

FERNANDA TAMBELLI TEIXEIRA

**AVALIAÇÃO DO DESENVOLVIMENTO DA MICROBIOTA E DA
REMOÇÃO DE COT EM FILTROS BIOLÓGICAMENTE ATIVOS**

**Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de
São Paulo para obtenção do
Título de Mestre em Engenharia**

São Paulo
2008

FERNANDA TAMBELLI TEIXEIRA

**AVALIAÇÃO DO DESENVOLVIMENTO DA MICROBIOTA E DA
REMOÇÃO DE COT EM FILTROS BIOLÓGICAMENTE ATIVOS**

**Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de
São Paulo para obtenção do
Título de Mestre em Engenharia**

**Área de concentração:
Engenharia Hidráulica e Sanitária**

**Orientadora:
Prof^a. Dr^a. Dione Mari Morita**

São Paulo
2008

Este exemplar foi revisado e alterado em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

São Paulo, 21 de maio de 2008.

Assinatura do autor:

Assinatura do orientador:

Teixeira, Fernanda Tambelli

Avaliação do desenvolvimento da microbiota e da remoção de COT em filtros biologicamente ativos / F.T. Teixeira. -- São Paulo, 2008. 85 p.

Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária.

**1. Tratamento de água 2. Biorregeneração 3. Carvão ativado 4. Co-metabolismo
I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária II. t.**

Dedico essa pesquisa especialmente
ao meu companheiro, Flávio Bontorim Amato
e a toda minha família.

AGRADECIMENTOS

À Earth Tech e à CAENF – Concessionária de Águas e Esgotos de Nova Friburgo, onde adquiri bases do conhecimento técnico, sempre aliadas a valores de amizade e de hombridade.

À Telar Engenharia, que soube compreender e incentivar o aprendizado.

Ao Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo e seus professores, pela cooperação técnica e científica, concedendo condições necessárias para o desenvolvimento e conclusão deste trabalho.

À Prof^a. Dra. Dione Mari Morita, por todo seu profissionalismo e apoio.

Ao Prof. Frederico de Almeida Lage Filho, por toda sua contribuição, ensinamento e dedicação.

Ao Fábio Campos e Laerte Carvalho, técnicos do Laboratório de Saneamento Lucas Nogueira Garcez da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, que muito contribuíram nos trabalhos experimentais.

A todos que, direta ou indiretamente, colaboraram para a elaboração desta dissertação.

RESUMO

Este trabalho visa avaliar o desenvolvimento microbiano e a capacidade de degradação de carbono orgânico total (COT) em quatro colunas adsorvedoras pós-filtração, em escala de bancada, em três ensaios em batelada: o primeiro de longa duração (84 dias) com afluente de água filtrada clorada com baixa concentração de COT (1,4 mg/L); o segundo de longa duração (84 dias) com afluente de solução de glicose e água filtrada clorada com concentração de COT de 6,0 mg/L e o terceiro de curta duração (21 dias) e com o mesmo afluente utilizado no segundo teste. Foi utilizado carvão ativado granular (CAG) de mesmas características nas colunas adsorvedoras, exceto as faixas de diâmetros dos grânulos, que variaram de 0,5 a 0,71 mm (coluna 1A), de 0,84 a 1,0 mm (coluna 1B) e de 1,0 a 1,19 mm (coluna 1C) nas três colunas que tinham o diâmetro interno de 1,2 cm. A coluna 2, com diâmetro interno de 2,1 cm, recebeu CAG com grânulos na mesma faixa de diâmetros da coluna 1B (0,84 a 1,0 mm).

As eficiências de remoção de COT no primeiro ensaio foram bem menores (46 a 74%) do que aquelas dos ensaios 2 (94 a 97%) e 3 (96 a 97%). Estes últimos apresentaram grande desenvolvimento da microbiota e elevadas eficiências de remoção de COT, devido ao co-metabolismo e biorregeneração nas colunas pela introdução da glicose. Nas três colunas de mesmo diâmetro, foi observado que quanto menor a faixa de diâmetros dos grânulos de CAG, maior foi o desenvolvimento da microbiota (expresso em contagens de bactérias heterotróficas); e nas colunas com mesma faixa de diâmetros de CAG e com diferentes diâmetros de coluna (1B e 2), o desenvolvimento da microbiota foi muito semelhante nos ensaios de longa duração. Com relação às eficiências de remoção de COT, não houve diferença significativa entre as quatro colunas nos ensaios de longa e curta duração com adição de glicose; no ensaio de longa duração sem adição de glicose as colunas 1A e 2 apresentaram melhores resultados em relação às demais e não há uma explicação clara para tal fato.

