de grupamentos amino protonados. Por outro lado, o aumento do pH da solução reduz a concentração de  $H^+$ , deslocando a reação (a) para a esquerda e consequentemente, a reação (b) neste mesmo sentido. Por este motivo, a adsorção do AH nos grânulos revestidos de quitosana diminui com o aumento do pH da solução conforme apresentado na Figura 2.5 (ZHANG e BAI, 2003).



**Figura 2.5** - Efeito do pH na adsorção do ácido húmico na concentração de 15 ppm; volume de solução: 75 mL; massa de grânulos revestidos de quitosana: 10g; temperatura: 25°C (ZHANG e BAI, 2003).

Segundo SULAYMON *et al.* (2009), a adsorção em carvão ativado granular (CAG) é comumente usado para a remoção de constituintes orgânicos e os desinfetantes residuais em água. Isto não só melhora o sabor como minimiza riscos para a saúde. O desempenho do processo de adsorção é regida por um número de parâmetros, tais como: tipo de carbono, tipo de matéria orgânica, partícula adsorvente, tamanho, temperatura da água e pH. Portanto, quaisquer processos a montante de um tratamento de água podem afetar o desempenho do CAG. A capacidade específica de CAG para adsorver compostos orgânicos está relacionada com: atração da superfície molecular, a área de superfície total disponível por unidade de massa de carbono e a concentração de adsorbato no fluxo de água. Um parâmetro útil a este respeito é a taxa de utilização de carbono que é a massa de GAC esgotado por litro de água tratada, geralmente expressa em mg / litro de água.

## 2.11 Uso do carvão ativado

O carvão ativado (CA) é o principal adsorvente usado em escala real no tratamento de água. Ele é sólido, com área superficial interna extremamente alta, conseguindo assim capturar o máximo de material orgânico dissolvido. É produzido a partir de uma variedade de materiais, incluindo madeira, osso, casca de côco, lignina e hulha (MULLER, 2008).

O carvão ativado é um elemento oriundo de material carbônico, com uma estrutura porosa e desenvolvida, o que lhe confere grande área específica e habilidade de adsorver substâncias de origens orgânica e inorgânica, tanto na fase gasosa quanto na líquida (MARMO, 2005).

Entre as tecnologias alternativas utilizadas na redução dos problemas de cor, turbidez, substâncias húmicas, sabor e odor em águas de abastecimento existem a aplicação do carvão ativado, seja carvão ativado pulverizado (CAP) ou carvão ativado granular (CAG). Além disso, o uso do carvão ativado promove a remoção dos subprodutos da desinfecção (TANGERINO e DI BERNARDO, 2005). O CAP também tem se mostrado efetivo na remoção de algas e suas cianotoxinas, especialmente, a microcistina.(KURODA, 2006).

Diversas pesquisas têm destacado o uso do carvão ativado na adsorção de compostos orgânicos presentes em águas para abastecimento público, em especial para a remoção do clorofórmio. MARMO (2005) avaliou em escala de laboratório, a formação de trialometanos produzidos em reações de oxidação, com cloro livre, de amostras de água contendo ácidos húmicos sob diferentes concentrações e tempos de contato. Foram realizados ensaios de remoção de THM por adsorção em diferentes concentrações de carvão ativado pulverizado (CAP), seguido de processos de coagulação com sulfato de alumínio, floculação, sedimentação e filtração, em reatores estáticos. Os resultados obtidos com a adsorção com CAP apresentaram remoções de THM das amostras de até 89%. O aumento da concentração de CAP de 10 para 150 mg/L e do tempo de contato de adsorção de 60 para 120 min, contribuiu para os melhores desempenhos nos experimentos realizados.

MULLER (2008) estudou a eficiência do carvão ativado pulverizado, na remoção da cianotoxina microcistina presente na represa Lomba do Sabão, Porto Alegre, Brasil. Foram avaliados cinco amostras de CAP, produzidas a partir de madeira de osso, antracito e coco. Os resultados encontrados mostraram que quando o CAP foi aplicado na água bruta, a remoção da toxina ficou em torno de 99%, ficando abaixo do valor máximo permitido pelo Ministério

da Saúde. Já quando foi dosado próximo a aplicação do coagulante a remoção da toxina não foi satisfatória.

Os carvões microporosos pertencem a uma classe de materiais importante, conhecido como carvão ativado (C.A), sendo de larga aplicação pela sua reconhecida produção mundial de aproximadamente 400.000 ton/ano (RODRÍGUEZ, *et al.*, 1998). O carvão ativado é utilizado como adsorvente, catalisador ou suporte de catalisador. Na área de tratamento de efluentes é usado na adsorção em fase líquida, por exemplo, na adsorção de moléculas orgânicas que causam sabor, odor e toxicidade (LETTERMAN, 1999).

Os carvões ativados são materiais carbonosos porosos que apresentam uma forma microcristalina, não grafítica, que sofreram um processamento para aumentar a porosidade interna. Uma vez ativado o carvão apresenta uma porosidade interna comparável a uma rede de túneis que se bifurcam em canais 37 menores e assim sucessivamente. Esta porosidade diferenciada é classificada segundo o tamanho em macro, meso e microporosidades. A característica incomparável do carvão é a larga superfície interna localizada dentro da rede de poros estreitos, em que a maior parte do processo de adsorção tomará lugar e cujo tamanho e forma dos poros também influenciam na seletividade da adsorção pelo efeito de peneira molecular (RODRÍGUEZ *et al.*, 1998).

A princípio, qualquer material com alto teor de carbono, denominado de agente precursor (A.P) pode ser transformado em C.A, por exemplo, cascas de coco, carvões minerais (antracita, betuminosos, linhito), turfas, madeiras, resíduos de petróleo. Atualmente são utilizados como agentes precursores, os caroços e cascas de oliva, cereja, damasco, pêssgo, azeitonas e ossos de animais. Em torno de 1/3 da produção mundial de C.A. é de origem vegetal, sendo esta proporção muito maior nos Estados Unidos da América e na Europa (CLAUDINO, 2003). No Brasil, predominantemente, empregam-se madeira, carvão betuminoso e sub-betuminoso, osso e casca de coco. Uma vez preparada a granulometria desejada, a produção envolve, basicamente, a carbonização e ativação (ou oxidação) para desenvolvimento dos vazios internos. A carbonização ou pirólise é usualmente feita na ausência de ar, em temperaturas compreendidas entre 500 – 800° C, enquanto a ativação é realizada com gases oxidantes em temperaturas de 800 a 900°C (DI BERNARDO *et al.*, 2005).

Os carvões ativados podem ser preparados, ou manufaturados por uma variedade de métodos. Estes poderiam ou não envolver ácidos sintéticos, bases e outras substâncias num fluxo de gases ativantes tais como vapor (H<sub>2</sub>O), nitrogênio (N<sub>2</sub>) ou dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Seu rendimento e qualidade podem ser melhorados pela remoção da umidade. Microondas

podem ser usadas para a pirólise da fonte de carvão. Por exemplo, o lignito e turfa são processados por uma carbonização a baixas temperaturas, seguida do tratamento com vapor ou hidróxido de potássio. O carvão pode ser convertido em resinas de troca catiônicas por sulfonação, ou por nitratação e redução. Alguns processos tratam materiais carbonosos com ácido fosfórico e/ou cloreto de zinco, resultando numa mistura carbonácea a elevada temperatura, seguida pela remoção dos agentes ativantes por lavagem com água (ORMI, 2008).

## 2.12 Fundamentos da filtração

A filtração é uma das aplicações mais comuns do escoamento de fluidos através de leitos compactos. A operação industrial é exatamente análoga às filtrações efetuadas num laboratório químico, usando-se papel de filtro e funil. O objetivo da operação é o da separação de um sólido do fluido que o carrega. Em todos os casos, a separação se realiza pela passagem forçada do fluido através de uma membrana porosa. As partículas sólidas ficam retidas nos poros da membrana e acumulam-se, formando uma camada sobre esta membrana. O fluido que pode ser um gás ou um líquido, passa pelo leito de sólidos e através da membrana retentora (FOUST *et al.*, 1982).

A filtração industrial difere da filtração de laboratório somente no volume de material operado e na necessidade de ser efetuada a baixo custo. Assim, para se ter uma produção razoável, com um filtro de dimensões moderadas, deve-se aumentar a queda de pressão, ou deve-se diminuir a resistência ao escoamento, para aumentar a vazão. A maioria do equipamento industrial opera mediante a diminuição da resistência ao escoamento, fazendo com que a área filtrante seja tão grande quanto possível, sem que as dimensões globais do filtro aumentem proporcionalmente. A escolha do equipamento filtrante depende em grande parte da economia do processo, mas as vantagens econômicas serão variáveis de acordo com o seguinte (FOUST *et al.*, 1982):

1. Viscosidade, densidade e reatividade química do fluido.
2. Dimensões da partícula sólida, distribuição granulométrica, forma da partícula, tendência à floculação e deformabilidade.
3. Concentração da suspensão de alimentação.
4. Quantidade do material que deve ser operado.

5. Valores absolutos e relativos dos produtos líquido e sólido.
6. Grau de separação que se deseja efetuar.
7. Custos relativos da mão-de-obra, do capital e da energia .

Na filtração, a resistência do meio ao fluxo do fluido aumenta com o passar do tempo à medida que o meio filtrante vai sendo obstruído ou quando se forma uma torta. As principais magnitudes de interesse são a velocidade do fluxo através do filtro e a queda de pressão na unidade. À medida que o processo ocorre, diminui a velocidade do fluxo ou aumenta a queda de pressão. Na chamada filtração à pressão constante, a queda de pressão permanece constante e velocidade do fluxo vai diminuindo com o tempo. Menos frequente é o aumento progressivo da pressão para obter uma filtração à velocidade constante (MCCABE *et al.*, 1991).

A partir desses fatores fundamentais obtém-se uma expressão envolvendo constantes que podem ser determinadas experimentalmente. As equações de projeto são desenvolvidas a partir de ensaios em escala reduzida (GOMIDE *et al.*, 1980).

A força propulsora é a soma da queda de pressão na torta e no meio filtrante. As resistências podem ser consideradas em série e desta forma teremos uma resistência da torta e uma do meio filtrante. A resistência da torta varia com o tempo devido ao aumento de sua espessura e a resistência do sistema (meio filtrante + canais do filtro) permanece constante ao longo do processo. Para o equacionamento será considerado o processo de filtração com formação de torta incompressível (GOMIDE *et al.*, 1980).

Para uma boa especificação do sistema de filtração é importante e fundamental o tipo de particulado: orgânico ou inorgânico, a característica física (deformável ou indeformável), o comportamento em relação à pressão: compressível ou não compressível, o diâmetro médio de partícula, a densidade da partícula, a viscosidade da solução, a concentração do particulado a ser separado em porcentagem na solução a ser filtrada, as características químicas do particulado (corrosivo ou não corrosivo; abrasivo ou não abrasivo). As informações como tipo de particulado, características físicas, comportamento em relação à pressão são fundamentais para identificar-se a influência que a torta formada ao longo da operação de filtragem exercerá sobre o comportamento da perda de carga do filtro; como esta perda de carga estará influenciando o processo e qual a periculosidade que deverá ser considerada no plano de manutenção e limpeza do filtro para que a produtividade no processo sofra o menor prejuízo possível. O diâmetro médio da partícula, bem como o menor diâmetro a ser retido, ajudará na determinação do tipo de filtro a ser utilizado: superfície ou profundidade. A concentração (%) na solução a ser filtrada, do particulado a ser retido, bem como a densidade da partícula, nos

fornece informações sobre a velocidade de formação da torta (velocidade de aumento da espessura da torta), bem como a sua disposição ao longo do elemento filtrante, o que definirá a vida útil do elemento filtrante para o processo, indicando o tempo necessário para a sua manutenção ou substituição. A viscosidade do fluido a ser filtrado é um limitante para a especificação de alguns tipos de filtro, fluidos viscosos tenderão a ser de difícil filtragem, principalmente quando possuem características corrosivas. Portanto, uma boa especificação e dimensionamento de um filtro para determinado processo deverá sempre considerar todas as possibilidades de variação de formação da torta, e as influências que a mesma poderá exercer sobre a operação de filtração e ao processo. A filtração normalmente proporciona a formação de uma camada (torta ou bolo) de partículas sólidas sobre a superfície e/ou no corpo poroso do elemento filtrante, o qual uma vez formada, age como elemento filtrante. A espessura desta camada aumenta à medida que o processo de filtração se desenvolve, permitindo o fluxo da solução a ser filtrada pelos canais de passagem formados no interior da torta. A filtração é uma operação unitária mecânica, e independente do tipo de equipamento utilizado, a operação caracteriza-se pelo aumento gradual de camadas sobrepostas de massa a ser retirada, a qual forma um bolo (torta) sobre o meio filtrante, e a resistência ao fluxo do fluido aumenta progressivamente à medida que se avança a operação (BROWN *et al.*, 1965).

A filtração poderá ser: à pressão constante, à vazão constante e mista. Efetuando-se uma filtração à pressão constante (filtração por meio de bomba), a vazão diminui à medida que cresce a espessura da torta. As tortas de filtração podem ser divididas em duas classes: compressíveis e incompressíveis. Deve-se ter cuidado com este tipo de filtração, quando a torta formada é composta por partículas compressíveis. Nesses casos, recomenda-se que a filtração seja iniciada em pressão baixa para que a pressão diferencial não aumente rapidamente devido à compactação da torta, tornando-a pouco permeável. O aumento gradativo da pressão do fluido de acordo com o aumento de espessura da torta mantém a vazão do filtrado constante. No caso de tortas incompressíveis, a resistência ao fluxo do fluido não exerce grande influência na vazão do filtrado ou na pressão diferencial do filtro. No entanto, em tortas compressíveis, a formação da torta contribui para o aumento da pressão diferencial, devido sua maior densidade e, conseqüentemente, maior resistência ao fluxo do fluido (GOMIDE *et al.*, 1980).

### 2.13 Caracterização da Matéria Orgânica (MON)

A matéria orgânica dissolvida é fundamental na interação e transporte de muitos contaminantes orgânicos e inorgânicos e também pela ciclagem de nutrientes pelo ecossistema. Sua caracterização química e física é particularmente importante para estudar estas reações e processos. Mais especificamente, um melhor entendimento das propriedades estruturais e funcionais, auxilia na compreensão dos mecanismos responsáveis pela complexação, redução, biodisponibilidade e mobilização ou imobilização de metais e compostos orgânicos (GUSSO, 2008).

A implantação de tecnologias ópticas para a caracterização de matéria orgânica têm sido amplamente pesquisadas e utilizadas em sistemas de monitoramento de água, proporcionando um melhor desempenho na avaliação da qualidade das águas (FOLEY *et al.*, 2007). A literatura mostra que a caracterização da matéria orgânica por meio de técnicas espectroscópicas tem gerado importantes resultados na avaliação da qualidade da água, uma vez que fornecem informações sobre os grupos funcionais que a constitui (COBLE, 1996; LOMBARDI *et al.*, 1999; MC KNIGHT *et al.*, 2001; HUR *et al.*, 2006).

Devido à grande variedade de fontes e mecanismos de transformação e degradação da matéria orgânica, a MON é resultado de uma complexa mistura de substâncias de diferentes composições estruturais. Apesar de tentativas de aplicação de métodos analíticos avançados, como a Espectrofotometria Infravermelha por Transformada de Fourier, Pirólise Acoplada à Cromatografia Gasosa/Espectrometria de Massa e Ressonância Magnética Nuclear em fase sólida, a identificação da composição estrutural molecular da matéria orgânica ainda não é possível. Apesar disso, existem algumas propriedades da matéria orgânica identificadas como típicas, especialmente das substâncias húmicas, e que caracterizam a MON, tais como a cor amarela, a intensa capacidade de absorver a luz ultravioleta, polidispersão, alto peso molecular (103 a 105 g/mol) e polifuncionalidade (FRIMMEL, 1998).

Segundo MATILAINEN (2011), os métodos utilizados para a caracterização da MON incluem: resina de adsorção, cromatografia de exclusão de tamanho, espectroscopia de ressonância magnética nuclear e espectroscopia de fluorescência. A quantidade de MON em água tem sido previsto com parâmetros, incluindo UV-Vis, de carbono orgânico total (COT) e UV-absorbância específica. Recentemente, métodos pelos quais as estruturas de MON pode ser mais precisamente determinados têm sido desenvolvidos: pirólise gasosa acoplada a



espectrometria e cromatografia de massa, técnicas multidimensionais e transformada de Fourier íon ciclotron de ressonância e espectrometria de massa.

## 2.14 Parâmetros para Análises da Matéria Orgânica (MON)

Como as características físicas e químicas da MON variam largamente, nenhuma técnica analítica está disponível para caracterizar diretamente a MON. Por isso, são usados parâmetros substitutos para descrever suas características gerais. Os parâmetros substitutos são usados para monitorar a MON e os precursores dos SPDs nas águas naturais e para determinar o desempenho do tratamento na remoção dos mesmos. Segundo DI BERNARDO *et al.* (2005), os parâmetros indiretos que podem fornecer informações importantes sobre a MON, mesmo embora tendo suas limitações são:

- COT ou COD;
- absorbância da radiação ultravioleta específica (AUVE), absorbância medida no comprimento de onda de 254 nm (UV254) dividida pela concentração de COD, sendo UV254 em  $\text{m}^{-1}$  e COD em mg/L;
- potencial de formação de THMs (ensaio realizado com dosagem de cloro em excesso para obter concentração residual superior a 3,5 mg/L e tempo de 7 dias);
- THMs de amostras coletadas em diferentes pontos do sistema de abastecimento de água;
- oxigênio consumido.

O uso de UV254 e COT para monitoramento da concentração de compostos orgânicos presentes em águas naturais não é recente e tem sido utilizado desde a década de 1970 (FOSTER *et al.*, 1971; DOBBS *et al.*, 1972 *apud* FERREIRA FILHO, 2001).

Acredita-se que o seu uso em conjunto com demais parâmetros pode ser de grande importância na otimização do processo de tratamento de água. Dentre estes parâmetros o que tem sido mais comumente usado nas pesquisas de água de abastecimento tem sido a absorbância a luz ultravioleta no comprimento de onda de 254 nm (EDZWALD, 1993).

O UV254 é usado na Europa para monitorar a remoção de MON nas ETAs e nos EUA como parâmetro substituto no controle do COT, precursores de THMs, compostos organohalogenados, na adsorção do COT por CAG e na remoção do COT e precursores de

THMs em ETAs que operam por filtração direta. Estudos de GALLARD *et al.* (2002), DE SALVO (2002) e ANDREOLA (2005) demonstraram que existe uma forte correlação entre a formação de THMs e o UV254.

GALLARD *et al.* (2002), usando água do rio Limmat-Suíça (afluente do lago Zurique) avaliando a cinética das reações de formação de THMs, determinaram entre outros parâmetros UV254 e formação de THMs. Para determinação de UV254 filtraram a amostra em membrana de 0,45µm e para a correlação com THM utilizaram o PFTHM medido após 3 horas da adição de 10 mg/L de cloro na amostra mantida fechada. As amostras foram coletadas no inverno, primavera e verão e, não houve diferenças significativas nas constantes entre os três períodos.

DE SALVO (2002) utilizando água proveniente do Sistema Alto Cotia em São Paulo (SABESP), fez análises da água bruta semanalmente entre os meses de setembro de 2001 e maio de 2002, utilizando métodos indiretos para caracterizar a MON como: cor verdadeira, turbidez, COD, UV254 e o potencial de formação de THM (PFTHM). Para as análises de UV254 filtrou-se a amostra em membrana de 0,45 µm corrigindo o pH para 7,6 com auxílio de HCl e NaOH. Para a determinação do PFTHM foi ajustado o pH para 7, a temperatura para 25°C, mantendo um residual de trihalometanos de 3 a 5 mg/L ao final dos 7 dias da determinação.

Segundo MATILAINEN *et al.* (2010), os métodos utilizados para a caracterização da MON incluem resina de adsorção, cromatografia de exclusão de tamanho, espectroscopia de ressonância magnética nuclear e espectroscopia de fluorescência. A quantidade de MON em água tem sido previsto com parâmetros, incluindo UV-Vis, de carbono orgânico total (COT) e UV-absorvância específica. Recentemente, tem-se desenvolvido métodos pelos quais as estruturas de MON pode ser mais precisamente determinado: pirólise de cromatografia gasosa-espectrometria de massa, técnicas multidimensionais e transformada de Fourier íon ciclotron de ressonância espectrometria de massas.

## **2.15 Espectroscopia na Região do Ultravioleta-Visível**

A matéria orgânica natural (MON) absorve a luz em diversos comprimentos de onda ( $\lambda$ ), enquanto que outras substâncias inorgânicas não absorvem luz de maneira significativa em  $\lambda > \sim 230$  nm (KORSHIN, 1997). Algumas substâncias comumente encontradas em águas

naturais e efluentes, tais como taninos, ligninas, substâncias húmicas e vários outros compostos aromáticos, têm alta capacidade de absorver luz ultravioleta. Desta forma, a absorbância de luz em águas naturais é um indicador semi-quantitativo da concentração de matéria orgânica em um corpo d'água (APHA *et al.*, 1999).

Os grupos funcionais que contêm os elétrons que são excitados quando uma molécula absorve luz, são denominados cromóforos. Em moléculas de MON, a maioria dos cromóforos que absorvem luz na região UV ( $\lambda < 400$  nm) são grupos aromáticos com vários graus e tipos de substituição, incluindo fenóis e diversos ácidos aromáticos. Estes cromóforos são associados principalmente à fração húmica (ou refratária) da matéria orgânica (KORSHIN, 1997).

Altas correlações podem existir entre a absorbância na região do ultravioleta e visível (UV/Vis) e o conteúdo de carbono orgânico, cor, e substâncias húmicas ou outros subprodutos da desinfecção da água (APHA, 1999). Usualmente, a absorbância é medida no comprimento de onda 253,7 nm (254 nm). Este comprimento de onda tem sido muito utilizado no monitoramento de concentrações de carbono orgânico dissolvido (COD) por correlacionar-se fortemente com a absorbância da luz à 254 nm (UV254). No entanto, especialistas podem escolher outro comprimento de onda de forma a minimizar a interferência de componentes (KORSHIN, 1997).

O espectro de absorbância pode também ser avaliado em termo de absorbância específica ou absortividade, normalizado em termos do COD e do caminho ótico da amostra. Desta forma, é possível obter informações a composição da matéria orgânica e indícios sobre as suas fontes (WESTERHOFF *et al.*, 2002).

A caracterização da matéria orgânica pode ser feita tanto pela absorção específica a um único comprimento de onda, quanto pela razão de absorção entre dois comprimentos de onda. A razão entre a absorbância (ou absortividade) entre dois comprimentos permite uma descrição qualitativa da curvatura do espectro de absorção. A razão entre os comprimentos de onda 465 e 665 nm, denominada de E4/E6, é também sugerida por diversos autores como um indicativo qualitativo da composição da matéria orgânica (SENESI, 2005; CHEN *et al.*, 2007).