ABSTRACT

The major purpose of this experimental work was to evaluate the microbial development and the capabilities of degradation of Total Organic Carbon (TOC) of four post-filtration adsorption columns operated as batch reactors in three bench scale tests. The first batch column testing was conducted by means of one long duration runs (84 days each) and the columns were fed with filtered, chlorinated water with low COT concentration (1.4 mg/L). The second batch column testing was conducted by means of one long duration runs (84 days each) and the columns were fed with a glucose and filtered chlorinated water solution (resulting TOC = 6.0 mg/L). The third batch column testing was conducted by means of one short duration runs (21 days each) and the columns were fed with the same solution of the second batch column testing. The same type of Granular Activated Carbon (GAC) was employed in all columns, except for the average granule diameter ranges. They were 0.5 to 0.71 mm (column 1A), 0.84 to 1.0 mm (column 1B), and 1.0 to 1.19 mm (column 1C), for the 12 mm diameter columns. The 21 mm diameter column 2 had CAG granules with the same size range of column 1B (0.84 to 1.0 mm).

The TOC removal efficiencies in the first batch column testing were lower (46 to 74%) than 2 (94 to 97%) and 3 (96 to 97%) batch column testing. The last batch column testing led to high microbial growth and high TOC removal efficiencies due to co-metabolism and bioregeneration in the columns fed with a glucose. Regarding the three columns with the same diameter, it was observed that the lower the GAC granule size range, the higher the microbial growth rate (expressed as heterotrophic plate count); the columns with the same GAC size range but different column diameters (columns 1B and 2) the microbial growth rates were very similar with respect to the long period runs. With respect to the TOC removal efficiencies, there were no significant differences between the four columns in the long duration test runs and the short duration runs with glucose addition; in the long duration run without glucose addition, columns 1A and 2 were much more efficient at removing TOC than the other column; there is no clear explanation for it.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

LISTA DE SÍMBOLOS

1 – INTRODUÇÃO	17
2 – OBJETIVO	21
3 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	22
3. 1 – O carvão ativado	22
3. 2 – O carvão biologicamente ativo	27
3. 2. 1 – Mecanismos de adsorção e degradação biológica de contaminantes em colunas com carvão biologicamente ativo	32
3. 2. 1. 1 - Considerações iniciais	32
3. 2. 1. 2 - Cinética da adsorção	33
3. 2. 1. 3 - Isotermas de adsorção	34
3. 2. 1. 4 - Fatores que interferem na adsorção	37

3.	3	–	O co-metabolismo e a biorregeneração no carvão biologicamente ativo	39	
3.	4	–	O impacto do cloro em sistemas com carvão biologicamente ativo.....	42	
4	–	MATERIAL E MÉTODOS	43		
4.	1	–	Instalações experimentais	43	
4.	2	–	Metodologia	48	
4.	2.	1	–	Absorbância	48
4.	2.	2	–	Contagem de bactérias heterotróficas	49
4.	2.	3	–	Carbono orgânico total – COT	51
5	–	APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	52		
5.	1	–	Alimentação das micro-colunas em regime de batelada	52	
5.	2	–	Evolução da absorbância	53	
5.	3	–	Variação da densidade das bactérias heterotróficas das microbiotas das micro-colunas nas três fases de ensaios estáticos.....	55	

5. 3. 1	–	Densidade das bactérias heterotróficas na Fase 1 dos ensaios estáticos com água de torneira da SABESP (COT médio = 1,4 mg/L)	56
5. 3. 2	–	Densidade das bactérias heterotróficas na Fase 2 dos ensaios estáticos com solução de água de torneira da SABESP e 10 mg/L de glicose (COT médio = 6,0 mg/L)	58
5. 3. 3	–	Densidade das bactérias heterotróficas na Fase 3 dos ensaios estáticos com solução de água de torneira da SABESP e 10 mg/L de glicose (COT médio = 6,0 mg/L)	61
5. 4.	–	Avaliação do COT nas micro-colunas com carvão ativado granular.....	62
6	–	CONCLUSÕES	67
7	–	RECOMENDAÇÕES	69
ANEXO 1- PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL DA CONTAGEM DE BACTÉRIAS HETEROTRÓFICAS			70
ANEXO 2 – BALANÇO DE MASSAS DE COT NAS MOCRO-COLUNAS ..			75

LISTA DE REFERÊNCIAS

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1	– Características dos grânulos e das micro-colunas filtrantes	44
Tabela 4.2	Principais características da água filtrada da SABESP utilizada nos ensaios estáticos	45
Tabela 5.1	– Fase 1 – Evolução da absorvância dos efluentes ao longo do tempo de inundação das micro-colunas com água de torneira da SABESP (COT = 1,4 mg/L)	53
Tabela 5.2	– Fase 1 – Contagem de placas heterotróficas nas micro-colunas alimentadas com água da torneira SABESP	56
Tabela 5.3	– Fase 2 – Contagem de placas heterotróficas nas micro-colunas alimentadas com solução de água da torneira e glicose	58
Tabela 5.4	– Fases 1, 2 e 3 – Resumo do balanço de massa de COT na coluna de carvão biologicamente ativo	63
Tabela 5.5	– Eficiências de remoção e massas removidas de COT no final das fases de testes e valores médios de CPH nas três fases de ensaios.....	64
Tabela 5.6	– Eficiências de remoção de COT da água de torneira nas fases 1, 2 e 3	65
Tabela 5.7	– Contagem de bactérias heterotróficas por mg de COT removido.....	66

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1	– Fluxograma do processo de fabricação de carvão ativado	23
Figura 3.2	– Fluxograma do processo de adsorção de carvão ativado	34
Figura 4.1	– Micro-colunas adsorvedoras 1A, 1B, 1C e 2	43
Figura 4.2	– Fluxograma da Etapa 1 – Testes estáticos com água da torneira SABESP	46
Figura 4.3	– Fluxograma das Etapas 2 e 3 – Testes estáticos com solução de glicose e água da torneira SABESP	47
Figura 4.4	– Espectrofotômetro	48
Figura 4.5	– Balança de precisão	50
Figura 4.6	– Incubadora bacteriológica termostatzada	50
Figura 4.7	– Materiais para procedimento de CPH	50
Figura 4.8	– Capela de fluxo laminar com materiais para procedimento de CPH	50
Figura 4.9	– Aplicação da amostra de efluente na Placa de Petri	50
Figura 4.10	– Espalhamento da amostra na Placa de Petri	50

Figura 4.11	– Analisador de COT e respectivo computado	51
Figura 5.1	– Fase 1 – Variação da absorbância UV 254 nm dos efluentes das micro-colunas ao longo do tempo.....	54
Figura 5.2	– Fase 1 – Variação da contagem das placas heterotróficas nas micro-colunas ao longo do tempo	56
Figura 5.3	– Fase 1 – Valores médios de contagem de placas heterotróficas	58
Figura 5.4	– Fase 2 – Variação da contagem das placas heterotróficas nas micro-colunas ao longo do tempo – água de torneira e solução de glicose.....	59
Figura 5.5	– Fase 2 - Valores médios de contagem de placas heterotróficas nas micro-colunas – água de torneira e solução de glicose	60
Figura 5.6	– Fases 1 e 2 - Valores médios de contagem de placas heterotróficas	60
Figura 5.7	– Fase 3 - Valores médios de contagem de placas heterotróficas nas micro-colunas – água de torneira glicosada – ensaio de curto prazo	61

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AHA	–	Ácido haloacético
ANA	–	Agência Nacional de Águas
ASTM	–	American Society for Testing and Materials
AWWA	–	American Water Works Association
CAG	–	Carvão ativado granular
CAP	–	Carvão ativado em pó
CETESB	–	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
COC	–	Compostos orgânicos clorados
COT	–	Carbono orgânico total
CPH	–	Contagem de bactérias heterotróficas
EPA	–	Environmental Protection Agency
ETA	–	Estação de tratamento de água
IBGE	–	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IUPAC	–	União Internacional de Química Pura e Aplicada
MON	–	Matéria orgânica natural
MIB	–	2-metil isoborneol