## 2.16 Aspectos legais sobre a qualidade de água

Em relação à qualidade da água tratada para o consumo humano, a legislação em vigor no Brasil é a portaria n° 518 de 25 de março de 2004 do Ministério da Saúde. Esta portaria estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para o consumo humano e seu padrão de potabilidade. Na portaria estão estabelecidos os limites máximos permitidos de dezenas de parâmetros os físicos, químicos e biológicos, que precisam ser respeitados na saída do tratamento (BRASIL, 2004).

A concentração máxima permitida de trihalometanos é de  $100 \mu\text{g.L}^{-1}$  em água para abastecimento público no Brasil de acordo com a Portaria n° 1469, de 29 de dezembro de 2000, do Ministério da Saúde (2001). Já a legislação dos Estados Unidos, por meio da Agência de Proteção Ambiental USEPA é a mais restritiva quanto a presença destes compostos em água para o consumo humano. Ela limita em  $80 \mu\text{g/L}$  a concentração de trihalometanos totais e em  $60 \mu\text{g/L}$  a concentração de ácidos haloacéticos na água tratada. (MACÊDO, 2002).

### **CAPÍTULO 3 – MATERIAL E MÉTODOS**

Neste capítulo são apresentadas as etapas do estudo experimental realizado no Laboratório de Engenharia Termo-ambiental – UFU (UPEq - Unidade de Pesquisa – Bairro Segismundo Pereira). Com exceção da coleta de água do Rio Uberabinha, todos os procedimentos foram realizados na unidade de pesquisa citada.

Primeiramente será feita a descrição detalhada da instalação piloto para a filtração por gravidade e os aspectos relacionados ao seu funcionamento. Em seguida, serão listados os procedimentos para caracterização da água de estudo, bem como as análises experimentais em bancada.

Os experimentos executados empregaram água do Rio Uberabinha que era coletada no período da manhã e utilizada no laboratório para filtração por gravidade. A coleta de amostras de água do rio era feita, a cada dois dias, utilizando-se recipiente plástico limpo e seco. O local selecionado aleatoriamente para coleta de amostra, está situado no Bairro Tabajaras entre as pontes da Av. Silvio Rugani e Av. Getúlio Vargas. As Figuras 3.1 e 3.2 mostram uma ilustração do local. Coletada a água do rio, esta era levada para a UPEq e mantida no recipiente à temperatura ambiente durante todo uso. Cabe ressaltar que todos os ensaios foram realizados à temperatura ambiente, em escala de bancada. Outrossim, nenhum tratamento físico ou químico inicial foi aplicado à essa água antes de se realizar as filtrações. No entanto, é importante informar que a água alimentada ao tanque de alimentação, ao permanecer no mesmo, por aproximadamente 7-10 h, que era o período de filtração adotado, notava-se, no fundo deste tanque, a formação de uma fina camada de sólidos e detritos provenientes de matéria suspensa.

Uma vez que o principal objetivo deste trabalho foi a redução de MON de pequenas quantidades de água de rio para uso doméstico, com baixo custo de equipamento e economia de energia, optou-se pelo uso de filtração por gravidade empregando-se carvão ativado reciclado visando o tratamento dessa água através de tentativas de remoção de MON. Esta água, posteriormente poderá vir sofrer tratamentos químicos (floculação - coagulação) adicionais antes da cloração tradicional.



**Figura 3.1** - Foto do rio Uberabinha (ponto de coleta de amostra)



**Figura 3.2** - Foto do rio Uberabinha (ponto de coleta de amostra)

### 3.1 Equipamentos e acessórios

A instalação piloto foi montada na UPEq- Unidade de Pesquisa da Engenharia Química. A Figura 3.3 apresenta um esquema do equipamento empregado para realização dos ensaios de filtração por gravidade. Essa figura encontra-se também no artigo de BONEBERG *et al.* (2013) em fase de análise em revista internacional.

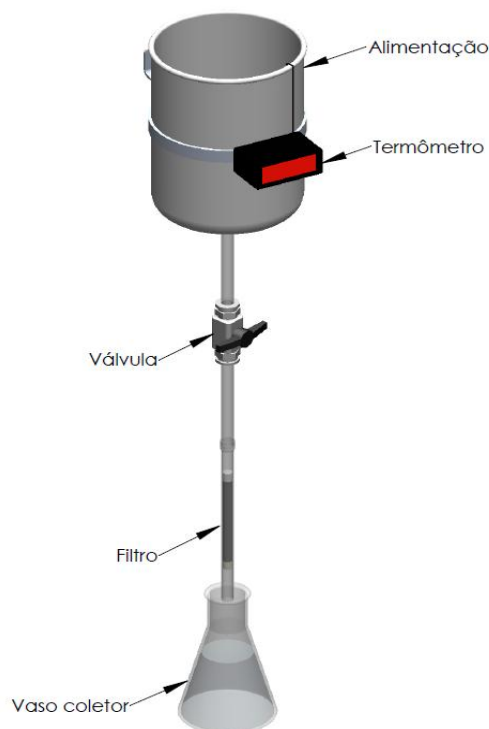
O equipamento é composto de um tanque plástico de alimentação (volume, 11 L) que possui um termômetro ( $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$ ), com indicador digital acoplado, cujo sensor está mergulhado no seu interior. As tubulações, por onde a água escoar, são todas de teflon flexível com diâmetro interno de 6 mm.

Uma válvula é colocada, na tubulação, cerca de 15 cm abaixo da base do tanque de alimentação, que permitia cessar o escoamento para troca de filtros ou mesmo parada do experimento para limpeza. O trecho de tubo, abaixo da válvula, era também modificado, de acordo com a queda de pressão que se pretendia trabalhar naquele experimento. No caso desse trabalho, em que desejava-se que a pressão de filtração fosse constante e que a queda de pressão poderia influenciar na quantidade e qualidade do filtrado obtido, tubos de tamanhos apropriados eram conectados de forma a se obter as seguintes alturas de nível de líquido: 86 e 126 cm de coluna de água ( $\text{cmH}_2\text{O}$ ).

Os filtros utilizados no estudo foram confeccionados no próprio laboratório usando-se barras de vidro de borossilicato com diâmetro interno de 7 mm. As barras eram cortadas em tamanhos de 15-30 cm e tinham suas extremidades lixadas e alisadas na chama.

O carvão empregado como meio adsorvente foi proveniente de um elemento filtrante de filtro de parede doméstico que seria descartado após 12 meses de uso. Esse carvão foi seco e peneirado utilizando os sistemas de peneiras Tyler do Laboratório de Ensino da FEQUI. Foram obtidas quantidades variadas de carvão com 05 granulometrias diferentes.

Para este estudo, optou-se em construir filtros de carvão granular reciclado com as seguintes granulometrias: 48, 60 e 100 mesh.



**Figura 3.3** - Equipamento utilizado nos experimentos

A Figura 3.4, apresenta os filtros que foram confeccionados e usados nesse trabalho. Para confecção dos filtros, aproveitou-se a fibra de vidro proveniente do desmanche do filtro reciclado para atuar como suporte de sustentação do carvão. A massa de carvão (m) usada no interior dos filtros era pesada usando balança semi-analitica ( $\pm 0,01$  g). As alturas (h) de carvão resultantes, dentro do filtro, ficaram entre 5 e 15 cm. As especificações mais completas, a respeito dos filtros, encontram-se na Tabela 3.1.



**Figura 3.4** - Filtro de carvão ativado granular reciclado



Os filtros foram construídos, propositadamente, de acordo com os parâmetros que se desejava testar para a obtenção de um produto (filtrado) com reduzida MON. Dessa forma, procurou-se variar os seguintes parâmetros para estudo: massa de carvão no filtro, granulometria do carvão e queda de pressão  $\Delta P$  (cmH<sub>2</sub>O) durante a filtração.

Tabela 3.1- Especificação dos filtros confeccionados

Identificação dos filtros	Especificação dos filtros		
	(mesh) #	h (altura de carvão) cm	m (massa total de carvão) g
1	48	5	0,9
2	48	10	1,82
3	100	5	0,8
4	100	10	1,65
5	48	15	2,04
6	100	15	2,07
8	60	10	1,77
9	60	15	2,43
7'	60	5	0,9
8'	60	10	1,06

Um filtro contendo apenas o material de fibra de vidro foi montado para testar e verificar a existência de influências desse material na redução de MON. Os resultados do teste do branco podem ser conferidos nas Tabelas A 20 do Anexo 20.

### 3.2. Procedimento Experimental

O tanque de alimentação foi abastecido com água do rio. Neste tanque foi conectado a tubulação e abaixo da válvula foi conectado o filtro a ser empregado naquele ensaio. Uma alíquota (40 mL), da água de alimentação, foi retirada para analisar a condição inicial da amostra. Dessa forma, foram medidos o pH, a condutividade e a absorbância da amostra. Um

béquier ou um erlemeyer, com volume de 500 mL, foi colocado abaixo do filtro de carvão para coletar o filtrado. A válvula foi aberta e o cronômetro disparado. A filtração a pressão constante foi então iniciada. O béquer, coletor de filtrado, foi substituído, em intervalos de cerca de 60 minutos. A massa de filtrado foi pesada e anotada. Uma amostra dessa massa foi retirada para análises de pH, condutividade ( $\lambda$ ) e absorbância. A temperatura da água do tanque de alimentação foi anotada a cada hora. O sistema foi monitorado de maneira que em intervalos de duas horas o tanque de alimentação era alimentado com água do rio garantindo uma relativa invariabilidade da queda de pressão acima do filtro. O processo foi cessado ao final do dia tendo uma duração média de 7 a 10 horas. Cada filtro foi utilizado, em média, por duas ou três vezes de forma a realizar a filtração por gravidade com duas ou três quedas de pressão distintas. Os resultados dos ensaios realizados estão contidos nos Apêndices.

### 3.3 Grandezas físicas ou parâmetros do filtrado analisados

Os parâmetros ou variáveis que foram monitorados e analisados em intervalos de aproximadamente 1 hora, foram os seguintes:

- Temperatura ( $^{\circ}$  C)
- pH
- Condutibilidade ( $\mu$ S/cm)
- Absorbância UV 254nm
- Massa de filtrado (g)
- Taxa de filtrado (g/h)

A seguir, será listada uma relação dos equipamentos de análise utilizados com suas respectivas especificações. Estes equipamentos foram calibrados, em conformidade com seu manual e utilizados na leitura de todas as grandezas ou parâmetros desta pesquisa.

Os equipamentos utilizados durante a preparação e execução dos ensaios laboratoriais foram os seguintes:

- Balança Semi-Analítica: para pesagem das amostras de filtrado. TDS Instrumental Tecnológica Ltda; Modelo: FA-2104N; Classe de exatidão: 1; N $^{\circ}$  série B00565; Tensão 110-220V; Potência: 5W; (max: 215g, min:0,01g).

- Espectrofotômetro UV/Visível: para leituras de cor aparente da marca Spectrum; Fabricante: Biosystems Ltda; Modelo: SP-2000 UV; N° Série ZWICO 8041648; Tensão: 110V.
- Medidor de Condutividade ( $\lambda$ ) Digital Portátil. Instrutherm. Modelo CD-850 ( $\pm 0,01$   $\mu\text{S/cm}$ )
- pH-metro Digital PG 1400: Fabricante: GEHAKA. N° serie 10101540001011
- Termômetro: para medidas de temperatura. Incoterm L-165/06 com precisão:  $\pm 0,1^\circ\text{C}$
- Vidrarias diversas: Béquer Deltex 50 mL; erlenmeyeres (500 mL), balões volumétricos, provetas.

### 3.4 Análise de MON e COT

Para se conhecer o teor de MON, a medida da absorbância da amostra, foi realizada, para três amostras de filtrado, a cada hora, utilizando o espectrofotômetro UV-VIS, com comprimento de onda de 254nm. Cubetas de quartzo foram empregadas nas medidas. O branco utilizado era a água destilada do laboratório da UPEq (proveniente da rede pública). Uma vez lida a absorbância, era preciso determinar a concentração de matéria orgânica natural (MON).

Para a análise de MON utilizou-se o método indireto de medida de concentrações, no Standard Methods no. 5910B. APHA *et al.* (1998), por absorção ultravioleta a 254 nm em espectrofotômetro UV-VIS, com faixa de varredura de 200 a 400 nm, o qual forneceu as medidas de concentração da amostra em absorbância.

Para o cálculo do % de remoção, utilizou-se a seguinte equação:

$$\%R \text{ (MON)} = \frac{\alpha_o - \alpha_f}{\alpha_o} \quad (1)$$

onde o  $\alpha_f$  é o valor da absorbância medida após o intervalo de filtração e o  $\alpha_o$  é o valor da absorbância da amostra de água bruta.

A medição de absorbância foi feita no ultravioleta com 254 nm de comprimento de onda, com um Shimadzu UV-Vis A- 106 com uma célula (cubeta) de 1 cm de comprimento de quartzo. Água destilada foi utilizada como referência ou branco. Solução da amostra é pré-

filtrada através de membrana (0,45 µm) antes da medição, o que é realizado à temperatura ambiente.

O procedimento de determinação de COT utilizado, está descrito no Standard Methods N°. 5310C APHA *et al.* (1998). Nesse caso é usado um Dohrmann DC-180 analisador de carbono orgânico total.

Para determinação do Carbono Orgânico Total (COT), optou-se por utilizar uma equação da literatura (SULAYMON *et al.* 2009) na qual utiliza o valor da concentração de MON (em mg/L):

$$\text{COT (mg/L)} = 33 \times \text{UV}_{254}(\text{cm}^{-1}) + 0,6736 \pm \delta \quad \dots \quad (2)$$

Sendo que  $\delta=0,085$  e representa o desvio padrão encontrado para os sistemas utilizados no ajuste das constantes dessa equação para o comprimento de onda de 254 nm.

## CAPÍTULO 4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos para os ensaios realizados em que água bruta do rio Uberabinha foi filtrada, à pressão constante, empregando-se filtros de carvão reciclado.

Para o período de realização desse estudo, bem como o local de amostragem no Rio, verifica-se na Tabela 4.1 os resultados das análises das amostras de água bruta do rio Uberabinha, sendo: T a temperatura,  $\alpha$  a absorbância, pH a acidez e  $\lambda$  a condutividade. O valor de COT (mg/L) na Tabela 4.1 foi calculado utilizando-se o valor médio da absorbância na Equação (2) citada no Capítulo 3.

Tabela 4.1 - Propriedades físico-químicas das amostras de água bruta do rio Uberabinha

Nº	Período da amostragem	T (°C)	$\alpha$	pH	$\lambda$ (µS/cm)	COT (mg/L)
1	Junh/12	25,5	0,066	6,73	6,14	2,852
2	Junh/12	24,2	0,098	6,94	6,50	3,918
3	Junh/12	24,2	0,081	6,27	6,60	3,358
4	Junh/12	23,5	0,071	6,98	6,50	3,017
5	Junh/12	22,4	0,077	6,95	6,80	3,226
6	Junh/12	22,4	0,077	6,95	6,80	3,226
7	Jul/12	21,7	0,050	7,05	6,60	2,324
8	Jul/12	21,7	0,050	7,05	6,60	2,324
9	Jul/12	22,6	0,168	6,52	7,27	6,229
10	Jul/12	23,1	0,061	6,85	6,80	2,676
11	Jul/12	23,1	0,061	6,85	6,80	2,676
12	Jul/12	21,0	0,076	6,95	6,80	3,193
13	Jul/12	20,9	0,079	7,07	11,00	3,292
14	Jul/12	20,2	0,064	6,89	9,00	2,797
15	Jul/12	19,4	0,059	6,83	8,30	2,632
16	Jul/12	24,0	0,050	6,99	6,90	2,324

Nº	Período da amostragem	T (°C)	$\alpha$	pH	$\lambda$ ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	COT (mg/L)
17	Jul/12	23,0	0,055	6,86	6,40	2,500
18	Jul/12	24,0	0,051	6,81	6,70	2,368
19	Jul/12	23,0	0,045	6,67	6,50	2,148
20	Ago/12	23,1	0,045	-	-	2,159
21	Ago/12	22,6	0,034	-	-	1,807
22	Ago/12	22,4	0,036	-	-	1,873

A temperatura da água bruta esteve por volta de 19,4 a 25,5 °C, uma vez que os ensaios foram realizados no período do inverno. Observa-se que existe uma grande variação na absorbância da água bruta medida no comprimento de onda de 254 nm, o que demonstra uma alta variação diária na concentração de compostos orgânicos nas águas do rio. A baixa condutividade elétrica (6,15-11,0  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) sugere que, provavelmente, exista uma baixa concentração de íons dissolvidos, para esse período e local de amostragem. Finalmente, nota-se que o valor de pH medido (6,27-7,07) está dentro dos critérios da lei (USEPA) para um rio com águas limpas.

O resultado de todos os experimentos encontra-se em Tabelas que estão nos Anexos 01 a 19. Visando ilustrar os dados coletados, apresenta-se a Tabela 4.2, com os dados de filtração da água bruta do rio e as seguintes propriedades iniciais: pH = 7,07; absorbância( $\alpha$ ) = 0,079 e condutividade elétrica ( $\lambda$ ) 11,00  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

As variáveis contidas na Tabela são resultantes da análise do filtrado, a saber: massa de filtrado (m, gramas) coletada em intervalos de tempo, tempo de filtração (t em horas), temperatura do filtrado (T, °C), pH,  $\lambda$  e absorbância ( $\alpha_{254}$ ). A filtração foi realizada por um período maior que sete horas e menor que dez horas, sendo que se considerou o critério de parada de processo quando a massa de filtrado era pelo menos a metade daquela obtida na primeira hora de filtração.

Tabela 4.2 - Resultados de filtração por gravidade utilizando o filtro 1

Filtro 1 $\Delta P = 126 \text{ cm H}_2\text{O}$									
Data: 18/07/2012									
Amostra de água bruta	T (°C)	$\alpha$	$\alpha$		pH	pH		$\lambda$ (uS)	COT (mg/L)
			Media	Desvio padrão		Media	Desvio padrão		
	20,9	0,08	0,079	0,00058	7,08	7,07	0,02	11	3,292
		0,079			7,04				
		0,079			7,08				

tempo	T (°C)	$\alpha$	$\alpha$		pH	pH		$\lambda$ (uS)	massa (g)	% R	COT (mg/L)
			Media	Desvio padrão		Media	Desvio padrão				
08:42	20,8	0,058	0,058	0,000	7,04	7,09	0,05	10,4	784,46	26,89	2,59
		0,058			7,14						
		0,058			7,1						
09:42	20,9	0,054	0,054	0,000	7,33	7,23	0,08	9,8	485,81	31,93	2,46
		0,054			7,19						
		0,054			7,18						
10:42	20,9	0,049	0,050	0,000	7,2	7,23	0,03	9,6	342,57	37,39	2,31
		0,05			7,25						
		0,05			7,23						
11:42	20,9	0,048	0,048	0,000	7,16	7,2	0,04	9,6	247,73	39,08	2,27
		0,049			7,23						
		0,048			7,21						
12:42	20,9	0,048	0,047	0,000	7,23	7,23	0,01	9,6	194,7	40,34	2,24
		0,047			7,23						
		0,047			7,22						
13:42	20,9	0,045	0,044	0,001	7,18	7,2	0,02	9,5	163,3	44,54	2,13
		0,044			7,22						
		0,043			7,2						
14:42	21,0	0,041	0,041	0,001	7,19	7,18	0,02	9,4	130,96	48,32	2,03
		0,04			7,18						
		0,042			7,16						
15:42	21,0	0,039	0,039	0,000	7,2	7,21	0,01	9,6	118,86	50,42	1,97
		0,039			7,22						
		0,04			7,21						
16:42	21,0	0,038	0,038	0,000	7,25	7,24	0,01	9,6	109,67	51,68	1,94
		0,038			7,24						
		0,039			7,23						
17:42	21,0	0,036	0,037	0,001	7,24	7,24	0,02	9,5	102,03	53,78	1,88
		0,038			7,25						
		0,036			7,22						

%R médio = 42,44

Total da massa de filtrado (g) = 2680,09

Taxa de filtrado (g/h) = 268,009

Tendo por base as Tabelas A1 – A19 dos Apêndices 01 a 18, para a queda de pressão filtro de 87 cm de água, obteve-se as Tabelas 4.3 e 4.4, onde é possível observar a faixa (%R) de remoção de orgânicos, para cada filtro, que se obteve para cada experimento variando-se o  $\Delta P$ . Nelas estão registradas a massa total de carvão (M, em g) empregada na construção do filtro, a granulometria (#) com o valor médio do carvão, a massa total de filtrado (MT, em g) coletada no experimento, a altura de carvão (h, em cm) no filtro cilíndrico a taxa com o valor médio de filtrado obtida ( $\dot{Q}$ , em g/h) e o valor médio de carbono total (COT) no filtrado.