OD – Oxigênio dissolvido

4-CP – 4-Clorofenol

PROSAB Programa de Pesquisas em Saneamento Básico

SABESP – Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo

THM – Trihalometanos

UFC – Unidade formadora de colônia

UV – Ultra violeta

LISTA DE SÍMBOLOS

Å	– Angstrom (10^{-10} m)
b	– Constante relacionada com o calor de adsorção (L/mg)
ce	– Concentração dos adsorbatos no equilíbrio (g/dm ³)
Ce	– Concentração de equilíbrio do adsorbato na fase fluida (mg/L)
Di	– Diâmetro interno
Kf	– Constante de Freundlich (L/mg)
n	– Constante empírica (adimensional)
nm	– Nanômetro (10^{-9} m)
pH	– Potencial hidrogeniônico
qe	– Quantidade de adsorbato por unidade de adsorvente (mg/g)
Qe	– Concentração de equilíbrio do adsorbato na fase sólida (mg/g)
Qm	– Capacidade da monocamada (mg/g)
µm	– Micrômetro (10^{-6} m)

1 – INTRODUÇÃO

O setor de saneamento básico no Brasil não atende adequadamente à totalidade dos domicílios. Índices da ANA - Agência Nacional de Águas (2007) apontam que oitenta e nove por cento da população urbana tem acesso à água tratada, cinquenta e quatro por cento conta com rede coletora de esgotos, vinte e seis por cento, com tratamento de esgoto e treze por cento com coleta de resíduos sólidos domiciliares através de sistemas apropriados. De acordo com IBGE (2004), somente 28% destes resíduos são dispostos em aterros controlados e sanitários.

O desafio para a obtenção da água potável cresce: os mananciais superficiais estão cada vez mais poluídos devido à disposição inadequada dos resíduos sólidos e à falta de tratamento adequado dos efluentes provenientes do comércio, do campo e principalmente das indústrias, onde inúmeros são os produtos químicos contaminantes lançados indevidamente no corpo hídrico; as águas subterrâneas não recebem a devida relevância, pois se perdem oportunidades do uso de seu potencial para o desenvolvimento sustentável e para o controle e a mitigação de ameaças à sua sobre-exploração e contaminação (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2007).

Os processos convencionais de tratamento da água nem sempre são suficientes para torná-la própria ao consumo humano, o que tem chamado a atenção de especialistas na área, que buscam a implementação de novas tecnologias.

A aplicação de carvão ativado granular em sistemas de tratamento de água, foco de pesquisas sistemáticas desde o final da década de setenta, alia a propriedade de remoção de sólidos particulados dos filtros das estações de tratamento convencionais, à eliminação de gosto e odor da água e à remoção de matéria orgânica afluyente aos mesmos.

O carvão ativado é um material adsorvente derivado da madeira, carvão betuminoso, lignite ou outro material de origem vegetal ou mineral que contenha carbono na sua

composição. Sua elevada área superficial auxilia na adsorção de moléculas tanto em fase líquida, quanto em fase gasosa (BANSAL et al., 1988 *apud* MORENO; ALBUQUERQUE JUNIOR; FRANCO, 2005).

A remoção adequada de Carbono Orgânico Total (COT) no tratamento da água é de muita valia, pois ele pode formar, na presença de cloro residual, subprodutos tais como trihalometanos (THM) e ácidos haloacéticos (AHA), prejudiciais à saúde dos consumidores da água (BOTELHO; LAGE FILHO, 2006).

Baixos teores de carbono orgânico na água filtrada minimizam o potencial de recrescimento biológico bacteriano na rede de distribuição, de modo a promover a estabilidade biológica da água potável, e implicam na redução significativa da dosagem de cloro, diminuindo a formação de produtos organoclorados e contribuindo para a mitigação da corrosão química na tubulação.

Há também estudos que comprovam a remoção de íons metálicos tóxicos em sistemas contendo filme biológico e carvão ativado granular (TAVARES; SILVA, 2001).

A capacidade de biorregeneração do CAG, ou seja, a recuperação de seu potencial de adsorção pela biodegradação dos compostos orgânicos adsorvidos ao mesmo, torna-o ainda mais eficaz, pois nesse processo, sítios de adsorção do CAG são restaurados (CHUDYK; SNOEYINK, 1984).

Tendo em mente o enfoque deste trabalho de Mestrado, a biorregeneração está diretamente ligada à atividade (especificamente em termos de crescimento celular) de uma microbiota heterogênea em carvão ativado granular que se torna capaz, após um período de tempo inicial de adaptação, de remover compostos orgânicos altamente biodegradáveis, mesmo na presença de concentrações significativas de compostos inibitórios e tóxicos que interferem negativamente no CAG por reações químicas e pela ocupação de sítios de adsorção no mesmo.