Tabela 4.3 - Resultados de taxa média de filtrado, % de remoção de orgânicos e valores de COT calculados para ensaios com os filtros para a queda de pressão de  $\Delta P = 86 \text{ cmH}_2\text{O}$

ESPECIFICAÇÃO DOS FILTROS				RESULTADO DAS ANÁLISES com $\Delta P = 86 \text{ cm H}_2\text{O}$									
# mesh	Filtro	m (g)	h (cm)	mt (g)	$\dot{Q}$ (g/h)	% R				COT (mg/L)			
						Média	Desvio padrão	Mín	Máx	Média	Desvio padrão	Mín	Máx
48	1	0,9	5	1.813,6	181,4	26,71	5,38	19,20	33,30	2,27	0,12	2,13	2,43
	2	1,82	10	2.250,5	225,0	44,11	4,87	32,54	48,50	2,49	0,16	2,31	2,86
	5	2,04	15	1.693,1	169,3	59,35	5,76	53,90	68,50	1,71	0,15	1,48	1,85
100	3	0,8	5	4.151,3	415,1	17,46	4,09	13,50	23,32	2,43	0,09	2,30	2,51
	4	1,65	10	587,1	53,4	66,08	6,11	53,02	71,55	1,54	0,16	1,40	1,87
60	7	1,12	5	749,2	83,2	55,74	5,05	50,0	65,30	1,40	0,08	1,25	1,50
	8	1,77	10	108,0	18,0	95,52	1,25	94,10	96,63	0,92	0,07	0,86	1,0
	7'	0,9	5	390,4	43,4	33,64	8,26	19,30	41,30	1,47	0,10	1,40	1,64
				2.255,2	250,6	11,38	4,81	6,63	21,70	2,29	0,09	2,10	2,38
	8'	1,06	10	1.637,1	181,9	31,60	4,43	19,30	34,10	1,71	0,07	1,65	1,87
				2.719,0	271,9	30,04	7,73	22,10	44,80	1,83	0,13	1,61	1,99

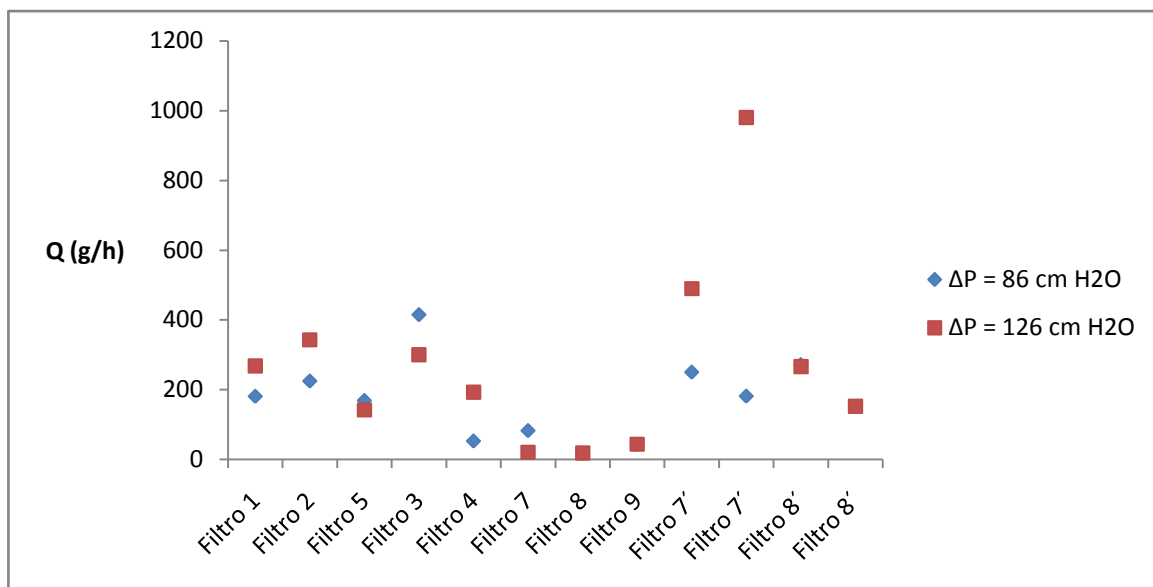


Tabela 4.4 - Resultados de taxa média de filtrado, % de remoção de orgânicos e valores de COT calculados para ensaios com os filtros para a queda de pressão de  $\Delta P = 126 \text{ cmH}_2\text{O}$

ESPECIFICAÇÃO DOS FILTROS				RESULTADO DAS ANÁLISES $\Delta P = 126 \text{ cm H}_2\text{O}$									
# mesh	Filtro	m (g)	h (cm)	mt (g)	$\dot{Q}$ (g/h)	% R				COT (mg/L)			
						Média	Desvio padrão	Mín	Máx	Média	Desvio padrão	Mín	Máx
48	1	0,9	5	2.680,1	268,0	42,43	8,882	26,89	53,78	2,18	0,23	1,88	2,59
	2	1,82	10	3.430,0	343,0	34,24	3,845	28,69	40,16	2,44	0,10	2,28	2,59
	5	2,04	15	1.420,7	142,1	33,53	8,033	24,72	48,88	1,97	0,16	1,68	2,15
100	3	0,8	5	2.705,4	300,6	31,33	7,688	20,09	42,36	2,40	0,19	2,13	2,69
	4	1,65	10	1.738,9	193,2	53,28	6,304	44,13	61,03	1,77	0,15	1,59	1,98
60	7	1,12	5	105,2	21,0	79,32	-	76,67	84,67	1,01	0,08	0,93	1,06
	8	1,77	10	92,4	18,5	80,76	-	80,76	80,76	1,06	-	1,06	1,06
	9	2,43	15	175,2	43,8	86,95	4,692	80,22	90,66	0,935	0,094	0,86	1,07
	7'	0,9	5	3.919,7	490,0	34,56	8,34	20,39	40,78	1,647	-	1,35	1,58
				8.824,3	980,5	14,11	4,246	10,0	20,67	2,177	0,164	1,98	2,16
	8'	1,06	10	2.398,6	266,5	14,12	6,592	7,63	25,42	1,79	0,09	1,64	1,87
				1.371,1	152,3	25,0	6,989	18,66	37,31	1,78	0,10	1,60	1,87

#### 4.1. Massa de Filtrado

De uma forma geral, o aumento da queda de pressão no filtro permitiu que se obtivesse maiores massas de filtrado. Isso pode ser observado ao se comparar as Tabelas 4.3 e 4.4. Para a queda de pressão de  $126 \text{ cmH}_2\text{O}$ , as maiores remoções de orgânicos foram conseguidas empregando o carvão com mesh 60, no entanto, cabe salientar que isso deve ter ocorrido também devido a uma maior compactação do material dentro do filtro. Isso pode ser verificado ao se comparar os resultados para os filtros 7-8 e 7'-8' em que massas menores de carvão foram colocadas num mesmo comprimento de filtro e dessa forma maiores quantidades de filtrado foram coletadas, mas com menor percentual de remoção de orgânicos.

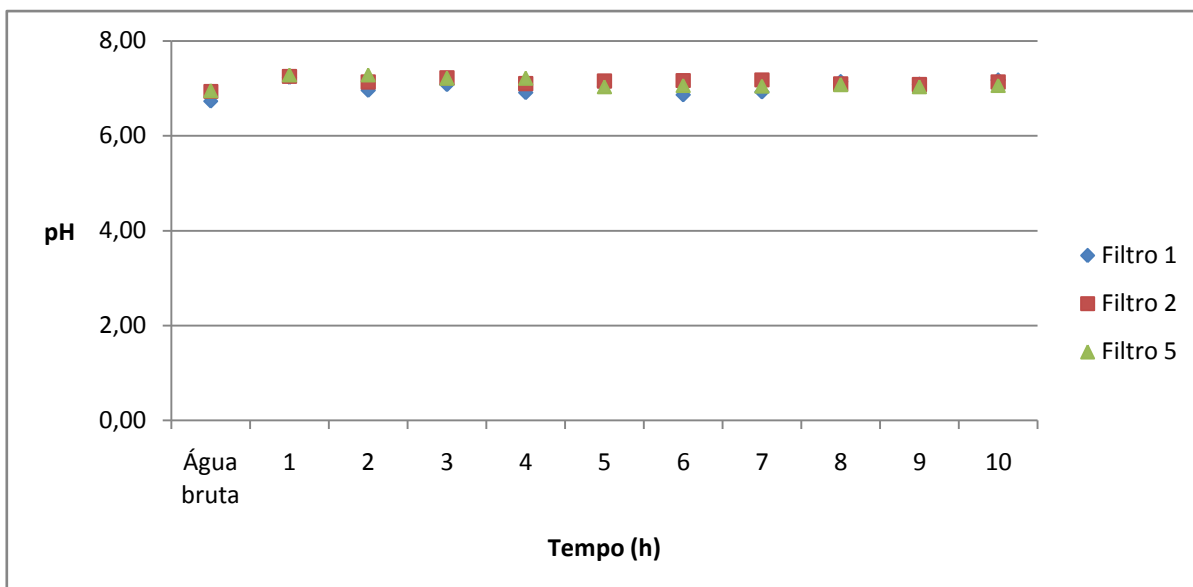


**Figura 4.1** - Comparativo da Taxa de filtrado média (g/h) para duas quedas de pressão distintas ( $\Delta P = 86 \text{ cm H}_2\text{O}$ ;  $\Delta P = 126 \text{ cmH}_2\text{O}$ ).

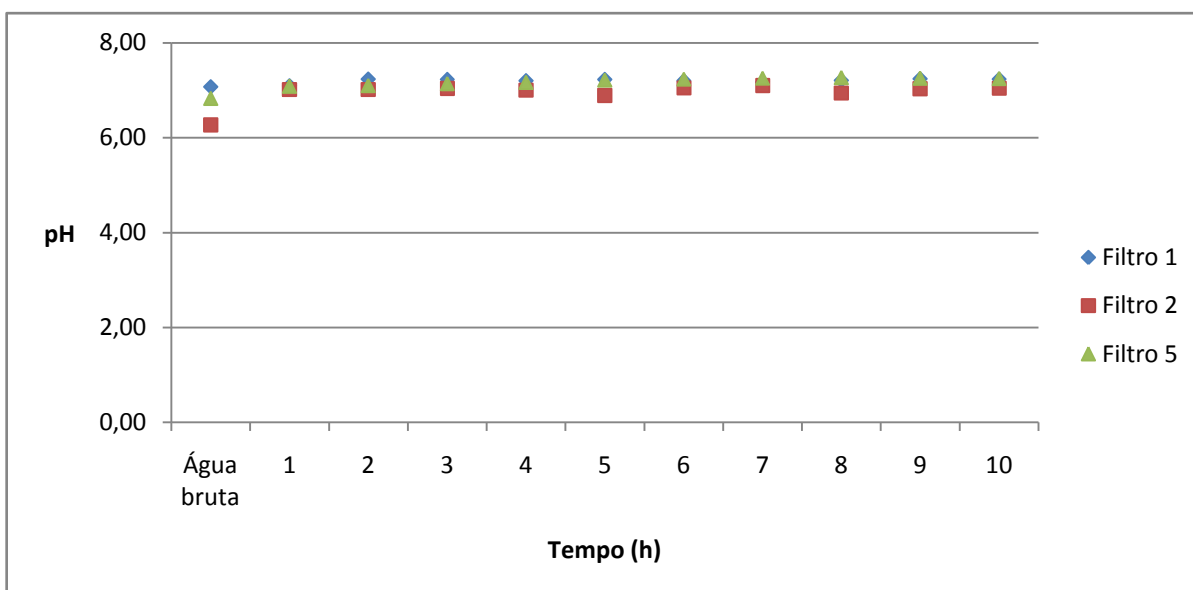
A Figura 4.1 ilustra os valores médios de taxa de filtrado para todos os filtros utilizados neste trabalho, para duas quedas de pressão distintas. De uma forma geral, a queda de pressão parece não variar de maneira substancial o valor da taxa de filtrado média, com exceção do filtro 7'. Acredita-se que a descompactação desse filtro tenha ocasionado esta grande discrepância de comportamento, bem como a não reprodutibilidade do ensaio que pode ser confirmada na Tabela 4.3 e 4.4 para os filtros 7' e 8'.

## 4.2 pH

As Figuras 4.2-4.7 mostram valores de pH das amostras de filtrado coletadas em função do tempo para filtros de granulometrias e queda de pressão distintas.



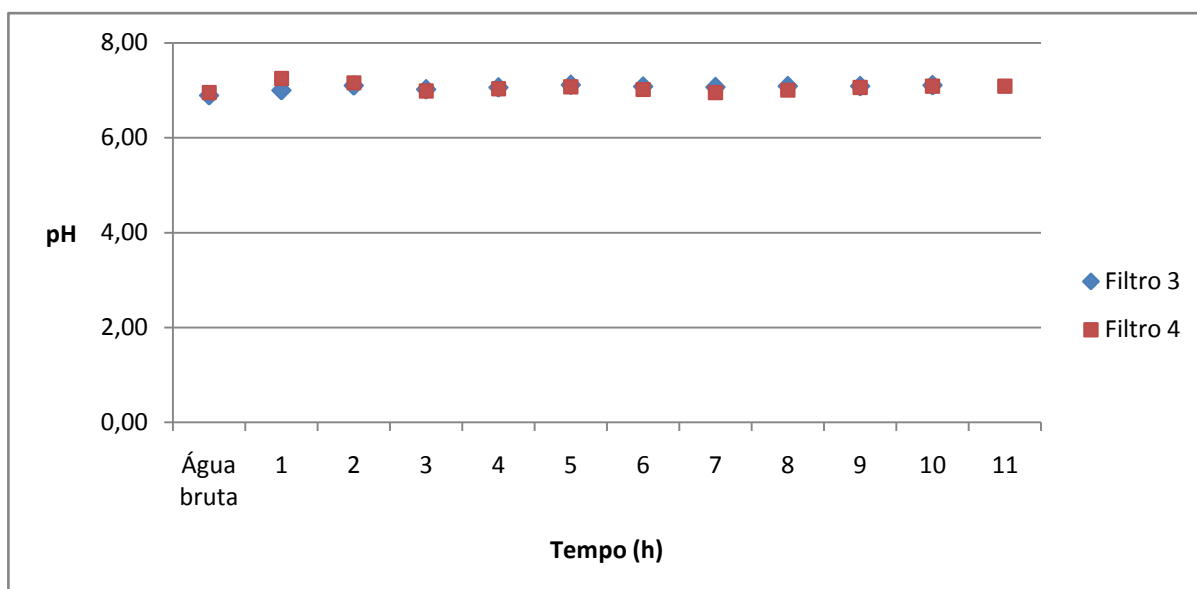
**Figura 4.2** - Variação do pH do filtrado em função do tempo (mesh 48;  $\Delta P = 86 \text{ cmH}_2\text{O}$ ).



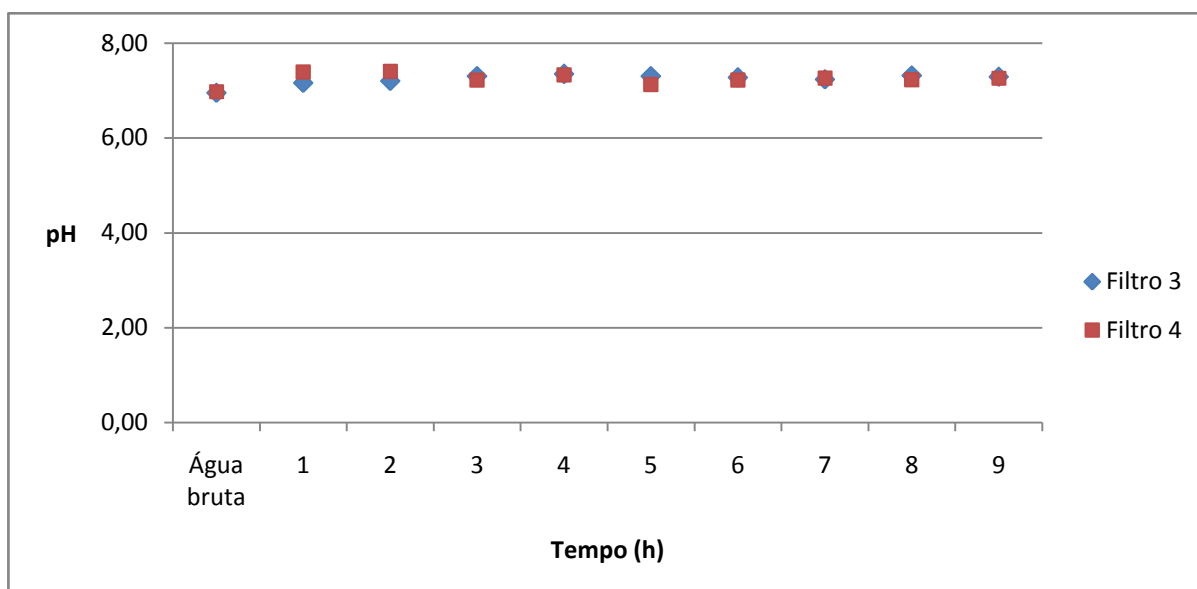
**Figura 4.3** - Variação do pH do filtrado em função do tempo (mesh 48;  $\Delta P = 126 \text{ cmH}_2\text{O}$ ).

Primeiramente, exibe-se as Figuras 4.2 e 4.3 que apresentam os resultados do pH do filtrado em função do tempo para duas quedas de pressão diferentes. Na Figura 4.2, nota-se que ao se usar o filtro 1 ocorreram oscilações significativas nas análises de pH, o que não é observado ao se processar a filtração à queda de pressão de  $126 \text{ cmH}_2\text{O}$ . Por outro lado, empregando-se os filtros 2 e 5, em ambas as pressões, essa oscilação é pouco acentuada ou inexistente. Em todos os casos apresentados anteriormente, inclusive nos demais resultados apresentados nas Figuras 4.4- 4.7, o início do processo de filtração é caracterizado por uma

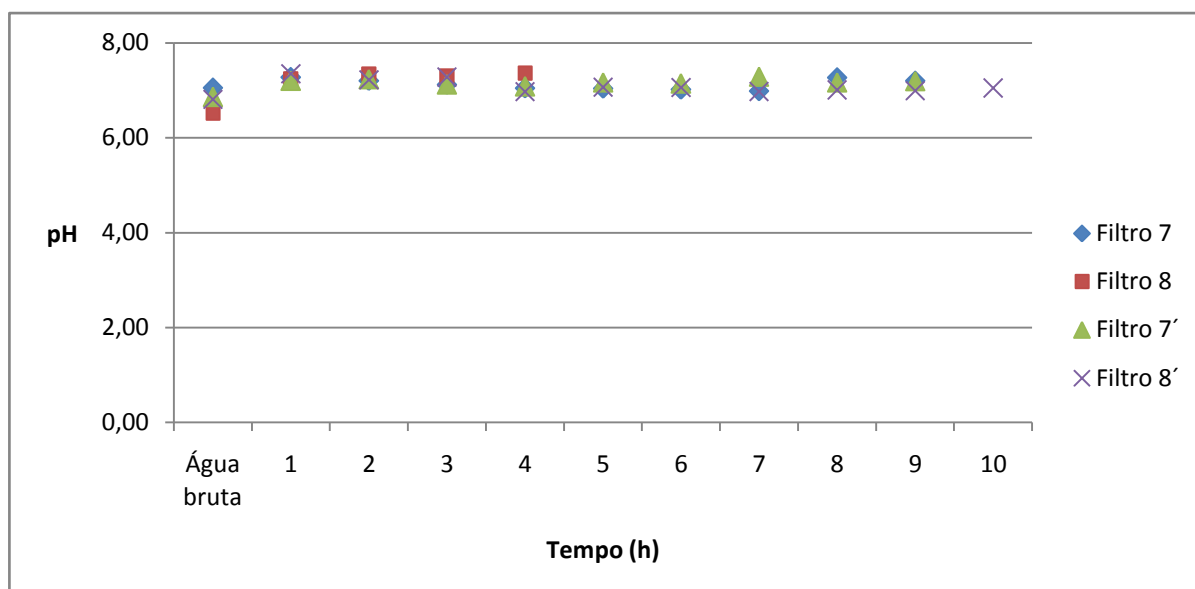
ligeira elevação do pH do filtrado, que posteriormente tende a se estabilizar dentro de uma faixa. Uma exceção pode ser ilustrada com a Figura 4.7, para o filtro 8' em que o valor do pH do filtrado apresentou uma queda em função do tempo de filtração.



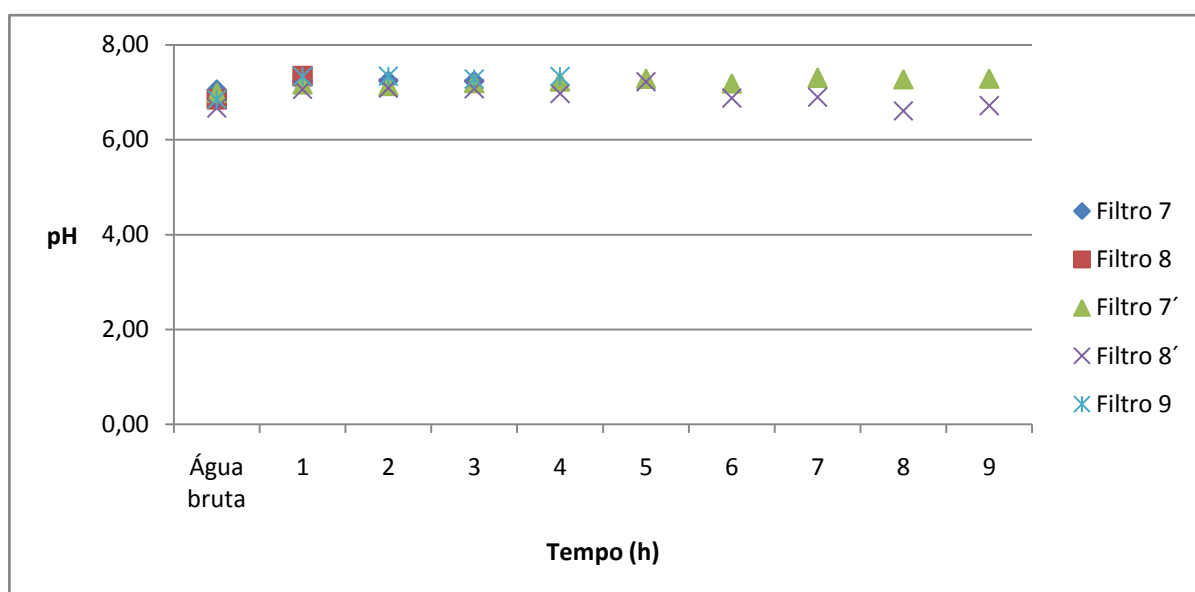
**Figura 4.4** - Variação do pH do filtrado em função do tempo (mesh 100;  $\Delta P = 86 \text{ cmH}_2\text{O}$ ).



**Figura 4.5** - Variação do pH do filtrado em função do tempo (mesh 100;  $\Delta P = 126 \text{ cmH}_2\text{O}$ ).



**Figura 4.6** - Variação do pH do filtrado em função do tempo (mesh 60;  $\Delta P = 86 \text{ cmH}_2\text{O}$ ).

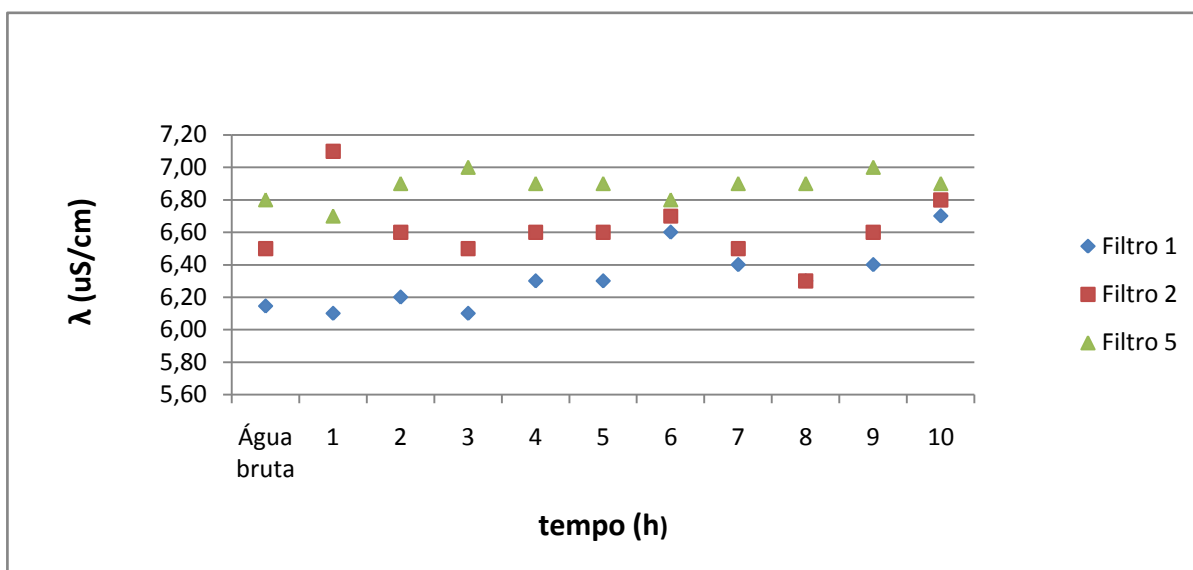


**Figura 4.7** - Variação do pH do filtrado em função do tempo (mesh 60;  $\Delta P = 126 \text{ cmH}_2\text{O}$ ).

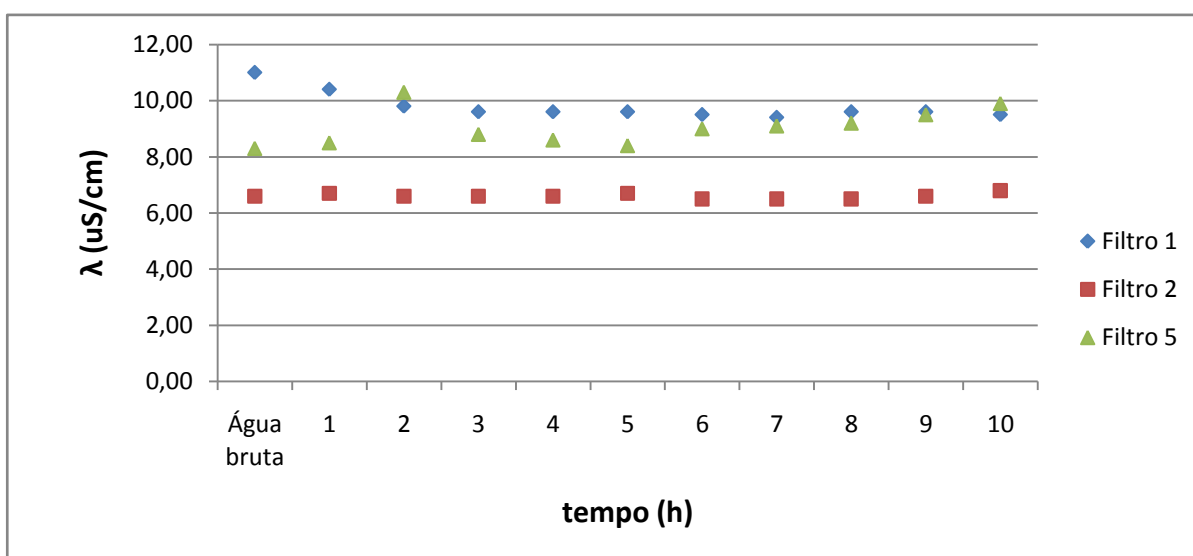
### 4.3 Condutividade Elétrica

A condutividade elétrica de um sistema líquido, nesse caso do filtrado e da água bruta de um rio, de acordo com TUNDISI (2008), correlaciona-se fortemente com fatores como tipo de solo, cobertura vegetal e escoamento superficial. Além disso, este parâmetro

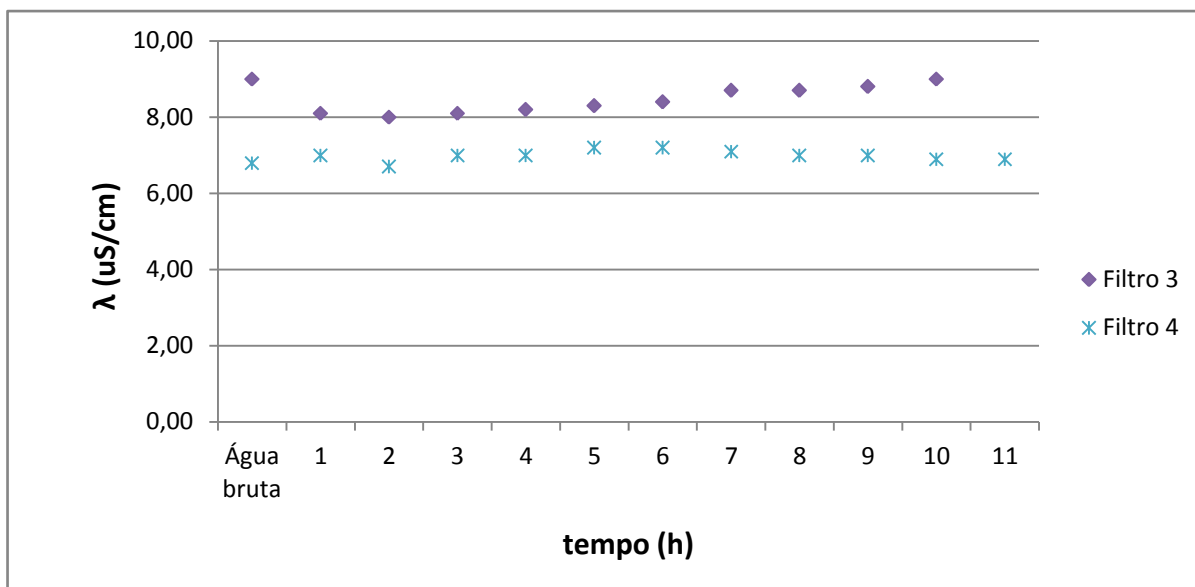
depende da concentração iônica, podendo também ser influenciado, em casos específicos pelo pH do meio, temperatura e alcalinidade. As Figuras 4.8-4.13 ilustram os resultados de condutividade elétrica do filtrado bem como o valor inicial da água bruta que foi processada, para cada filtro, em função do tempo. Comparando-se o valor da condutividade da água bruta com a do filtrado, conclui-se que a condutividade permaneceu inalterada e que, portanto o filtro de carvão reciclado empregado, para as granulometrias usadas, parece não remover íons dissolvidos na água.



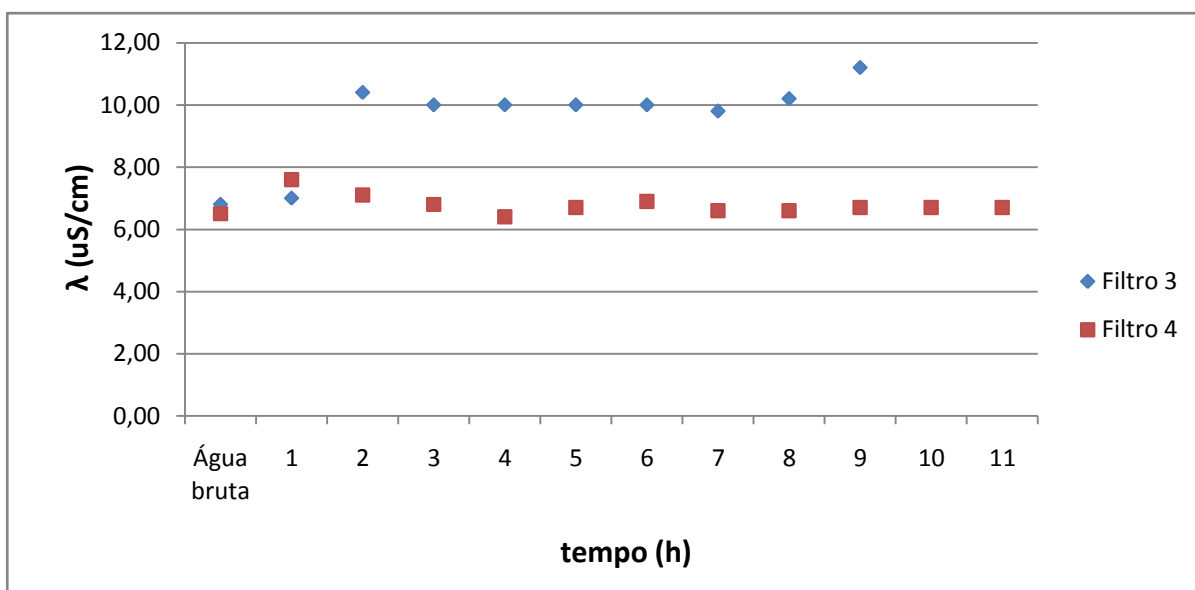
**Figura 4.8** - Variação da condutividade do filtrado em função do tempo (mesh 48;  $\Delta P = 86 \text{ cmH}_2\text{O}$ ).



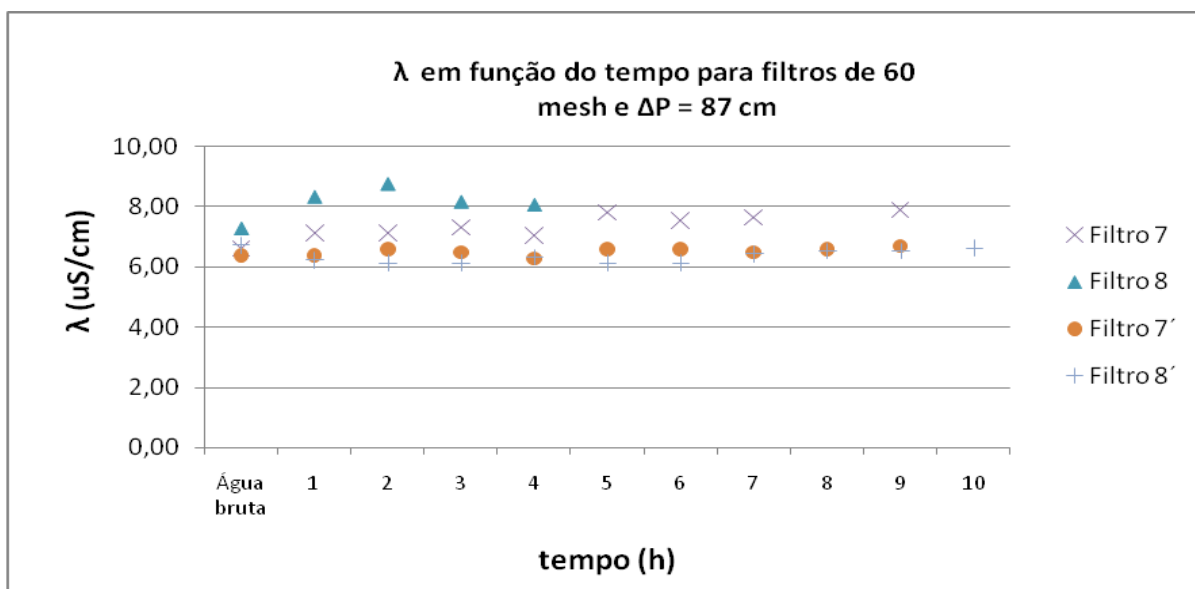
**Figura 4.9** - Variação da condutividade do filtrado em função do tempo (mesh 48;  $\Delta P = 126 \text{ cmH}_2\text{O}$ ).



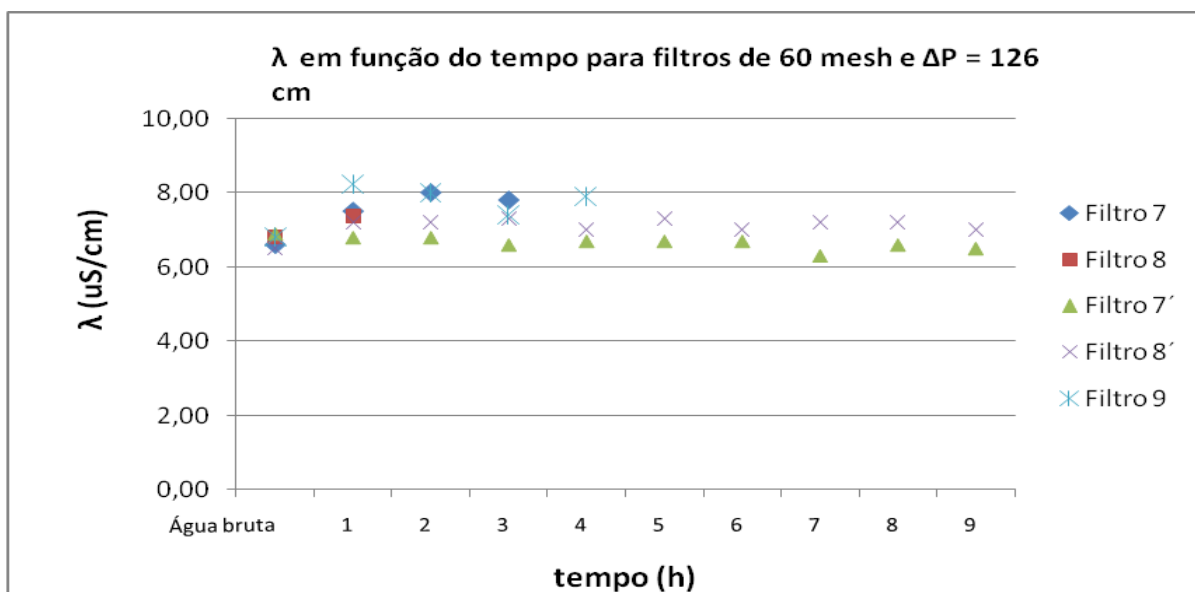
**Figura 4.10** - Variação da condutividade do filtrado em função do tempo (mesh 100;  $\Delta P = 86 \text{ cmH}_2\text{O}$ ).



**Figura 4.11** - Variação da condutividade do filtrado em função do tempo (mesh 100;  $\Delta P = 126 \text{ cmH}_2\text{O}$ ).



**Figura 4.12** - Variação da condutividade do filtrado em função do tempo (mesh 60;  $\Delta P = 86$  cmH<sub>2</sub>O).



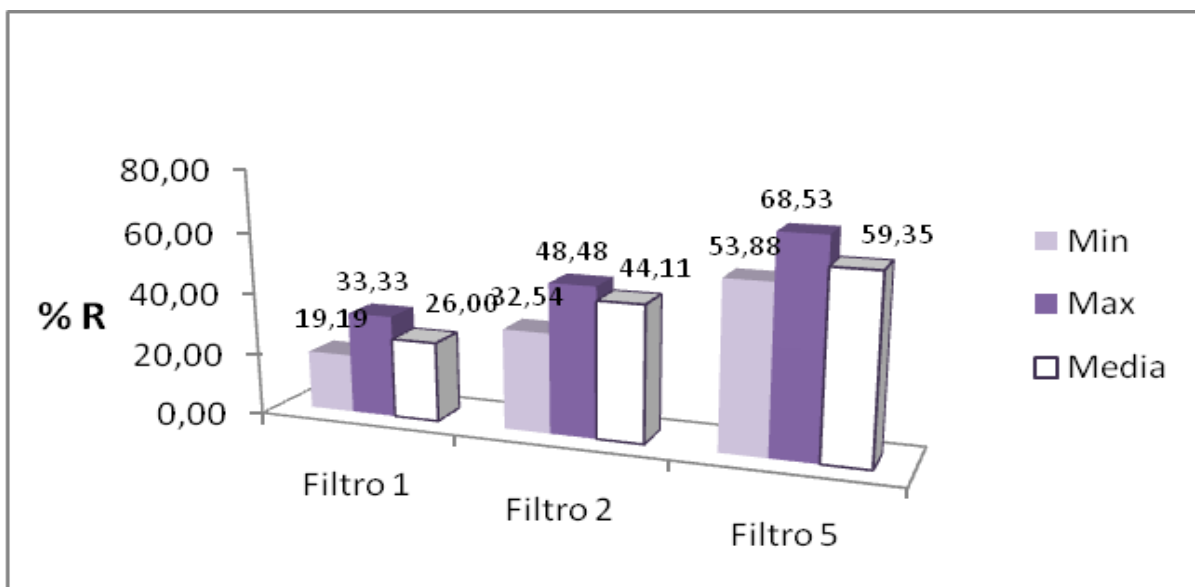
**Figura 4.13** - Variação da condutividade do filtrado em função do tempo (mesh 60;  $\Delta P = 126$  cmH<sub>2</sub>O).

#### 4.4 Remoção de orgânicos

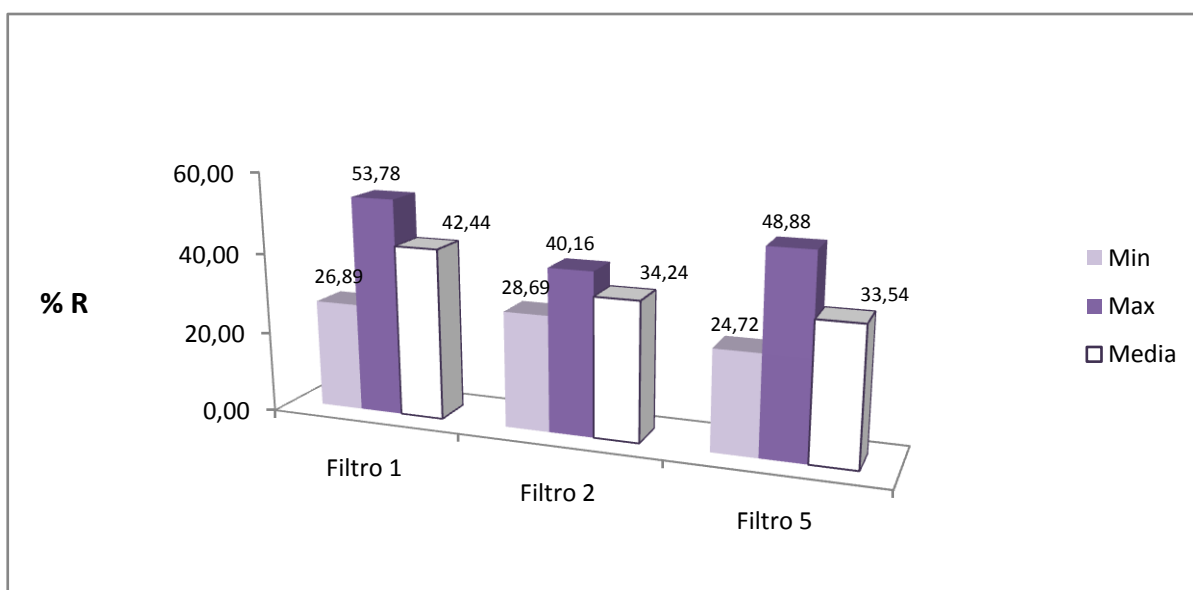
Observando-se as Tabelas 4.3 e 4.4, é possível construir as Figuras 4.14 e 4.15 que mostram, mais claramente, os resultados mínimo e máximo para o percentual de remoção de



orgânicos da água bruta usando filtros 1, 3 e 5 com mesh 48 para duas quedas de pressão distintas.



**Figura 4.14** - % de Remoção de compostos orgânicos (filtros de 48 # e  $\Delta P = 86 \text{ cmH}_2\text{O}$ ).

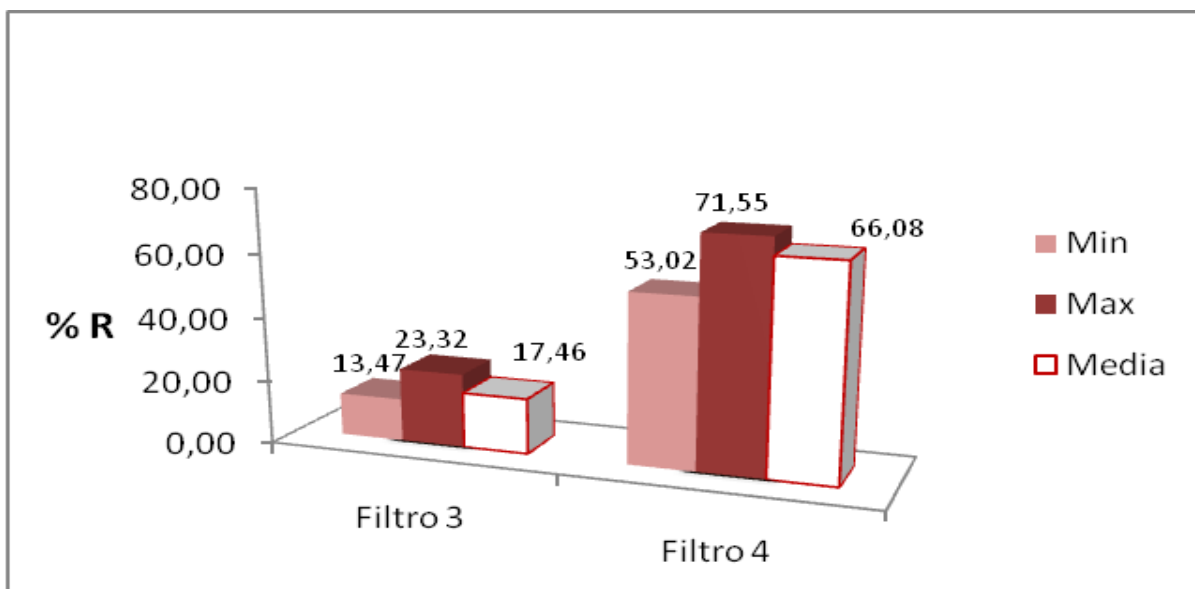


**Figura 4.15** - % de Remoção de compostos orgânicos (filtros de 48 # e  $\Delta P = 126 \text{ cmH}_2\text{O}$ ).

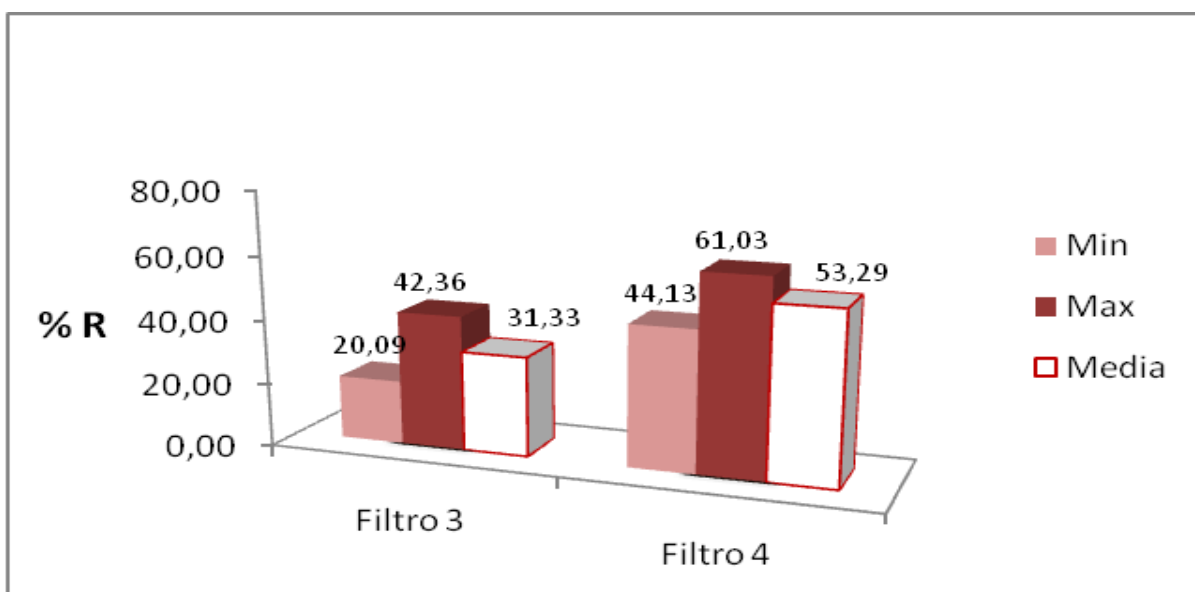
Identificou-se uma maior redução de compostos orgânicos no filtrado para os filtros 2 e 5 com  $\Delta P = 86 \text{ cmH}_2\text{O}$ . Porém, observa-se que no caso do filtro 1, a maior redução foi conseguida com a filtração realizada com a queda de pressão de  $\Delta P = 126 \text{ cmH}_2\text{O}$ .

Verificou-se nos três filtros, uma maior redução de compostos orgânicos nas amostras com maior valor de pH. O maior % de remoção foi no filtro 5 que apresentou massa

total de carvão granular reciclado maior (2,04 g), seguido do filtro 2 (1,82 g) e do filtro 1 (0,9 g). Já a taxa de filtrado (g/h) foi menor no filtro de maior % de remoção de compostos orgânicos.