Um biorreator com CAG é resistente a choques de materiais tóxicos, agregando a capacidade de adsorção do CAG a um tratamento biológico (CARVALHO; VASCONCELOS; BULL; CASTRO, 2001).

Perante todos esses benefícios obtidos com a utilização do carvão granular biologicamente ativo no processo de tratamento de água e esgoto, decidiu-se fazer uma investigação experimental a partir da aplicação do mesmo em reatores de micro-colunas adsorvedoras pós-filtração de batelada.

O primeiro enfoque do trabalho foi a avaliação da possibilidade de desenvolvimento de uma microbiota no interior de micro-colunas de adsorção de CAG, tendo como afluente água filtrada clorada (residual de cloro livre variando entre 0,3 e 0,5 mg/L) e com baixa concentração de carbono orgânico total (1,4 mg/L).

O segundo enfoque foi a análise do potencial de co-metabolismo e biorregeneração em micro-colunas de adsorção em CAG, tendo como afluente uma solução de água filtrada clorada (residual de cloro livre variando entre 0,3 e 0,5 mg/L) e glicose, um composto orgânico alta e facilmente bioassimilável, com concentração resultante de COT de 6,0 mg/L.

A glicose foi escolhida não somente por ser altamente biodegradável, mas também por representar, para a microbiota presente na superfície e interior dos poros do CAG, um substrato principal que suportaria o crescimento bacteriano, permitindo o co-metabolismo, e por não ser adsorvida pelo CAG pelo fato de ser solúvel em água.

Finalmente, cabe uma explicação: esta é a edição revisada da Dissertação de Mestrado elaborada após a Defesa da mesma, em vinte e dois de abril de 2008. Foram efetuadas alterações e acréscimos de textos e o título original (“Avaliação do desenvolvimento da microbiota e da remoção de COT em filtros biologicamente ativos”) tornou-se inadequado; no entanto, segundo o Regulamento Interno da USP, não é permitido alterá-lo.

Um título adequado seria: “Avaliação do desenvolvimento da microbiota, da remoção de COT e do co-metabolismo e da biorregeneração do CAG em micro-colunas adsorvedoras pós-filtração de batelada na presença de residual de cloro livre”.

2. OBJETIVO

Esta investigação experimental tem três objetivos principais:

- Avaliar o potencial de remoção de COT de um mesmo tipo de CAG em diversas micro-colunas de adsorção pós-filtração, operando em regime de batelada e na presença de cloro livre, sob duas condições de alimentação:
 - alimentação com água filtrada com residual de cloro livre e com baixo teor de COT (1,4 mg/L);
 - alimentação com uma solução de glicose e água filtrada com residual de cloro livre, numa concentração de 6,0 mg/L de COT.
- Verificar a existência de co-metabolismo na segunda condição;
- Avaliar a influência da faixa de diâmetro de grânulos de CAG sobre o desenvolvimento de microbiotas em colunas adsorvedoras pós-filtração contendo o mesmo tipo de CAG; e
- Averiguar a biorregeneração pelas micro-colunas adsorvedoras.

3 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 – O carvão ativado

Carvão ativado é um material poroso de origem natural, com área específica elevada (600 a 1.200 m²/g), produzido por processo controlado a partir de matérias-primas duras que contêm carbono na sua composição (MIOZZO, 2007).

No Brasil, as matérias-primas mais utilizadas na sua fabricação são madeiras de *pinus*, acácia e cascas de coco, além dos ossos de animais usados para a produção de um tipo específico de carvão ativado. Menos comum no país e de origem mineral, a hulha e o antracito são opções para a sua formulação, de acordo com Mucciacito (2006).

Mucciacito (2006) detalhou o processo de geração de carvão ativado granular, como segue: “Os processos de ativação de carvões são comumente definidos em químicos e físicos. Nos processos físicos de ativação, o material carbonáceo é submetido a um estágio denominado carbonização. Neste estágio, a umidade e materiais voláteis são removidos através da elevação da temperatura sob condições atmosféricas controladas. Na etapa seguinte, de Ativação, são injetados no material os agentes ativantes, normalmente ar, vapor ou gás carbônico, a temperatura de 800 a 1.000°C. Nesta fase, ocorrem reações e uma mistura de gases, composta principalmente de monóxido de carbono e hidrogênio, é liberada. Os gases são produzidos como consequência da reação do agente ativante com o material carbonáceo, sendo que o consumo do carvão resultante produz a estrutura porosa. Após a ativação, o carvão é submetido a etapas subseqüentes, entre elas o resfriamento, o peneiramento, a lavagem, a secagem, a moagem, o polimento, a separação granulométrica e a embalagem. No processo químico de Ativação, o material a ser ativado é colocado em contato com um agente químico, como ácido fosfórico ou cloreto de zinco. A mistura é submetida ao aquecimento sob condições controladas para ocorrer a

ativação. O agente ativante deve ser removido posteriormente pela lavagem do material”.