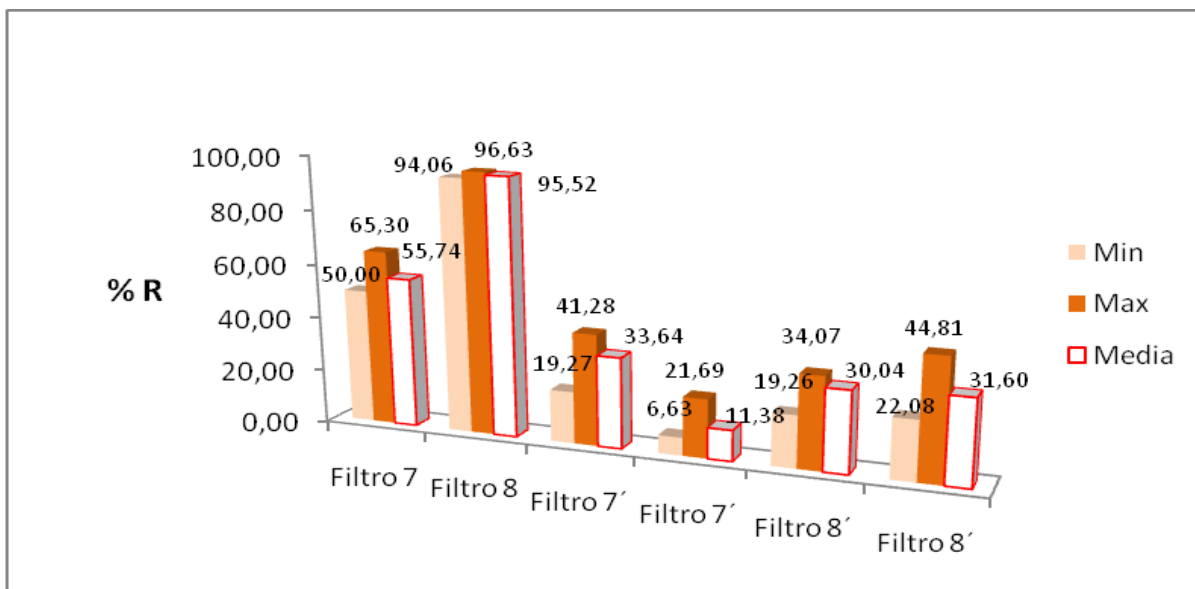
**Figura 4.16** - % de Remoção de compostos orgânicos (filtros de 100 # e  $\Delta P = 86 \text{ cmH}_2\text{O}$ ).



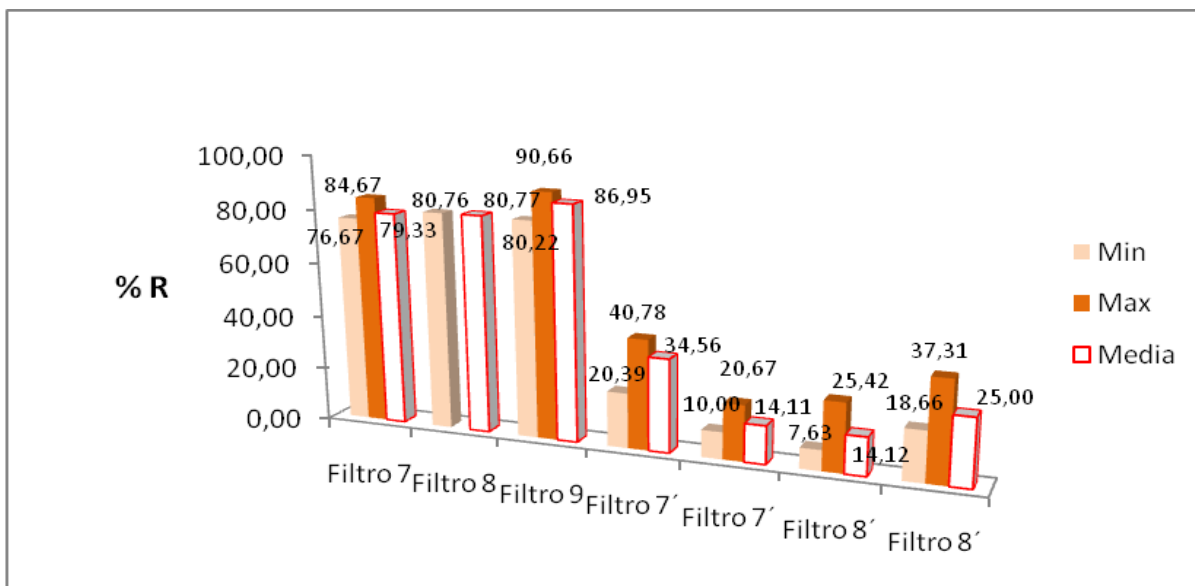
**Figura 4.17**- % de Remoção de compostos orgânicos (filtros de 100 # e  $\Delta P = 126 \text{ cmH}_2\text{O}$ ).

Observando as Figuras 4.16 e 4.17, percebe-se uma maior redução de orgânicos no filtro 4, que possui maior massa de carvão (1,65 g) e novamente pode-se perceber um % maior de redução no  $\Delta P = 86 \text{ cm H}_2\text{O}$ . Como nas análises do carvão de 48 mesh, o filtro 3

apresentou maior redução de MON nas amostras com maior valor de pH (6,95). Observou-se que as maiores taxas de filtrado (g/h) ocorreram no filtro 3 cujo % de remoção de orgânicos foi menor. Percebe-se com isso que uma maior eficiência durante o processo de filtração ocorre paralelamente uma diminuição no volume de filtrado.



**Figura 4.18** - % de Remoção de compostos orgânicos (filtros de 100 # e  $\Delta P = 86 \text{ cmH}_2\text{O}$ ).



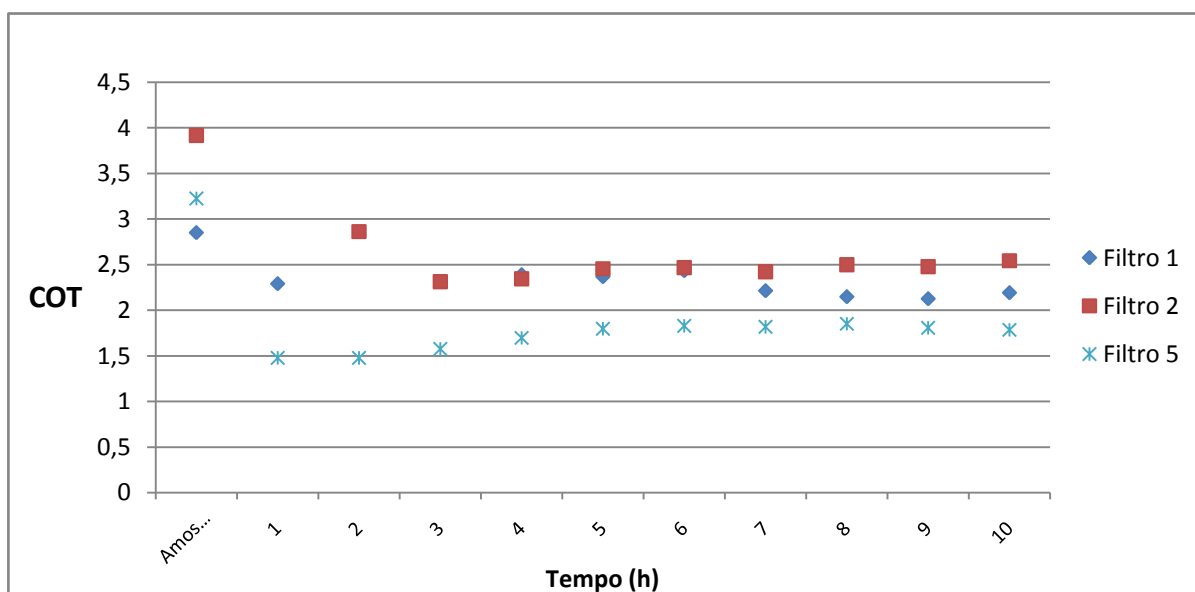
**Figura 4.19** - % de Remoção de compostos orgânicos (filtros de 100 # e  $\Delta P = 126 \text{ cmH}_2\text{O}$ ).

Através das Figuras 4.18 e 4.19, pode-se verificar nos experimentos com o filtro 8 e 9, valores de pH mais elevados e também um maior % de remoção de orgânicos, bem como foi observado nos demais experimentos. Os filtros 7, 8 e 9 tiveram valores inferiores na taxa de filtrado (g/h), o que também comprova uma melhora na eficiência durante a filtração, ou seja, maior o % de remoção. Observou-se que os filtros 7' e 8', que possuem menor massa de carvão (0,9 e 1,06 g), um percentual de remoção de orgânicos bem inferior aos demais filtros. De uma forma geral, assim como nos demais filtros e suas respectivas granulometrias, o percentual de remoção foi maior no  $\Delta P = 86 \text{ cmH}_2\text{O}$

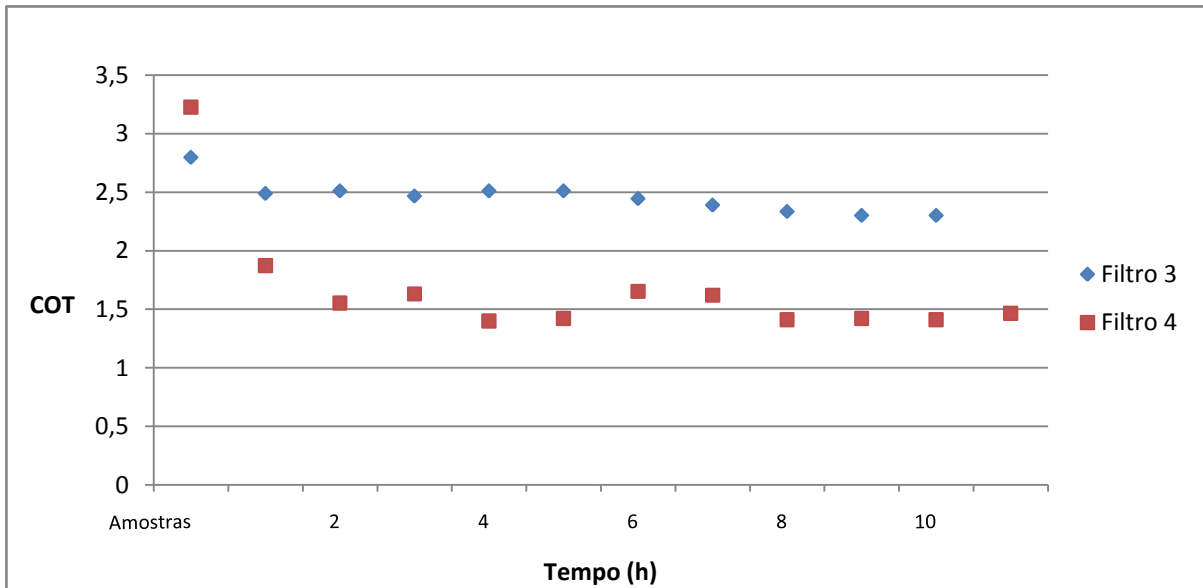
Em geral, de todos os filtros utilizados nos experimentos, quatro deles tiveram um percentual de remoção de orgânicos maior na 2ª utilização, ou seja após um processo de filtração, o que demonstra uma reprodutibilidade eficiente.

#### 4.5 Carbono Orgânico Total (COT)

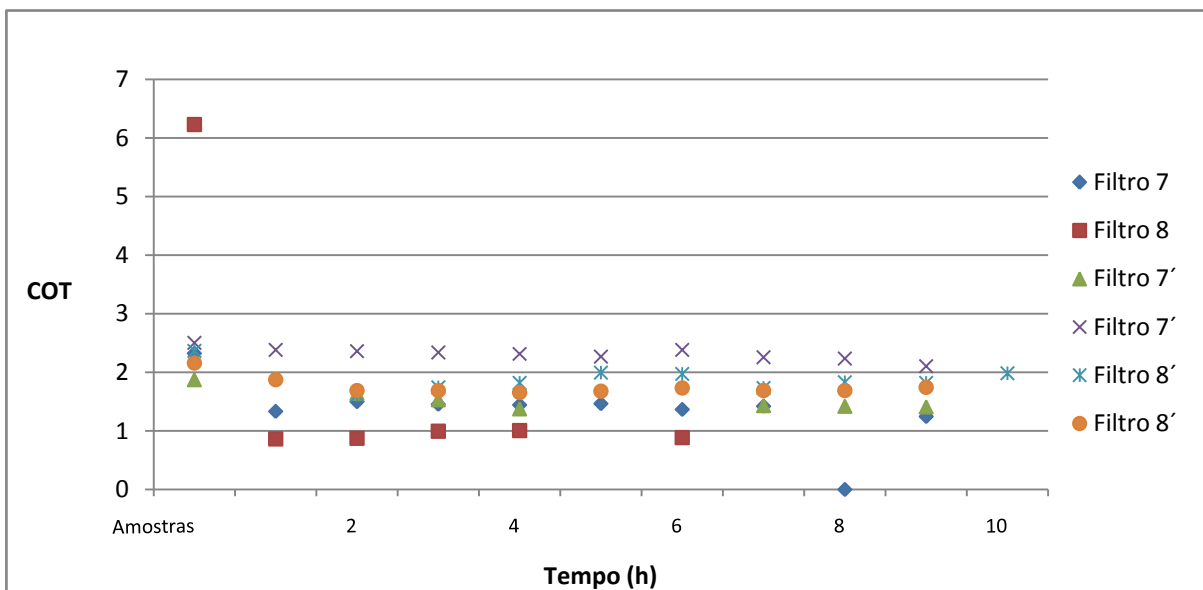
Através dos resultados de absorvância do filtrado em função do tempo, conforme descrito no Capítulo 3, utilizou-se a Equação 02 (SULAYMON *et al.*, 2009) para o cálculo do carbono orgânico total. Alguns resultados estão exibidos nas Figuras 4.20-4.24. O primeiro ponto experimental do gráfico representa o valor da concentração de carbono na amostra inicial que deverá ser filtrada utilizando o filtro de carbono granular reciclado.



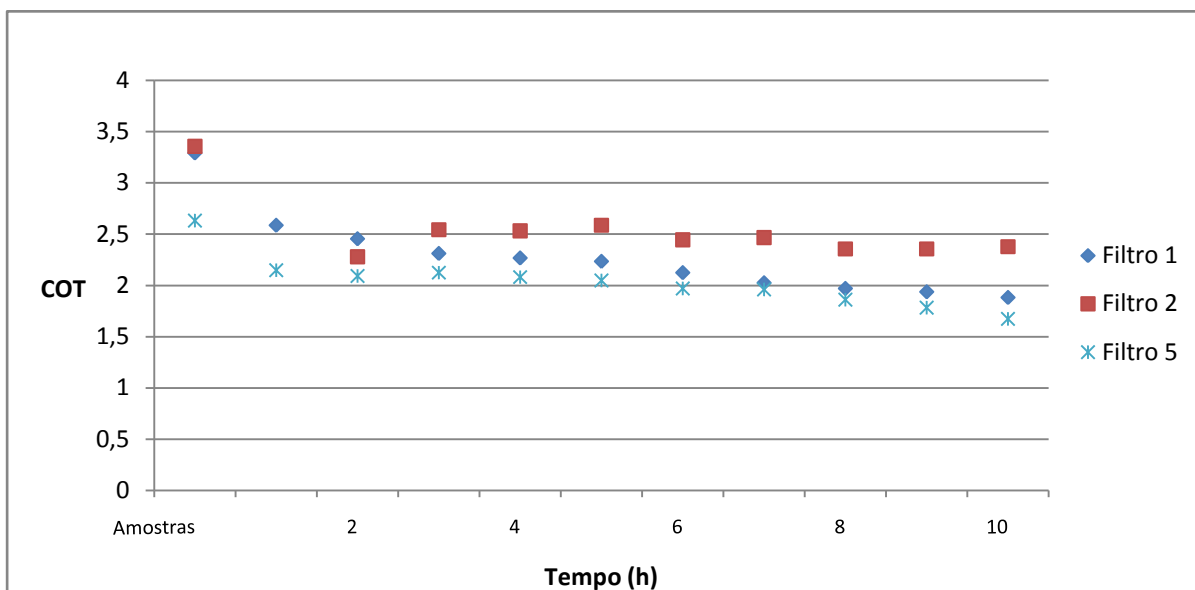
**Figura 4.20** - Concentração de carbono no filtrado em função do tempo de filtração ( $\Delta P = 86 \text{ cmH}_2\text{O}$ ).



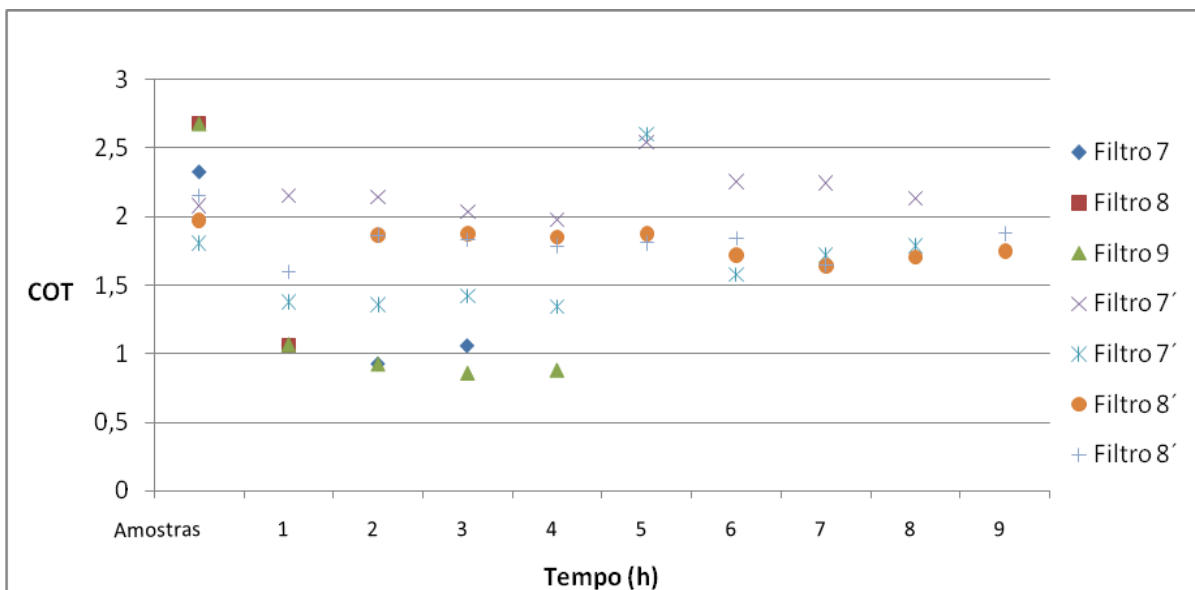
**Figura 4.21** - Concentração de carbono no filtrado em função do tempo ( $\Delta P = 86 \text{ cmH}_2\text{O}$ ).



**Figura 4.22** - Concentração de carbono no filtrado em função do tempo ( $\Delta P = 86 \text{ cmH}_2\text{O}$ ).

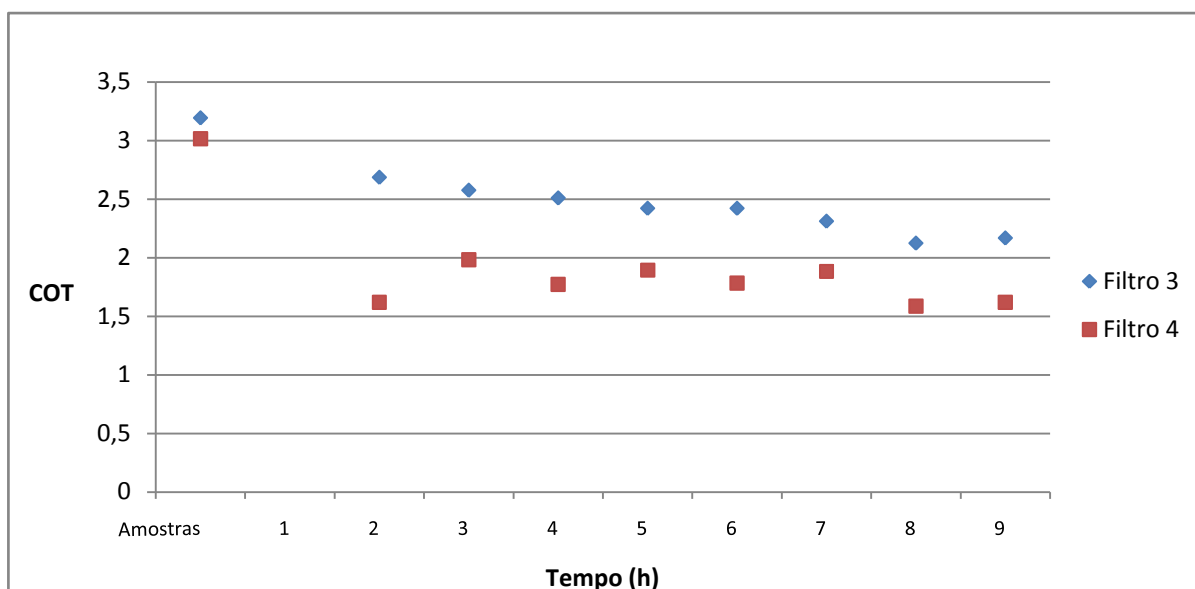


**Figura 4.23** - Concentração de carbono no filtrado em função do tempo ( $\Delta P = 126 \text{ cmH}_2\text{O}$ ).



**Figura 4.24** - Concentração de carbono no filtrado em função do tempo ( $\Delta P = 126 \text{ cmH}_2\text{O}$ ).

De uma maneira generalizada, verificou-se uma redução em todos os experimentos do COT, o que sinaliza num aspecto positivo para o uso do filtro de carvão reciclado.



**Figura 4.25** - Concentração de carbono no filtrado em função do tempo ( $\Delta P = 126 \text{ cmH}_2\text{O}$ ).

Fica evidenciado, pelas Figuras 4.20-4.25, que existe uma tendência do valor de COT (carbono orgânico total da amostra) a se tornar, relativamente, constante para o período de filtração estudado. Dessa forma, nota-se que o uso continuado do filtro para obter mais filtrado com esse teor de carbono final (COT) deveria ser encorajado, se não houvesse, como já comentado e discutido, uma grande redução na quantidade de filtrado coletada. Esse último fator inviabiliza que o filtro seja utilizado por dias consecutivos sem qualquer limpeza eventual.

## CAPÍTULO 5 – CONCLUSÃO

### 5.1 Conclusão

A partir dos resultados obtidos, pode-se concluir que o sistema de filtração por gravidade, utilizando carvão ativado reciclado, conseguiu remover, consideravelmente, parte dos compostos orgânicos da água do rio, reduzindo a quantidade de matéria orgânica natural (MON) presente na água.

Observou-se que o filtro que apresentou melhor resultado em termos de eficiência na remoção de orgânicos associada a uma razoável quantidade de filtrado foi o que possuía granulometria de carvão de mesh 60 para queda de pressão ( $\Delta P$ ) de 86 cmH<sub>2</sub>O.