A Figura 3.1 ilustra o processo de fabricação do carvão ativado.

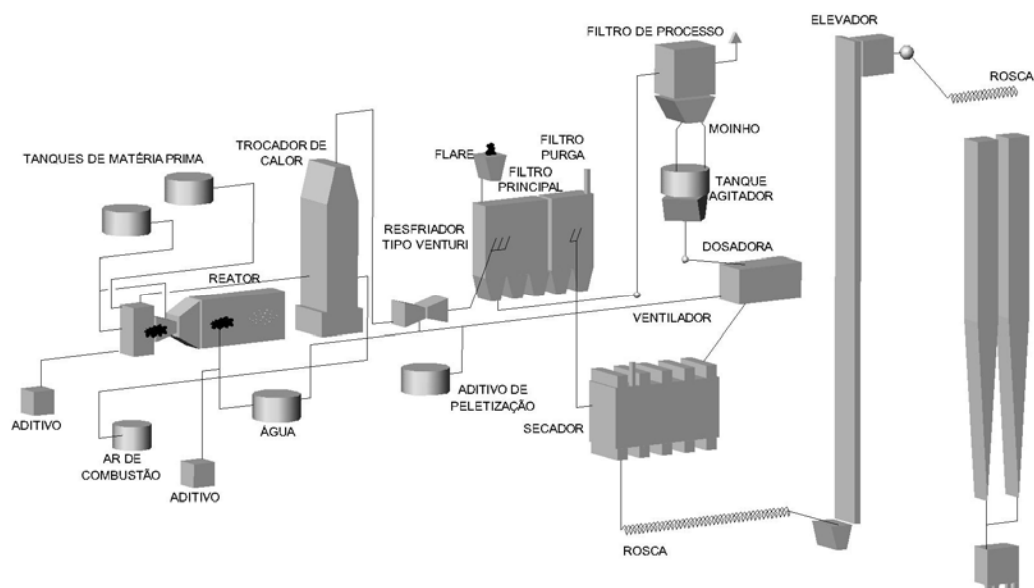


Figura 3.1 – Fluxograma do processo de fabricação de carvão ativado
 Fonte: MUCCIACITO (2006).

O processo de ativação do carvão promove um aumento de sua área superficial interna (600 a 1.200 m²/g), “que o torna propício para a adsorção de compostos causadores de sabor e odor, cor, excesso de cloro, substâncias tóxicas e mutagênicas, precursores de trihalometanos, pesticidas, compostos fenólicos, tinturas, íons metálicos tóxicos e substâncias que provocam o crescimento biológico após a filtração”(BITTON, 1999).

Quando se deseja obter um carvão ativado de grande porosidade, apenas o procedimento da pirólise (carbonização) é utilizado para fabricá-lo; no entanto, a maioria dos tipos de carvão requer a segunda etapa de fabricação: a ativação através da oxidação. Durante a oxidação, ocorre uma erosão na superfície interna do carvão, desenvolvendo uma ampla e fina rede de poros (COONEY, 1998).

A capacidade de adsorção do carvão de diferentes materiais está fortemente vinculada ao tempo de ativação durante o seu processo de fabricação, de acordo com Cooney (1998). Quanto maior é o tempo de ativação, mais poros são gerados e a área superficial interna aumenta constantemente até uma determinada fase, onde o material sólido fica novamente susceptível ao processo de erosão e a consequência é a geração de poros com grandes dimensões e a redução total da área superficial interna.

Devido às suas propriedades de adsorção, o carvão ativado é utilizado em vários processos industriais como purificação, desintoxicação, desodorização, filtração, descoloração e descloração, dentre outras aplicações, podendo ainda ser empregado em vários ramos de atividades, tais como nas indústrias alimentícia e farmacêutica, e principalmente, no tratamento de água potável (COUTINHO et al., 2000 apud MORENO; ALBUQUERQUE JUNIOR; FRANCO, 2005).