Pode-se verificar que filtros mais compactados removem um maior percentual de compostos orgânicos, no entanto, a produção de filtrado no período de processo, fica prejudicada.

A queda de pressão no filtro parece não influenciar substancialmente na taxa de produção de filtrado com exceção do filtro 7'.

O pH e a condutividade do filtrado ( $\lambda$ ) permaneceram inalterados no processo de filtração com carvão ativado reciclado. De qualquer forma, pelos índices desses parâmetros, não seria necessária nenhuma correção adicional já que os valores de pH e condutividade estão dentro da faixa recomendada para uso da água.

Finalmente, deve-se ressaltar que o processo de filtração é simples, de baixo custo porque não requer eletricidade e ainda se utiliza carvão ativado reciclado. Com esse estudo, foi observado a importância do uso de alternativas econômicas, como no caso de filtros de carbono reciclado e que apresentam alguma aplicação antes de serem descartados. Desse modo, o emprego do filtro de carvão reciclado como adsorvente de baixo custo e com bom potencial na remoção de compostos orgânicos presentes na água, pode ser aplicado em regiões periféricas onde ainda inexiste o fornecimento de água tratada.



## 5.2 Sugestões para trabalhos futuros

Verificada a interessante e encorajadora aplicabilidade do filtro de carvão reciclado para se reduzir matéria orgânica, nota-se que, do ponto de vista experimental, pode-se aprimorar alguns pontos importantes dos estudos nessa linha, quais sejam:

- (1) Repetir experimentos com o mesmo filtro para as mesmas condições de queda de pressão com o uso de uma nova massa de carvão, mas com mesma massa anterior. Pode-se chamar esse ensaio de teste de reprodutibilidade.
- (2) Usar sistema contínuo fazendo o bombeamento da água através do filtro. Usar bomba dosadora que é mais econômica.
- (3) Construir filtros com maior área transversal, ou seja, que comporta maior massa de carvão para observar a produção de filtrado.
- (4) Construir uma curva de calibração para cálculo de MON utilizando a água do rio Uberabinha e seguindo a orientação do Standard Methods.
- (5) Tratar o filtrado, quimicamente, visando uma maior redução de MON.
- (6) Analisar concentração de coliformes totais do filtrado e da amostra inicial de água do rio de forma a dirimir as possibilidades de uso do filtrado produzido no processo.
- (7) Realizar análise estatística dos resultados.

## CAPÍTULO 6 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMIRTHARAJAH, A.; MILLS, K.M. Rapid-mix design for mechanisms of alum coagulation. JAWWA, v. 74, n.4, p. 210-216. 1982.

ANDREOLA, R. Análise da formação de trihalometanos em uma estação de tratamento de água com base nas quantidades máxima e mínima de matéria orgânica presentes na água *in-natura*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 23, 2005, Campo Grande. Anais... Campo Grande: Abes, 2005. 18p. CD/ROM.

APHA, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20 ed., Washington, DC, 1998.

APHA; AWWA; WEF. Standard methods for the examination of water and wastewater. 20. ed. Washington: American Public Health Association, p.555-568. 1999.

AZEVEDO, J.C.; TEIXEIRA M. C.; NOZAKI J. Estudo espectroscópico de substâncias húmicas extraídas da água, solos e sedimentos da lagoa dos Patos–MS, Brasil. SaBios-Rev. Saúde e Biol., v. 1, n. 2, p. 59-71. 2006.

BAIRD, C. Química Ambiental, 2 ed., Porto Alegre, Bookman. 2002.

BAZZOLI, N. O Uso da Desinfecção no Combate à Cólera. Apostila da Fundação Nacional de Saúde – Coordenação Regional de Minas Gerais. Recife: FNS/Opas. (Mimeo.), 1993.

BONEBERG, D. G.; PIMENTA, P.S.; REVOLTA, B.S.; FRANCO JR. M.R. Removing organic compounds in water Uberabinha by activated carbon filtration on recycled. Science of the Total Environment . 2012 (submetido).

BONEBERG, D. G.; PIMENTA, P.S.; REVOLTA, B.S; FRANCO JR. M.R. Removing organic compounds in water Uberabinha by activated carbon filtration on recycled. Chinese Journal of Chemical Engineering, 2013 (em análise).

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 518, de 25 de março de 2004. Brasília, 2004.

BROWN, G.G. Oparaciones Básicas de la Ingenieria Química. España: Editorial Marin, S.A, 1965.

BRUM, M.C. Remoção de ácido húmico da água por precipitação e flotação com a utilização de surfatantes catiônicos. 61 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Materiais) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

BUFFLE, J. Complexation reactions in aquatic systems. An analytical approach. New York. Ellis Horwood, 1990.

CANCHO, V.; VENTURA, B. Optmization of methods for the determination of DBPs. Global NEST Journal, Vol 7, No 1, p. 72-94, 2005.

CARVALHO, M. J. H. Uso de coagulantes naturais no processo de obtenção de água potável. Dissertação de Mestrado, Engenharia Urbana, Universidade Estadual de Maringa – UEM, Maringa, 2008.

CHEN, C.; ZHANG, X.; HE, W.; LU, W.; HAN, H. Comparison of seven kinds of drinking water treatment processes to enhance organic material removal: a pilot test. Sci. Total Environ. 382, p. 93-102. 2007.

CLAUDINO, A. Preparação de carvão ativado a partir de turfa e sua utilização na remoção de poluentes. 101 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Fedral de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

COBLE, P.G. Characterisation of marine and terrestrial DOM in seawater using excitation-emission spectroscopy. Marine Chemistry, Amsterdam, V.51, p. 325-346, 1996.

CRITTENDEN, J.C.; TRUSSELL, R.R.; HAND, D.W.; HOWE, K.J.; TCHOBANOGLIOUS, G. Water Treatment - Principles and Design. 2. Ed. USA: John Wiley & Sons, 2005.

CRINI, G. Non-conventional low-cost adsorbents for dye removal: A review. Bioresour. Technol., 97, p. 1061-1085. 2006.

DAIFULLAH, A.A.M.; GIRGIS, B.S.; GADA H.M.H. A study of the factors affecting the removal of humic acid by activated carbon prepared from biomass material. Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects, v. 235, p.1-10. 2004.

DE SALVO, M. T. Redução de precursores de trihalometanos por coagulação otimizada. 186f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Civil, Universidade de Campinas, Campinas, 2002.

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A.D. Desinfecção e Oxidação. Métodos e Técnicas de tratamento de água. São Carlos: Rima,v.2, p. 1163-1205. 2005.

DI BERNARDO, L; DI BERNARDO, A.S; CENTURIONE FILHO, P.L. Ensaio de tratabilidade de água e dos resíduos gerados em Estações de tratamento de água. São Carlos, RiMa, p. 237. 2002.

EDZWALD, J. K. Coagulation in drinking water treatment: particles, organics and coagulants. Water Science & Technology, Great Britain, v.27, n.11, p. 21-35, 1993.

FERREIRA FILHO, S. S. Remoção de compostos orgânicos precursores de subprodutos da desinfecção e seu impacto na formação de trihalometanos em águas de abastecimento. Abes, Rio de Janeiro, v.6, n.2, p. 53-60. 2001.

FOLEY,J.; BATSTONE, D.; KELLER, J. The R&D Challenges of Water Recycling – Technical and Environmental Horizons. In: Proceedings of the 3<sup>rd</sup> Australian Water Association Water Reuse and Recycling Conference, Sydney, Australia, p.16-18. 2007.

FOUST, A. S; WENZEL L.A; CLUMP C.W; MAUS L; ANDERSEN L.B. Princípios das Operações Unitárias. Rio de Janeiro, LTC, 2ª edição, 1982.

FUNASA – MINISTERIO DA SAUDE/FUNDAÇÃO NACIONAL DA SAÚDE. Cianobactérias Tóxicas na Água para Consumo Humano. Impactos na Saúde Pública e Processos de Remoção em Água para Consumo Humano. FUNASA/MS, Brasília, Brasil, 56p. 2003.

FRIMMEL, F.H. Characterization of natural organic matter as major constituents in aquatic systems. Journal of Contaminant Hydrology, V.35, p. 201-216. 1998.

GALLARD, H.; VON GUNTEN, U. Chlorination of natural organic matter: kinetics of chlorination and THM formation. Water Research, Suíça, v.36, p.65-74. 2002.

GOMIDE, R. Operações Unitárias. São Paulo, Ed do Autor ,vol. 3, 1980.

GUSSO P.K. Caracterização fluorimétrica da matéria orgânica dissolvida e sua relação autóctone/alóctone na baía de Paranaguá – Curitiba. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Conservação) Universidade federal do Paraná, 106f. 2008.

HUR, J.; WILLIAMS, M.A.; SCHLAUTMAN, M.A. Evaluating spectroscopic and chromatographic techniques to resolve dissolved organic matter via end member mixing analysis. Chemosphere 63, p. 387- 402. 2006.

ICHIHASHI, K.; TERANISHI, K.; ICHIMURA, A., Brominated trihalomethane formation in halogenation of humic acid in the coexistence of hypochlorite and hypobromite ions. *Water Research*, v.33, n.2, p 477-483. 1998.

ISAAC, R. I. Controle de Trihalometanos em Sistemas de Abastecimento: Remoção por Adsorção em Colunas de Carvão Ativado Granular em Estação de Tratamento de Água. Dissertação de Mestrado, Engenharia Hidráulica, USP, 1993.

JONES, M.N., BRYAN, N.D. Colloidal properties of humic substance, Advances in Colloid and Interface Science, v.78, pp.1-48. 1998.

KHORDAGUI, H. K. & MANCY, H. K. Formation of Trihalomethanes During Disinfection of Drinking Water. Water Quality Bulletin, 8: 37-43. 1983.

KONRADT-MORAES, L. C. K. Estudos dos processos de coagulação e floculação seguidos de filtração com membranas para obtenção de água potável. Tese de Doutorado. Departamento de Engenharia Química/UEM, Maringá, PR, Brasil, 2009.

KORSHIN, G.V.; LI, C.W.; BENJAMIN, M.M. Monitoring the properties of natural organic matter through UV spectroscopy: A consistent theory. Water Research, V.31, n.7, p.1787-1795.1997.

KOSTOPOULOU, M. N.; GOLFINOPOULOS, S. K.; NIKOLAOU, A. D.; XILOURGIDIS, N. K.; LEKKAS, T. D. Volatile organic compounds in the surface waters of Northern Greece. Chemosphere, 40, p. 527-532. 2000.

KURODA, E.K. Remoção de células e subprodutos de microcystis spp por dupla filtração, oxidação e adsorção. 267 f. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

LAUBUSCH, E. J. Chlorination and other disinfection processes. In: Water Quality and Treatment: A Handbook of Public Water Supplies (American Water Works Association), , New York: McGraw-Hill Book Company. p. 158-224. 1971.

LETTERMAN, R.D. Water quality and treatment: a handbook of community water supplies. 5 Ed. New York: McGraw-Hill: American Water Works Association, 1 v. 1999.

LOMBARDI, A.T., JARDIM, W.F. Fluorescence spectroscopy of high performance liquid chromatography fractionated marine and terrestrial organic materials. Water Research, Amsterdam, V.33, p.512-520.1999.

MACÊDO, J.A.B. Formação de trihalometanos em soluções sanificantes utilizadas no processo de desinfecção de indústrias de alimentação. *Revista Técnica da Sanepar*, v.17, n.17, p.31-48. 2002.

MARMO, R. M. Formação e remoção de trihalometanos em águas de abastecimento tratadas, na pré-oxidação, com cloro livre. Faculdade de Engenharia Civil, Universidade de Campinas, Dissertação de Mestrado. São Paulo, Campinas, 2005.

MATILAINEN, A., SILLANPÄÄ, M. Removal of natural organic matter from drinking water by advanced oxidation processes. *Chemosphere* 80, p. 351–365. 2010.

MATILAINEN, A., GJESSING E.T., LAHTINEN T. , HED L., BHATNAGAR A., SILLANPÄÄ M. An overview of the methods used in the characterization of natural organic matter (NOM) in relation to drinking water treatment. *Chemosphere* 83, p. 1431-1442. 2011.

MATILAINEN, A.; IIVARI, P.; SALLANKO, J.; HEISKA, E.; TUHKANEN, T. The role of ozonation and activated carbon filtration in the natural organic matter removal from drinking water. *Environ. Technol.* 27, p. 1171-1180. 2006.

MATILAINEN, A., VEPSÄLÄINEN, M., SILLANPÄÄ, M. Natural organic matter removal by coagulation during drinking water treatment: a review. *Adv. Colloid Interface* p. 159, p. 189–197. 2010.

MCCABE, W. L.; SMITH, J. C.; HARRIOT, P.; Operaciones unitárias en ingeniería química. Madrid: MacGraw-Hill, 1991.

MC KNIGHT, D.M.; BOYLE, E.W.; WESTWE HOFF, P.K.; DORAN, P.T.; KULBE,T.; ANDERSON, D.T. Spectrofluometric characterization of dissolved organic matter for the identification of precursor organic material and aromaticity. *Limnology and Oceanography*, V.46, p.38-48. 2001.

MENDES, C. G. N. Tratamento de águas para consumo humano – Panorama mundial e ações do PROSAB. In: PADUA, V. L., de (coord.). Contribuição ao estudo da remoção de cianobactérias e microcontaminantes orgânicos por meio de técnicas de tratamento de água para consumo humano. ABES. Rio de Janeiro, 2006.

MEYER, S. T. O uso de cloro na desinfecção de águas, a formação de trihalometanos e os riscos potenciais à saúde pública. Caderno de Saúde Pública, Rio de Janeiro, p. 99-110. 1994.  
MOPU – MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS Y URBANISMO. Guia para laboracion de estudios del medio fisico: contenido y metodologia. Madrid, Espanha. GEOTEMA, 572p. 1985.

MULLER, C.C. Avaliação da utilização de carvão ativado em pó na remoção de microcistina em água para abastecimento público. 121 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia). Instituto de Biociências, Universidade Federal do rio Grande do sul, Porto Alegre, 2008.

NOBUKAWA, T., SANUKIDA, S. Effect of bromide ions on genotoxicity of halogenated by-products from chlorination of humic acid in water. *Water Research*, v.35, n.18, p. 4293-4298. 2001.

OLIVEIRA, L.R., OLIVEIRA, V.M.F., FRANCO JR., M.R., BINDES, M.M. Análise dos efeitos de descargas de origem urbana na qualidade da água de um trecho de rio. In: II CONGRESSO INTERNACIONAL DE MEIO AMBIENTE SUBTERRÂNEO. São Paulo-SP, 2011.

OLIVEIRA, L.R., OLIVEIRA, V.M.F., FRANCO JR., M.R., BINDES, M.M.; Influência das atividades antrópicas na qualidade da água de um trecho de córrego urbano. In: I WORKSHOP EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS UNESP CAMPUS SOROCABA, Sorocaba - Sp. Livro de Resumos Extendidos, 2011b. p. 127-129. 2011.

OMRI-ORGANIC MATERIALS REVIEW INSTITUTE, Activate carbon processing. Disponível em: [http://www.omri.org2fac\\_processing.pdf](http://www.omri.org2fac_processing.pdf). Acesso em: 27/03/11.



PERRY, R. Materiais Orgânicos Importantes no Ciclo da Água – Escoamento de Resíduos Industriais. I Seminário Anglo-Brasileiro de Controle Ambiental. São Paulo: British Council. (Mimeo.), 1983.

ROCHA, J.C.; SARGENTINIJR.,E.; ZARA,L.F; ROSA,A.H.; SANTOS,A.; BURBA,P. Reduction of mercury (II) by tropical river humic substances (Rio Negro): a possible process of the mercury cycle in Brazil. Talanta, n. 53, p.551-559, 2000.

RODRIGUES, SILVA M. C.P. ALVAREZ M., COUTINHO, A. R.; THIMA, G. P. Removal from aqueous solution by activated carbon produced from avocado kernel seeds. Chemical Engineering Journal, p.49- 57. 2011.

ROMÃO, L.P.C. Utilização da ultrafiltração em fluxo tangencial como nova metodologia para determinação da capacidade de complexação e constantes de equilíbrio de íons Cu(II) complexados por matéria orgânica natural. Instituto de Química de Araraquara, UNESP, Tese de doutoramento, 2003.

ROSA, A.H.; GOVEIA, D.; BELLIN, I.C.; TONELLO, P.C.; ANTUNES, M.L.P.;DIAS FILHO, N.L.; RODRIGUES FILHO, U.P. Estudo da labilidade de Cu(II),Cd(II), Mn(II) e Ni(II) em substâncias húmicas utilizando-se membranas celulósicas organomodificadas. Química Nova, v .30, n. 1, p. 59-65, 2007.

SANTOS A.C. Caracterização de interações entre matéria orgânica natural e íons metálicos por ultrafiltração em fluxo tangencial com múltiplos estágios. 2009. 60 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2009.

SANTOS, C. L. Trihalometanos Resumo Atual. Engenharia Santiária, 26: p.190-194. 1987.

SANTOS, C. L. O Controle de Trihalometanos (THM) nas Águas de Abastecimento Público. Tese de Mestrado, São Paulo: Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, 1989.

SENESI, N.; DÓRAZIO, V. Fluorescence spectroscopy. Universitadi Bari, Italy. Elsevier Ltd All Rights reserd, 2005.

SINGER, P.C., 1999, Humic substances as precursors for potentially harmful disinfection by-products. Water Science & Technology, v.40, n 9, p.25-30.

STUMM, W., MORGAN, J.J, 1981, Aquatic chemistry: an introduction emphasizing chemical equilibria in natural waters, New York, John Wiley.

SULAYMON A. H., ALI A.M., AL-NASERI S.K. Natural organic matter removal from Tigris River water in Baghdad, Iraq. Science Direct. Desalination 245, p. 155-168. 2009.

TAN, K.H. Humic matter in soil and the environment; principles and controversies. New York. Marcel Dekker, 2003.

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.

THURMAN, E. M. Organic geochemistry in natural waters. Dordrecht: Martinus Nijhoff, 1985.

TUNDISI, J. G.; TUNDISI, T. M. Limnologia. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

VAN BREMEM, J. Water Quality. International Course in Sanitary Engineering. Delft: IHE/International Institute for Infrastructural, Hydraulic and Environmental Engineering (Mimeo). 1984.

WESTERHOFT , P.; ANNING, D. Concentration and characteristics of organic carbon in surface water in Arizona: influence of urbanization. Journal of Hydrology, V.236, p.202-222, 2002.

ZHANG, X., BAI, R. Mechanisms and kinetics of humic acid adsorption onto chitosan – coated granules”, Journal of Colloid and Interface Science. v.264, p.30-38, 2003.

APÊNDICE 01 – Tabelas A1 - Resultados dos experimentos: Filtro 01 ( $\Delta P = 87 \text{ cmH}_2\text{O}$ )

Filtro 1 $\Delta P = 86 \text{ cm H}_2\text{O}$							
Data: 15/06/2012							
Amostra de água bruta	T (°C)	$\alpha$	$\alpha$		pH	$\lambda$ (uS)	COT (mg/L)
			Media	Desvio padrão			
	25,5	0,06	0,06	0,002	6,73	6,14	2,85
		0,06					
		0,06					

tempo	T (°C)	$\alpha$	$\alpha$		pH	pH		$\lambda$ (uS)	massa (g)	% R	COT (mg/L)
			Media	Desvio Padrão		Media	Desvio padrão				
09:19	24,5	0,047	0,049	0,003	7,15	7,23	0,11	6,1	420,5	25,76	2,29
		0,052			7,31			6,1			
		0,048			-			6,1			
10:19	24,2	0,052	0,052	0	6,95	6,91	0,04	6,1	237,37	21,21	2,39
		0,052			6,91			6,3			
		0,052			6,87			6,3			
11:19	24,2	0,051	0,051	0,001	7,06	7,04	0,02	6,3	-	22,22	2,37
		0,052			7,03			6,3			
		0,051			7,04			6,4			
12:19	24,3	0,054	0,053	0,001	6,85	6,86	0,02	6,6	139,75	19,19	2,43
		0,054			6,85			6,4			
		0,052			6,88			6,6			
13:19	24,3	0,044	0,047	0,003	6,91	6,92	0,08	6,4	107,27	29,29	2,21
		0,046			6,85			6,3			
		0,05			7,01			6,4			
14:19	24,3	0,043	0,045	0,004	7,16	7,14	0,03	6,1	92,54	32,32	2,15
		0,042			7,1			6,4			
		0,049			7,16			6,3			
15:19	24,2	0,045	0,044	0,001	7,18	7,08	0,09	6,3	73,21	33,33	2,13
		0,043			7,07			6,4			
		0,044			7			6,4			
16:19	24,3	0,046	0,046	0,002	7,26	7,17	0,08	6,6	60,7	30,3	2,19
		0,044			7,16			6,7			
		0,048			7,1			6,8			

%R médio = 26,70

Total da massa de filtrado (g) = 1131,34

Taxa de filtrado (g/h) = 141,4

APÊNDICE 02 – Tabelas A2 - Resultados dos experimentos: Filtro 01 ( $\Delta P = 126 \text{ cmH}_2\text{O}$ )

<b>Filtro 1</b>									
<b><math>\Delta P = 126 \text{ cm H}_2\text{O}</math></b>									
Data: 18/07/2012									
Amostra de água bruta	T (°C)	$\alpha$	$\alpha$		pH	pH		$\lambda$ (uS)	COT (mg/L)
			Media	Desvio padrão		Media	Desvio padrão		
	20,9	0,08	0,079	0,00058	7,08	7,07	0,02	11	3,292
		0,079			7,04				
		0,079			7,08				

tempo	T (°C)	$\alpha$	$\alpha$		pH	pH		$\lambda$ (uS)	massa (g)	% R	COT (mg/L)
			Media	Desvio padrão		Media	Desvio padrão				
08:42	20,8	0,058	0,058	0,000	7,04	7,09	0,05	10,4	784,46	26,89	2,59
		0,058			7,14						
		0,058			7,1						
09:42	20,9	0,054	0,054	0,000	7,33	7,23	0,08	9,8	485,81	31,93	2,46
		0,054			7,19						
		0,054			7,18						
10:42	20,9	0,049	0,050	0,000	7,2	7,23	0,03	9,6	342,57	37,39	2,31
		0,05			7,25						
		0,05			7,23						
11:42	20,9	0,048	0,048	0,000	7,16	7,2	0,04	9,6	247,73	39,08	2,27
		0,049			7,23						
		0,048			7,21						
12:42	20,9	0,048	0,047	0,000	7,23	7,23	0,01	9,6	194,7	40,34	2,24
		0,047			7,23						
		0,047			7,22						
13:42	20,9	0,045	0,044	0,001	7,18	7,2	0,02	9,5	163,3	44,54	2,13
		0,044			7,22						
		0,043			7,2						
14:42	21,0	0,041	0,041	0,001	7,19	7,18	0,02	9,4	130,96	48,32	2,03
		0,04			7,18						
		0,042			7,16						
15:42	21,0	0,039	0,039	0,000	7,2	7,21	0,01	9,6	118,86	50,42	1,97
		0,039			7,22						
		0,04			7,21						
16:42	21,0	0,038	0,038	0,000	7,25	7,24	0,01	9,6	109,67	51,68	1,94
		0,038			7,24						
		0,039			7,23						
17:42	21,0	0,036	0,037	0,001	7,24	7,24	0,02	9,5	102,03	53,78	1,88
		0,038			7,25						
		0,036			7,22						

%R médio = 42,44

Total da massa de filtrado (g) = 2680,09

Taxa de filtrado (g/h) = 268,009

APÊNDICE 03 – Tabelas A3 - Resultados dos experimentos: Filtro 02 ( $\Delta P = 86 \text{ cmH}_2\text{O}$ )

<b>Filtro 2</b>									
<b><math>\Delta P = 86 \text{ cm H}_2\text{O}</math></b>									
Data: 21/06/2012									
Amostra de água bruta	T (°C)	$\alpha$	$\alpha$		pH	pH		$\lambda$ (uS)	COT (mg/L)
			Media	Desvio padrão		Media	Desvio padrão		
	24,2	0,09	0,09	0,007	6,76	6,94	0,11	6,5	3,91
		0,09			7,03				
		0,09			6,89				
		0,1			6,89				
		0,1			7,04				
		0,1			7,01				

tempo	T (°C)	$\alpha$	$\alpha$		pH	pH		$\lambda$ (uS)	massa (g)	% R	COT (mg/L)
			Media	Desvio padrão		Media	Desvio padrão				
09:35	23,2	0,06	0,06	0,001	7,04	7,13	0,1	6,6	180,95	32,54	2,86
		0,06			7,13						
		0,06			7,23						
10:35	23,2	0,04	0,05	0,001	7,16	7,22	0,05	6,5	211,64	49,49	2,31
		0,05			7,25						
		0,05			7,25						
11:35	23,4	0,051	0,05	0,001	7,06	7,1	0,05	6,6	235,86	48,47	2,35
		0,051			7,16						
		0,05			7,08						
12:35	23,5	0,053	0,05	0,001	7,16	7,15	0,01	6,6	284,75	45,08	2,46
		0,055			7,16						
		0,054			7,14						
13:35	23,6	0,054	0,05	0,001	7,19	7,17	0,02	6,7	277,84	44,75	2,47
		0,054			7,16						
		0,055			7,16						
14:35	23,8	0,053	0,05	0	7,2	7,18	0,02	6,5	250,61	46,1	2,42
		0,053			7,16						
		0,053			7,19						
15:35	24,4	0,056	0,05	0,001	7,06	7,09	0,03	6,3	231,22	43,73	2,5
		0,055			7,1						
		0,055			7,12						
16:35	24,4	0,055	0,05	0,001	7,05	7,08	0,03	6,6	220,86	44,41	2,48
		0,054			7,1						
		0,055			7,08						
17:35	24,4	0,057	0,05	0,001	7,12	7,13	0,01	6,8	199,38	42,37	2,54
		0,056			7,12						
		0,057			7,14						

%R médio = 44,11

Total da massa de filtrado (g) = 2093,11

Taxa de filtrado (g/h) = 232,56

APÊNDICE 04 – Tabelas A4 - Resultados dos experimentos: Filtro 02 ( $\Delta P = 126 \text{ cmH}_2\text{O}$ )

Filtro 2 $\Delta P = 126 \text{ cm H}_2\text{O}$									
Data: 22/06/2012									
Amostra de água bruta	T (°C)	$\alpha$	$\alpha$		pH	pH		$\lambda$ (uS)	COT (mg/L)
			Media	Desvio padrão		Media	Desvio padrão		
	24,2	0,082	0,081	0,001	6,03	6,27	0,30	6,60	3,358
		0,081			6,17				
		0,081			6,6				

tempo	T (°C)	$\alpha$	$\alpha$		pH	pH		$\lambda$ (uS)	massa (g)	% R	COT (mg/L)
			Media	Desvio padrão		Media	Desvio padrão				
09:35	23,8	0,049	0,049	0,002	7,06	7,02	0,036	6,60	439,4	40,16	2,28
		0,05			6,99						
		0,047			7,01						
10:35	23,8	0,057	0,057	0,001	7,06	7,037	0,025	6,60	442,55	30,33	2,54
		0,057			7,04						
		0,056			7,01						
11:35	23,8	0,056	0,056	0,001	7,01	7,007	0,006	6,60	335,8	30,74	2,53
		0,057			7,01						
		0,056			7						
12:35	23,8	0,058	0,058	0,001	6,85	6,89	0,04	6,70	483,74	28,69	2,59
		0,057			6,89						
		0,059			6,93						
13:35	23,8	0,053	0,054	0,001	7,06	7,053	0,012	6,50	318,16	34,02	2,44
		0,053			7,04						
		0,055			7,06						
14:35	23,8	0,055	0,054	0,001	7,06	7,1	0,035	6,50	291,6	33,2	2,47
		0,053			7,12						
		0,055			7,12						
15:35	23,8	0,051	0,051	0,001	6,93	6,947	0,029	6,50	249,62	37,3	2,36
		0,05			6,93						
		0,052			6,98						
16:35	23,8	0,05	0,051	0,002	7,01	7,03	0,017	6,60	230,82	37,3	2,36
		0,05			7,04						
		0,053			7,04						
17:35	23,8	0,052	0,052	0,001	7,06	7,047	0,042	6,80	216	36,48	2,38
		0,051			7,08						
		0,052			7,00						

%R médio = 34,24

Total da massa de filtrado (g) = 3007,69

Taxa de filtrado (g/h) = 334,18

APÊNDICE 05 – Tabelas A5 - Resultados dos experimentos: Filtro 03 ( $\Delta P = 86 \text{ cm H}_2\text{O}$ )

Filtro 3 $\Delta P = 86 \text{ cm H}_2\text{O}$									
Data: 19/07/2012									
Amostra de água bruta	T (°C)	$\alpha$	$\alpha$		pH	pH		$\lambda$ (uS)	COT (mg/L)
			Media	Desvio padrão		Media	Desvio padrão		
	20,2	0,065	0,064	0,001	6,93	6,89	0,05	9,00	2,797
		0,064			6,91				
		0,064			6,84				

Tempo	T (°C)	$\alpha$	$\alpha$		pH	pH		$\lambda$ (uS)	massa (g)	%R	COT (mg/L)
			Media	Desvio padrão		Media	Desvio padrão				
09:42	19,8	0,054	0,055	0,001	6,93	7	0,066	8,10	698	14,51	2,49
		0,056			7,01						
		0,055			7,06						
10:42	19,8	0,056	0,056	0,001	7,06	7,1	0,04	8,00	697,52	13,47	2,51
		0,055			7,14						
		0,056			7,09						
11:42	19,9	0,053	0,054	0,001	7	7,02	0,021	8,10	580,95	15,54	2,47
		0,055			7,04						
		0,055			7,01						
12:42	19,9	0,056	0,056	0,001	7,06	7,06	0,006	8,20	490,26	13,47	2,51
		0,055			7,06						
		0,056			7,05						
13:42	20	0,056	0,056	0,001	7,13	7,11	0,017	8,30	418,42	13,47	2,51
		0,056			7,1						
		0,055			7,1						
14:42	20	0,054	0,054	0,001	7,14	7,08	0,053	8,40	344,45	16,58	2,44
		0,053			7,06						
		0,054			7,04						
15:42	20	0,053	0,052	0,001	7,06	7,06	0,006	8,70	293,59	19,17	2,39
		0,052			7,06						
		0,051			7,07						
16:42	20	0,05	0,05	0,001	7,1	7,08	0,021	8,70	252,21	21,76	2,33
		0,05			7,09						
		0,051			7,06						
17:42	20,1	0,05	0,049	0,001	7,08	7,08	0,006	8,80	206	23,32	2,30
		0,049			7,09						
		0,049			7,08						
18:42	20,2	0,049	0,049	0,001	7,1	7,1	0,015	9,00	169,87	23,32	2,30
		0,049			7,12						
		0,05			7,09						

%R médio = 17,46

Total da massa de filtrado (g) = 4151,27

Taxa de filtrado (g/h) = 415,12

APÊNDICE 06 – Tabelas A6 - Resultados dos experimentos: Filtro 03 ( $\Delta P = 126 \text{ cmH}_2\text{O}$ )

Filtro 3 $\Delta P = 126 \text{ cm H}_2\text{O}$									
Data: 17/07/2012									
Amostra de água bruta	T (°C)	$\alpha$	$\alpha$		pH	pH		$\lambda$ (uS)	COT (mg/L)
			Media	Desvio padrão		Media	Desvio padrão		
	21,0	0,075	0,076	0,001	6,95	6,95	0,01	6,80	3,193
		0,077			6,96				
		0,077			6,95				

tempo	T (°C)	$\alpha$	$\alpha$		pH	pH		$\lambda$ (uS)	massa (g)	%R	COT (mg/L)
			Media	Desvio padrão		Media	Desvio padrão				
11:00	22,1	0,060	0,061	0,002	7,23	7,2	0,038	10,4	581,66	20,09	2,69
		0,063			7,16						
		0,060			7,22						
12:00	22,1	0,057	0,058	0,001	7,37	7,3	0,059	10	401,44	24,45	2,58
		0,058			7,28						
		0,058			7,26						
13:00	22,1	0,055	0,056	0,001	7,4	7,35	0,055	10	280,24	27,07	2,51
		0,056			7,35						
		0,056			7,29						
14:00	22,1	0,053	0,053	0	7,29	7,3	0,015	10	190,76	30,57	2,42
		0,053			7,3						
		0,053			7,32						
15:00	22,3	0,054	0,053	0,001	7,26	7,27	0,023	10	120,56	30,57	2,42
		0,053			7,3						
		0,052			7,26						
16:00	22,3	0,048	0,05	0,002	7,26	7,24	0,04	9,8	85,56	34,93	2,31
		0,051			7,26						
		0,05			7,19						
17:00	22,3	0,045	0,044	0,001	7,35	7,32	0,031	10,2	65,05	42,36	2,13
		0,043			7,29						
		0,044			7,31						
18:00	22,4	0,045	0,045	0,001	7,32	7,29	0,03	11,2	49,2	40,61	2,17
		0,045			7,29						
		0,046			7,26						

%R médio = 31,33

Total da massa de filtrado (g) = 1774,47

Taxa de filtrado (g/h) = 221,8



APÊNDICE 07 – Tabelas A7 - Resultados dos experimentos: Filtro 04 ( $\Delta P = 86 \text{ cmH}_2\text{O}$ )

Filtro 4 $\Delta P = 86 \text{ cm H}_2\text{O}$									
Data: 28/06/2012									
Amostra de água bruta	T (°C)	$\alpha$	$\alpha$		pH	pH		$\lambda$ (uS)	COT (mg/L)
			Media	Desvio padrão		Media	Desvio padrão		
	22,4	0,08	0,077	0,003	6,95	6,95	0,01	6,8	3,23
		0,075			6,96				
		0,077			6,94				

tempo	T (°C)	$\alpha$	$\alpha$		pH	pH		$\lambda$ (uS)	massa (g)	%R	COT (mg/L)
			Media	Desvio padrão		Media	Desvio padrão				
08:23	22.4	0,036	0,036	0,002	7,24	7,25	0,01	7	60,46	53,02	1,87
		0,035			7,26						
		0,038			7,24						
09:23	22.2	0,026	0,027	0,001	7,1	7,16	0,06	6,7	68,22	65,52	1,55
		0,027			7,21						
		0,027			7,18						
10:23	22.3	0,029	0,029	0,001	6,91	6,98	0,06	7	63,36	62,5	1,63
		0,03			7,01						
		0,028			7,03						
11:23	22.3	0,022	0,022	0	7	7,03	0,03	7	44,7	71,55	1,4
		0,022			7,05						
		0,022			7,04						
12:23	22.3	0,022	0,023	0,001	7,04	7,07	0,08	7,2	46,45	70,69	1,42
		0,023			7,16						
		0,023			7,02						
13:23	22.4	0,03	0,03	0,001	7,01	7,02	0,02	7,2	49,28	61,64	1,65
		0,03			7,01						
		0,029			7,04						
14:23	22.5	0,025	0,029	0,003	6,94	6,95	0,05	7,1	51,25	62,93	1,62
		0,03			7						
		0,031			6,91						
15:23	22.5	0,024	0,022	0,002	7	7,01	0,01	7	57,13	71,12	1,41
		0,021			7,01						
		0,022			7,01						
16:23	22.8	0,022	0,023	0,001	7,01	7,06	0,05	7	52,76	70,69	1,42
		0,023			7,1						
		0,023			7,06						
17:23	22.8	0,022	0,022	0,001	7,08	7,09	0,01	6,9	52,17	71,12	1,41
		0,022			7,1						
		0,023			7,08						
18:23	22.9	0,024	0,024	0	7,1	7,08	0,02	6,9	41,34	68,97	1,47
		0,024			7,09						
		0,024			7,06						

%R médio = 66,08

Total da massa de filtrado (g) = 587,12

Taxa de filtrado (g/h) = 53,37

APÊNDICE 08 – Tabelas A8 - Resultados dos experimentos: Filtro 04 ( $\Delta P = 126 \text{ cmH}_2\text{O}$ )

Filtro 4									
$\Delta P = 126 \text{ cm H}_2\text{O}$									
Data: 26/06/2012									
Amostra de água bruta	T (°C)	$\alpha$	$\alpha$		pH	pH		$\lambda$ (uS)	COT (mg/L)
			Media	Desvio padrão		Media	Desvio padrão		
	23,5	0,069	0,071	0,003	6,96	6,98	0,03	6,50	3,02
		0,074			7,01				
		0,07			6,98				

tempo	T (°C)	$\alpha$	$\alpha$		pH	pH		$\lambda$ (uS)	massa (g)	%R	COT (mg/L)
			Media	Desvio padrão		Media	Desvio padrão				
09:38	22,9	0,030	0,029	0,002	7,41	7,40	0,01	7,10	200,83	59,62	1,62
		0,027			7,39		0,01	6,80			
		0,029			-		-	-			
10:38	22,9	0,039	0,04	0,002	7,25	7,22	0,03	6,40	297,11	44,13	1,98
		0,038			7,19		0,03	6,70			
		0,042			7,22		0				
11:38	23,3	0,035	0,033	0,002	7,37	7,33	0,04	6,90	273,21	53,05	1,77
		0,032			7,35		0,02				
		0,033			7,26		0,07				
12:38	23	0,036	0,037	0,002	7,14	7,13	0,01	6,60	224,63	47,89	1,89
		0,039			7,1		0,03				
		0,036			7,14		0,01				
13:38	23	0,036	0,034	0,002	7,19	7,22	0,03	6,60	183,83	52,58	1,78
		0,033			7,25		0,03				
		0,032			7,22		0				
14:38	23,1	0,036	0,037	0,001	7,31	7,26	0,05	6,70	168,01	48,36	1,88
		0,036			7,26		0				
		0,038			7,21		0,05				
15:38	23,3	0,028	0,028	0,002	7,26	7,23	0,03	6,70	145,42	61,03	1,59
		0,029			7,19		0,04				
		0,026			7,23		0				
16:38	23,3	0,03	0,029	0,002	7,32	7,26	0,06	6,70	139,07	59,62	1,62
		0,027			7,26		0				
		0,029			7,21		0,05				

%R médio = 53,29

Total da massa de filtrado (g) = 1632,11

Taxa de filtrado (g/h) = 204,01

APÊNDICE 09 – Tabelas A9 - Resultados dos experimentos: Filtro 05 ( $\Delta P = 86 \text{ cm H}_2\text{O}$ )

Filtro 5					ΔP = 86 cm H <sub>2</sub> O				
Data: 29/06/2012									
Amostra de água bruta	T (°C)	α	α		pH	pH		λ (uS)	COT (mg/L)
			Media	Desvio padrão		Media	Desvio padrão		
	22.4	0,08	0,077	0,003	6,95	6,95	0,01	6.8	3,226
		0,075			6,96				
		0,077			6,94				

tempo	T (°C)	$\alpha$	$\alpha$		pH	pH		$\lambda$ (uS)	massa (g)	%R	COT (mg/L)
			Media	Desvio padrão		Media	Desvio padrão				
08:16	22,0	0,025	0,024	0,001	7,28	7,28	0,03	6,70	117,11	68,53	1,48
		0,024			7,26						
		0,024			7,31						
09:16	22,1	0,025	0,024	0,001	7,26	7,28	0,06	6,90	113,38	68,53	1,48
		0,024			7,35						
		0,024			7,24						
10:16	22,1	0,027	0,027	0,001	7,16	7,21	0,05	7,00	132,18	64,66	1,58
		0,028			7,25						
		0,027			7,23						
11:16	22,1	0,031	0,031	0	7,19	7,21	0,02	6,90	324,99	59,91	1,7
		0,031			7,22						
		0,031			7,23						
12:16	22,1	0,033	0,034	0,002	6,98	7,03	0,05	6,90	189,93	56,03	1,8
		0,033			7,06						
		0,036			7,06						
13:16	22,8	0,035	0,035	0	7,01	7,06	0,05	6,80	185,28	54,74	1,83
		0,035			7,07						
		0,035			7,1						
14:16	22,8	0,034	0,035	0,001	7,01	7,05	0,03	6,90	178,86	55,17	1,82
		0,036			7,06						
		0,034			7,07						
15:16	22,8	0,036	0,036	0,001	7,10	7,08	0,03	6,90	165,24	53,88	1,85
		0,036			7,09						
		0,035			7,05						
16:16	22,9	0,035	0,034	0,001	7,00	7,03	0,03	7,00	149,85	55,6	1,81
		0,034			7,04						
		0,034			7,06						
17:16	22,9	0,033	0,034	0,001	7,06	7,06	0,02	6,90	136,28	56,47	1,78
		0,034			7,08						
		0,034			7,04						

%R médio = 59,35

Total da massa de filtrado (g) = 1693,1

Taxa de filtrado (g/h) = 169,31

APÊNDICE 10 – Tabelas A10 - Resultados dos experimentos: Filtro 05 ( $\Delta P = 126 \text{ cmH}_2\text{O}$ )

Filtro 5									
$\Delta P = 126 \text{ cm H}_2\text{O}$									
Data: 20/07/2012									
Amostra de água bruta	T (°C)	$\alpha$	$\alpha$		pH	pH		$\lambda$ (uS)	COT (mg/L)
			Media	Desvio padrão		Media	Desvio padrão		
	19,4	0,059	0,059	0,002	6,85	6,83	0,03	8,3	2,632
		0,058			6,79				
		0,061			6,84				

tempo	T (°C)	$\alpha$	$\alpha$		pH	pH		$\lambda$ (uS)	massa (g)	%R	COT (mg/L)
			Media	Desvio padrão		Media	Desvio padrão				
09:42	18,5	0,047	0,045	0,003	7,09	7,09	0,01	8,5	387,51	24,72	2,15
		0,042			7,09						
		0,045			7,08						
10:42	18,7	0,04	0,043	0,003	7,08	7,1	0,02	10,3	311,06	27,53	2,09
		0,044			7,12						
		0,045			7,1						
11:42	20,6	0,044	0,044	0,000	7,1	7,14	0,03	8,8	222,99	25,84	2,13
		0,044			7,15						
		0,044			7,16						
12:42	20,6	0,042	0,043	0,001	7,16	7,17	0,04	8,6	164,29	28,09	2,08
		0,043			7,13						
		0,043			7,21						
13:42	20,7	0,042	0,042	0,001	7,19	7,22	0,03	8,4	110,54	29,78	2,05
		0,042			7,25						
		0,041			7,21						
14:42	20,8	0,039	0,039	0,001	7,23	7,24	0,01	9	79,4	33,71	1,97
		0,039			7,25						
		0,04			7,23						
15:42	20,8	0,04	0,039	0,001	7,26	7,26	0,01	9,1	52,96	34,27	1,96
		0,038			7,25						
		0,039			7,26						
16:42	20,9	0,036	0,036	0,000	7,29	7,27	0,02	9,2	39,35	39,33	1,86
		0,036			7,26						
		0,036			7,25						
17:42	20,9	0,034	0,034	0,001	7,26	7,25	0,01	9,5	30,72	43,26	1,78
		0,033			7,24						
		0,034			7,26						
18:42	21	0,03	0,030	0,001	7,26	7,25	0,02	9,9	21,85	48,88	1,67
		0,031			7,25						
		0,03			7,23						

%R médio = 33,54

Total da massa de filtrado (g) = 1420,7

Taxa de filtrado (g/h) = 142,07

APÊNDICE 11 – Tabelas A11 - Resultados dos experimentos: Filtro 07 ( $\Delta P = 86 \text{ cmH}_2\text{O}$ )

Filtro 7												$\Delta P = 86 \text{ cm H}_2\text{O}$	
Data: 05/07/2012													
Amostra de água bruta	T (°C)	$\alpha$	$\alpha$		pH	pH		$\lambda$ (uS)	$\lambda$ (uS)		COT (mg/L)		
			Media	Desvio padrão		Media	Desvio padrão		Media	Desvio padrão			
	21,7	0,048	0,05	0,002	7,1	7,05	0,05	6,5	6,6	0,14	2,324		
		0,051			7			6,7					
		0,051			7,06			-					

tempo	T (°C)	$\alpha$	$\alpha$		pH	pH		$\lambda$ (uS)	$\lambda$ (uS)		massa (g)	%R	COT (mg/L)
			Media	Desvio padrão		Media	Desvio padrão		Media	Desvio padrão			
08:38	21,7	0,018	0,02	0,002	7,3	7,27	0,02	7,1	7,10	0,1	284,74	60	1,33
		0,022			7,26			7					
		0,02			7,26			7,2					
09:38	21,8	0,025	0,025	0	7,21	7,2	0,01	7	7,10	0,1	136,17	50	1,5
		0,025			7,19			7,1					
		0,025			7,2			7,2					
10:38	21,8	0,024	0,024	0,001	7,14	7,12	0,02	7,2	7,30	0,1	95,04	52,67	1,45
		0,024			7,12			7,4					
		0,023			7,1			7,3					
11:38	21,8	0,023	0,023	0,001	7,06	7,04	0,03	7	7,030	0,06	99,58	53,33	1,44
		0,024			7,01			7					
		0,023			7,06			7,1					
12:38	21,8	0,023	0,024	0,001	7,06	7,04	0,03	7,8	7,80	0	38,98	52	1,47
		0,024			7,01			7,8					
		0,025			7,04			7,8					
13:38	22,2	0,021	0,021	0	7,04	7,02	0,02	7,5	7,530	0,06	28,85	58	1,37
		0,021			7,01			7,5					
		0,021			7			7,6					
14:38	22,2	0,022	0,023	0,001	7,01	6,98	0,05	7,6	7,630	0,06	25	54,67	1,42
		0,024			6,93			7,6					
		0,022			7,01			7,7					
15:38	23	-	-	-	7,26	7,27	0,02	-	-0	-	16,06	-	-
		-			7,25			-					
		-			7,29			-					
16:38	23	0,017	0,017	0,001	7,19	7,2	0,02	7,7	7,87	0,15	24,73	65,33	1,25
		0,018			7,23			7,9					
		0,017			7,19			8					

%R médio = 55,75

Total da massa de filtrado (g) = 749,2

Taxa de filtrado (g/h) = 83,24

APÊNDICE 12 – Tabelas A12 - Resultados dos experimentos: Filtro 07 ( $\Delta P = 126 \text{ cmH}_2\text{O}$ )

Filtro 7 $\Delta P = 126 \text{ cm H}_2\text{O}$											
Data: 06/07/2012											
Amostra de água bruta	T (°C)	$\alpha$	$\alpha$		pH	pH		$\lambda$ (uS)	$\lambda$ (uS)		COT (mg/L)
			Media	Desvio padrão		Media	Desvio padrão		Media	Desvio padrão	
	21,7	0,048	0,05	0,002	7,1	7,05	0,05	6,5	6,6	0,1	2,324
		0,051			7			6,7			
		0,051			7,06			-			

tempo	T (°C)	$\alpha$	$\alpha$		pH	pH		$\lambda$ (uS)	$\lambda$ (uS)		massa (g)	%R	COT (mg/L)
			Media	Desvio padrão		Media	Desvio padrão		Media	Desvio padrão			
08:55	22,1	0,012	0,012	0,001	7,26	7,23	0,02	7,5	7,50	0,00	41,96	76,7	1,06
		0,012			7,22			7,5					
		0,011			7,22			7,5					
09:55	22,3	0,008	0,008	0,001	7,25	7,24	0,01	8	8,00	0,00	23,15	84,7	0,93
		0,007			7,24			8					
		0,008			7,23			8					
10:55	22,3	0,011	0,012	0,001	7,25	7,24	0,02	7,7	7,80	0,10	24,35	76,7	1,06
		0,011			7,25			7,9					
		0,013			7,21			7,7					

%R médio = 79,33

Total da massa de filtrado (g) = 89,46

Taxa de filtrado (g/h) = 29,82

APÊNDICE 13 – Tabelas A13 - Resultados dos experimentos: Filtro 08 ( $\Delta P = 86 \text{ cmH}_2\text{O}$ )

<b>FILTRO 8</b>											
<b><math>\Delta P = 86 \text{ cm H}_2\text{O}</math></b>											
Data: 10/07/2012											
Amostra de água bruta	T (°C)	$\alpha$	$\alpha$		pH	pH		$\lambda$ (uS)	$\lambda$ (uS)		COT (mg/L)
			Media	Desvio Padrão		Media	Desvio Padrão		Media	Desvio Padrão	
		0,168									
		0,168									
	22.6	0,169	0,168	0,001	6,58	6,52	0,07	7,3	7,27	0,15	6,229

tempo	T (°C)	$\alpha$	$\alpha$		pH	pH		$\lambda$ (uS)	$\lambda$ (uS)		massa (g)	%R	COT (mg/L)
			Media	Desvio Padrão		Media	Desvio Padrão		Media	Desvio Padrão			
08:56	22,7	0,005	0,006	0,001	7,23	7,24	0,01	8,2	8,33	0,12	26,04	96,6	0,86
		0,006			7,26			8,4					
		0,006			7,25			8,4					
09:56	22,7	0,006	0,006	0	7,35	7,34	0,01	8,8	8,77	0,06	11	96,4	0,87
		0,006			7,33			8,8					
		0,006			7,35			8,7					
10:56	22,8	0,01	0,01	0,001	7,33	7,31	0,02	8,1	8,17	0,06	31,67	94,3	0,99
		0,009			7,31			8,2					
		0,01			7,29			8,2					
11:56	22,8	0,011	0,01	0,001	7,35	7,36	0,01	8	8,07	0,06	19	94,1	1
		0,01			7,37			8,1					
		0,009			7,37			8,1					
12:56	22,8	0,006	0,006	0,001	-	-	-	-	-	-	8,73	96,2	0,88
		0,007			-			-					
		0,006			-			-					

%R médio = 95,52

Total da massa de filtrado (g) = 96,44

Taxa de filtrado (g/h) = 19,28

APÊNDICE 14 – Tabelas A14 - Resultados dos experimentos: Filtro 08 ( $\Delta P = 126 \text{ cmH}_2\text{O}$ )

FILTRO 8					ΔP = 126 cm H <sub>2</sub> O						
Data: 12/07/2012											
Amostra de água bruta	T (°C)	α	α		pH	pH		λ (uS)	λ (uS)		COT (mg/L)
			Media	Desvio Padrão		Media	Desvio Padrão		Media	Desvio Padrão	
	23,1	0,06	0,061	0,001	6,91	6,85	0,06	6,8	6,8	0	2,676
		0,061			6,85			6,8			
		0,061			6,8			6,8			

tempo	T (°C)	$\alpha$	$\alpha$		pH	pH		$\lambda$ (uS)	$\lambda$ (uS)		massa (g)	%R	COT (mg/L)
			Media	Desvio Padrão		Media	Desvio Padrão		Media	Desvio Padrão			
08:18	23,2	0,012	0,012	0,001	7,37	7,34	0,03	7,30	7,37	0,06	70,5	80,8	1,06
		0,012			7,31			7,40					
		0,011			7,33			7,40					
09:18	23,1	0,028	-	-	-	-	-	-	-	-	5,45	-	-
10:18	23,1	0,032	-	-	-	-	-	-	-	-	5,03	-	-
11:18	23,1	0,013	-	-	-	-	-	-	-	-	5,8	-	-
12:18	23,1	0,021	-	-	-	-	-	-	-	-	5,54	-	-

%R médio = 80,77

Total da massa de filtrado (g) = 92,32

Taxa de filtrado (g/h) = 18,46



APÊNDICE 15 – Tabelas A15 - Resultados dos experimentos: Filtro 09 ( $\Delta P = 126 \text{ cmH}_2\text{O}$ )

FILTRO 9											
$\Delta P = 126 \text{ cm H}_2\text{O}$											
Data: 13/07/2012											
Amostra de água bruta	T (°C)	$\alpha$	$\alpha$		pH	pH		$\lambda$ (uS)	$\lambda$ (uS)		COT (mg/L)
			Media	Desvio Padrão		Media	Desvio Padrão		Media	Desvio Padrão	
	23,1	0,06	0,061	0,001	6,91	6,85	0,06	6,8	6,8	0,00	2,676
		0,061			6,85			6,8			
		0,061			6,8			6,8			

tempo	T (°C)	$\alpha$	$\alpha$		pH	pH		$\lambda$ (uS)	$\lambda$ (uS)		massa (g)	%R	COT (mg/L)
			Media	Desvio Padrão		Media	Desvio Padrão		Media	Desvio Padrão			
08:45	23,0	0,012	0,012	0,001	7,26	7,33	0,06	8,2	8,23	0,06	78,36	80,2	1,07
		0,011			7,37			8,2					
		0,013			7,37			8,3					
09:45	23,0	0,008	0,008	0,001	7,33	7,34	0,01	7,9	8	0,10	56,48	87,4	0,93
		0,008			7,34			8					
		0,007			7,35			8,1					
10:45	22,9	0,006	0,006	0,001	7,34	7,28	0,05	7,4	7,4	-	27,37	90,7	0,86
		0,005			7,24			-					
		0,006			7,26			-					
11:45	23,0	0,008	0,006	0,002	7,35	7,34	0,02	7,9	7,9	-	13,01	89,6	0,88
		0,007			7,32			-					
		0,004			-			-					

%R médio = 86,95

Total da massa de filtrado (g) = 175,22

Taxa de filtrado (g/h) = 43,80

APÊNDICE 16 – Tabelas A16 - Resultados dos experimentos: Filtro 7' ( $\Delta P = 86 \text{ cm H}_2\text{O}$ )

Filtro 7' $\Delta P = 86 \text{ cm H}_2\text{O}$					
Data: 07/08/2012					
Amostra de água bruta	T (°C)	$\alpha$	$\alpha$		COT (mg/L)
			Media	Desvio Padrão	
	22,4	0,036	0,036	0,001	1,87
		0,036			
		0,037			

tempo	T (°C)	$\alpha$	$\alpha$		massa (g)	%R	COT (mg/L)
			Media	Desvio Padrão			
09:30	22,4	0,03	0,029	0,001	59,91	19,27	1,64
		0,029					
		0,029					
10:30	22,4	0,027	0,026	0,001	53,36	28,44	1,53
		0,025					
		0,026					
11:30	22,5	0,021	0,021	0,001	41,05	41,28	1,38
		0,021					
		0,022					
12:30	22,4	0,024	0,023	0,001	32,54	36,7	1,43
		0,023					
		0,022					
13:30	22,4	0,022	0,023	0,001	32,49	37,61	1,42
		0,023					
		0,023					
14:30	22,3	0,023	0,022	0,001	30,53	38,53	1,41
		0,023					
		0,021					

%R médio = 33,64

Total da massa de filtrado (g) = 249,88

Taxa de filtrado (g/h) = 41,64

Filtro 7' $\Delta P = 86 \text{ cm H}_2\text{O}$									
Data: 24/07/2012									
Amostra de água bruta	T (°C)	$\alpha$	$\alpha$		pH	pH		$\lambda$ (uS)	COT (mg/L)
			Media	Desvio Padrão		Media	Desvio Padrão		
	23	0,054	0,055	0,001	6,85	6,86	0,01	6,4	2,50
		0,056			6,85				
		0,056			6,87				

tempo	T (°C)	$\alpha$	$\alpha$		pH	pH		$\lambda$ (uS)	massa (g)	%R	COT (mg/L)
			Media	Desvio Padrão		Media	Desvio Padrão				
07:20	22,6	0,052	0,052	0,001	7,2	7,2	0,01	6,40	357,5	6,63	2,38
		0,051			7,21						
		0,052			7,2						
08:20	22,6	0,052	0,051	0,001	7,23	7,23	0,02	6,60	346,2	7,83	2,36
		0,051			7,22						
		0,05			7,25						
09:20	22,7	0,05	0,05	0,001	7,14	7,12	0,02	6,50	319,11	9,04	2,33
		0,05			7,13						
		0,051			7,1						
10:20	22,7	0,049	0,05	0,001	7,06	7,08	0,02	6,30	277	10,24	2,31
		0,051			7,09						
		0,049			7,1						
11:20	22,7	0,048	0,048	0,001	7,16	7,17	0,01	6,60	248,25	12,65	2,27
		0,049			7,18						
		0,048			7,16						
12:20	22,7	0,051	0,052	0,001	7,12	7,14	0,02	6,60	193,02	6,63	2,38
		0,052			7,15						
		0,052			7,16						
13:20	22,7	0,047	0,048	0,001	7,29	7,29	0,01	6,50	179,53	13,25	2,26
		0,048			7,28						
		0,049			7,3						
14:20	22,7	0,047	0,047	0,001	7,18	7,17	0,01	6,60	173,6	14,46	2,24
		0,047			7,16						
		0,048			7,16						
15:20	22,6	0,043	0,043	0,001	7,18	7,19	0,02	6,70	161,03	21,69	2,10
		0,044			7,19						
		0,043			7,21						

%R médio = 11,38

Total da massa de filtrado (g) = 2255,24

Taxa de filtrado (g/h) = 250,58

APÊNDICE 17 – Tabelas A18- Resultados dos experimentos: Filtro7' ( $\Delta P = 126 \text{ cm H}_2\text{O}$ )

Filtro 7' $\Delta P = 126 \text{ cm H}_2\text{O}$					
Data: 06/08/2012					
Amostra de água bruta	T (°C)	$\alpha$	$\alpha$		COT (mg/L)
			Media	Desvio Padrão	
	22,6	0,034	0,034	0,001	1,807
		0,035			
		0,034			

tempo	T (°C)	$\alpha$	$\alpha$		massa (g)	%R	COT (mg/L)
			Media	Desvio Padrão			
08:40	22,4	0,022	0,021	0,001	839,75	37,86	1,38
		0,021					
		0,021					
09:40	22,4	0,021	0,021	0,001	595,48	39,81	1,36
		0,02					
		0,021					
10:40	22,4	0,023	0,023	0,001	606,87	33,98	1,42
		0,023					
		0,022					
11:40	22,5	0,02	0,02	0,001	566,28	40,78	1,34
		0,021					
		0,02					
12:40	22,6	0,028	0,027	0,001	360,41	20,39	1,58
		0,027					
		0,027					

%R médio = 34,56

Total da massa de filtrado (g) = 2968,79

Taxa de filtrado (g/h) = 593,75

Filtro 7' $\Delta P = 126 \text{ cm H}_2\text{O}$									
Data: 23/07/2012									
Amostra de água bruta	T (°C)	$\alpha$	$\alpha$		pH	pH		$\lambda$ (uS)	COT (mg/L)
			Media	Desvio Padrão		Media	Desvio Padrão		
	24	0,051	0,05	0,001	7,01	6,99	0,02	6,9	2,32
		0,05			6,99				
		0,049			6,98				

tempo	T (°C)	$\alpha$	$\alpha$		pH	pH		$\lambda$ (uS)	massa (g)	%R	COT (mg/L)
			Media	Desvio Padrão		Media	Desvio Padrão				
08:30	23,1	0,042	0,043	0,001	7,18	7,17	0,03	6,8	1462	14,67	2,08
		0,043			7,19						
		0,043			7,14						
09:30	23,1	0,044	0,045	0,001	7,12	7,13	0,02	6,8	1171,38	10	2,16
		0,046			7,13						
		0,045			7,15						
10:30	23,2	0,045	0,045	0,001	7,2	7,2	0,01	6,6	1092,89	10	2,16
		0,045			7,2						
		0,044			7,19						
11:30	23,2	0,042	0,041	0,001	7,19	7,23	0,03	6,7	1063	17,33	2,04
		0,041			7,25						
		0,041			7,24						
12:30	23,2	0,04	0,04	0,001	7,26	7,29	0,03	6,7	1025,6	20,67	1,98
		0,04			7,31						
		0,039			7,29						
13:30	23,3	0,045	0,044	0,001	7,28	7,29	0,01	6,5	623,32	11,33	2,14
		0,044			7,29						
		0,044			7,3						

%R médio = 14

Total da massa de filtrado (g) = 6438,19

Taxa de filtrado (g/h) = 1073,03

APÊNDICE 18 – Tabelas A18 - Resultados dos experimentos: Filtro 8' ( $\Delta P = 86 \text{ cmH}_2\text{O}$ )

Filtro 8' $\Delta P = 86 \text{ cm H}_2\text{O}$									
Data: 25/07/2012									
Amostra de água bruta	T (°C)	$\alpha$	$\alpha$		pH	pH		$\lambda$ (uS)	COT (mg/L)
			Media	Desvio Padrão		Media	Desvio Padrão		
	24	0,051	0,051	0,001	6,82	6,81	0,02	6,7	2,368
		0,052			6,82				
		0,051			6,79				

tempo	T (°C)	$\alpha$	$\alpha$		pH	pH		$\lambda$ (uS)	massa (g)	%R	COT (mg/L)
			Media	Desvio Padrão		Media	Desvio Padrão				
08:20	22,9	0,029	0,028	0,001	7,22	7,22	0,01	6,1	200,83	44,81	1,61
		0,028			7,23						
		0,028			7,21						
09:20	22,9	0,032	0,032	0,001	7,28	7,28	0	6,1	275,77	37,01	1,74
		0,033			7,28						
		0,032			7,28						
10:20	22,9	0,034	0,035	0,001	6,98	6,97	0,02	6,3	358,8	32,47	1,82
		0,035			6,99						
		0,035			6,95						
11:20	22,9	0,039	0,04	0,001	7,06	7,07	0,02	6,1	400,96	22,08	1,99
		0,041			7,05						
		0,04			7,09						
12:20	22,8	0,039	0,039	0,001	7,06	7,06	0,01	6,1	270,65	23,38	1,97
		0,039			7,07						
		0,04			7,05						
13:20	22,9	0,032	0,032	0	6,97	6,98	0,01	6,4	309,4	37,66	1,73
		0,032			6,98						
		0,032			6,98						
14:20	22,8	0,035	0,035	0	7,01	7,01	0	6,5	299,03	31,82	1,83
		0,035			7,01						
		0,035			7,01						
15:20	22,9	0,034	0,035	0,001	7,01	6,99	0,03	6,5	241,34	32,47	1,82
		0,035			6,96						
		0,035			7,01						
16:20	22,9	0,04	0,04	0,001	7,06	7,05	0,01	6,6	227,98	22,73	1,98
		0,04			7,05						
		0,039			7,04						

%R médio = 31,60

Total da massa de filtrado (g) = 2584,76

Taxa de filtrado (g/h) = 287,19

Filtro 8' $\Delta P = 86 \text{ cm H}_2\text{O}$					
Data: 08/08/2012					
Amostra de água bruta	T (°C)	$\alpha$	$\alpha$		COT (mg/L)
			Media	Desvio Padrão	
	23,1	0,045	0,045	0,000	2,159
		0,045			
		0,045			

tempo	T (°C)	$\alpha$	$\alpha$		massa (g)	%R	COT (mg/L)
			Media	Desvio padrão			
08:32	23	0,037	0,036	0,001	150,05	19,26	1,87
		0,036					
		0,036					
09:32	22,9	0,03	0,031	0,001	190,42	31,85	1,69
		0,031					
		0,031					
10:32	22,7	0,03	0,031	0,001	199,38	31,85	1,69
		0,031					
		0,031					
11:32	22,7	0,029	0,03	0,001	199,6	34,07	1,65
		0,03					
		0,03					
12:32	22,6	0,03	0,03	0,001	192,68	32,59	1,67
		0,03					
		0,031					
13:32	22,5	0,032	0,032	0	197,66	28,89	1,73
		0,032					
		0,032					
14:32	22,4	0,03	0,031	0,001	171,26	31,85	1,69
		0,031					
		0,031					
15:32	22,5	0,031	0,031	0,001	175,52	31,85	1,69
		0,03					
		0,031					
16:32	22,6	0,032	0,032	0,001	160,51	28,15	1,74
		0,032					
		0,033					

%R médio = 30,04

Total da massa de filtrado (g) = 1637,08

Taxa de filtrado (g/h) = 187,95

APÊNDICE 19 – Tabelas A19 - Resultados dos experimentos: Filtro 8' ( $\Delta P = 126 \text{ cm H}_2\text{O}$ )

Filtro 8' $\Delta P = 126 \text{ cm H}_2\text{O}$									
Data: 27/07/2012									
Amostra de água bruta	T (°C)	$\alpha$	$\alpha$		pH	pH		$\lambda$ (uS)	COT (mg/L)
			Media	Desvio Padrão		Media	Desvio Padrão		
	23	0,045	0,045	0,001	6,66	6,67	0,02	6,50	2,148
		0,044			6,66				
		0,045			6,7				

tempo	T (°C)	$\alpha$	$\alpha$		pH	pH		$\lambda$ (uS)	massa (g)	%R	COT (mg/L)
			Media	Desvio padrão		Media	Desvio padrão				
07:20	23	0,028	0,028	0	7,09	7,06	0,03	7,20	390,06	37,31	1,60
		0,028			7,06						
		0,028			7,04						
08:20	22,9	0,035	0,036	0,001	7,1	7,09	0,01	7,20	210,18	19,4	1,86
		0,037			7,08						
		0,036			7,09						
09:20	22,9	0,034	0,035	0,001	7,09	7,07	0,02	7,30	133,46	21,64	1,83
		0,036			7,05						
		0,035			7,08						
10:20	22,9	0,033	0,034	0,001	6,85	6,97	0,11	7,00	113,62	24,63	1,78
		0,034			7,06						
		0,034			7,01						
11:20	23,0	0,034	0,034	0,001	7,29	7,22	0,10	7,30	95,69	23,13	1,81
		0,035			7,15						
		0,034			-						
12:20	23,0	0,036	0,035	0,001	6,88	-	-	7,00	94,88	20,9	1,84
		0,036									
		0,034									
13:20	23,0	0,029	0,029	0,001	6,90	-	-	7,20	109,34	34,33	1,64
		0,03									
		0,029									
14:20	22,9	0,036	0,036	0,001	6,72	-	-	7,00	115,60	18,66	1,87
		0,037									
		0,036									

%R médio = 25

Total da massa de filtrado (g) = 1262,83

Taxa de filtrado (g/h) = 157,85



Filtro 8' $\Delta P = 126 \text{ cm H}_2\text{O}$					
Data: 09/08/2012					
Amostra de água bruta	T (°C)	$\alpha$	$\alpha$		COT (mg/L)
			Media	Desvio padrão	
	22,6	0,039	0,039	0,001	1,97
		0,039			
		0,04			

tempo	T (°C)	$\alpha$	$\alpha$		massa (g)	%R	COT (mg/L)
			Media	Desvio padrão			
09:32	22,4	0,036	0,036	0,000	251	8,47	1,86
		0,036					
		0,036					
10:32	22,2	0,035	0,035	0,001	296,95	11,86	1,82
		0,035					
		0,034					
11:32	22,1	0,037	0,036	0,001	268,34	7,63	1,87
		0,036					
		0,036					
12:32	22,2	0,036	0,036	0,001	249,92	9,32	1,85
		0,035					
		0,036					
13:32	22,3	0,036	0,036	0,001	226,5	7,63	1,87
		0,036					
		0,037					
14:32	22,5	0,032	0,032	0,001	209,6	19,49	1,72
		0,032					
		0,031					
15:32	22,7	0,029	0,029	0,001	198,1	25,42	1,64
		0,029					
		0,03					
16:32	22,6	0,032	0,031	0,001	186,38	20,34	1,71
		0,031					
		0,031					
17:32	22,6	0,032	0,033	0,001	174,78	16,95	1,75
		0,033					
		0,033					

%R médio = 14,12

Total da massa de filtrado (g) = 2061,57

Taxa de filtrado (g/h) = 229,06

# APÊNDICE 20 – Tabelas A20 – TESTE DO BRANCO

(Resultados dos experimentos sem a utilização de carvão ativado reciclado)

<b>ΔP = 126 cm H<sub>2</sub>O</b> (9 cm de meio filtrante: fibra de vidro)					
Data: 13/08/2012					
Amostra de água bruta	T (°C)	α	α		λ (uS)
			Media	Desvio padrão	
	22,1	0,033	0,032	0,001	4,60
		0,032		0,000	
		0,031		0,001	

tempo	T (°C)	α	α		pH	λ (uS)	massa (g)	%R
			Media	Desvio padrão				
8:00-8:20	22,1	0,032	0,032	0,00	6,46	4,20	480,72	0,00
		0,033						
		0,032						
8:20-8:40	22,1	0,028	0,028	0,00	6,69	4,40	233,50	13,54
		0,028						
		0,027						
8:40-9:00	22,1	0,026	0,026	0,00	6,56	4,30	198,05	17,71
		0,027						
		0,026						
9:00-9:20	22,0	0,027	0,027	0,00	6,6	4,30	123,10	15,63
		0,026						
		0,028						
9:20-9:40	21,9	0,028	0,027	0,00	6,62	4,40	65,45	14,58
		0,027						
		0,027						
9:40-10:00	21,9	0,028	0,028	0,00	6,61	4,40	62,00	13,54
		0,027						
		0,028						
10:00-10:20	21,8	0,028	0,028	0,00	6,62	4,60	64,04	13,54
		0,028						
		0,027						
10:20-10:40	21,8	0,031	0,032	0,00	6,63	4,40	62,75	1,04
		0,032						
		0,032						
10:40-11:00	21,8	0,03	0,031	0,00	6,57	4,40	63,00	4,17
		0,031						
		0,031						

%R médio = 10,40

Total da massa de filtrado (g) = 1352,61

Taxa de filtrado (g/h) = 150,29