“A maioria das formas de carvão ativado são de natureza apolar, e por isto, eles têm maior afinidade com outras substâncias apolares. Como resultado, são mais efetivos na remoção de uma variedade de contaminantes orgânicos, inclusive precursores de trihalometanos, praguicidas e herbicidas, bem como hidrocarbonetos aromáticos polinucleares. Pode ser também usado para a remoção de íons metálicos tóxicos, tais como cádmio e chumbo. Carvões ativados, por outro lado, não removem eficazmente contaminantes de alta solubilidade, ou alguns sais como nitratos” (RIBEIRO; BRESAOLA JÚNIOR, 2000).

O carvão ativado possui área superficial interna e porosidade bastante desenvolvida, permitindo-lhe adsorver moléculas tanto em fase líquida quanto em fase gasosa. Para

tal processo, é de suma importância o desenvolvimento de microporos (microporos secundários com $0,8 < d_i < 2 \text{ nm}$ e microporos primários com $d_i < 0,8 \text{ nm}$) e mesoporos ($2 < d_i < 50 \text{ nm}$), em sua superfície (BANSAL et al., 1988 *apud* MORENO; ALBUQUERQUE JUNIOR; FRANCO, 2005).

O carvão ativado pode ser usado na forma pulverizada - Carvão Ativado em Pó (CAP), composto por partículas predominantemente menores que a malha 80 mesh (equivale a 0,18 mm de abertura, de acordo com a ASTM) ou na forma granular – Carvão Ativado Granular (CAG), com os grânulos predominantemente maiores que a mesma malha (MIOZZO, 2007).

Nas Estações de Tratamento de Água convencionais brasileiras, o CAP é o mais utilizado; contudo, no tratamento de água por filtração direta, seu emprego é mais restrito, pois o excesso de material em suspensão, ocasionado pela adição do carvão, pode causar sobrecarga de sólidos nos filtros, reduzindo a carreira de filtração. Entretanto, os resultados preliminares de pesquisas que vêm sendo realizadas no âmbito do PROSAB (Programa de Pesquisas em Saneamento Básico) são indicativos de que o CAP pode ser utilizado na filtração direta com dosagens relativamente altas, desde que seja adotada a dupla filtração, uma vez que as unidades de filtração ascendente retêm a maioria dos sólidos em suspensão, atenuando a sobrecarga de sólidos na unidade de filtração descendente. Quanto ao CAG, não há diferença em relação ao seu emprego quando se compara a filtração direta com as demais tecnologias de tratamento (DI BERNARDO, 2003).

Os CAGs são indicados para aplicações em fase líquida ou gasosa. Produzidos a partir de matérias-primas duras e por processo controlado, resultam em um produto de rígida estrutura. Isto proporciona alta dureza, permitindo regenerações sucessivas, tornando econômicos muitos processos que operam em leitos (MIOZZO, 2007).

A seguir, são apresentadas as principais características do carvão ativado granular:

- **Tamanho dos grãos:** geralmente entre 0,42 e 2,4 mm (DI BERNARDO,1993).
- **Estrutura do poro:** o tamanho dos poros pode variar de 10 a 100.000 Angstroms (Å) (correspondente a 1 a 10.000 nm) e controlam os tamanhos das moléculas que são acessíveis a eles (COONEY, 1998). A União Internacional de Química Pura e Aplicada (IUPAC) classifica os poros do carvão ativado em macroporos ($D_i > 50\text{nm}$), mesoporos ($2 < D_i < 50\text{nm}$), microporos secundários ($0,8 < D_i < 2\text{nm}$) e microporos primários ($D_i < 0,8\text{nm}$) (PELEKANI; SNOEYINK, 2000 *apud* MORENO; ALBUQUERQUE JUNIOR; FRANCO, 2005).

Os poros têm uma área superficial interna de 400 a 1500 m²/g e um volume de 0,1 a 0,8 mL/g e como resultado, tem uma capacidade de adsorção de 0,2g de adsorbato (material a ser adsorvido) por grama de adsorvente (material onde se faz a remoção), dependendo da concentração ou tipo de adsorbato (MWH, 2005).

- **Coefficiente de desuniformidade:** compreendido entre 1,7 e 2,0 para que ocorra estratificação durante a lavagem (DI BERNARDO,1993).
- **Massa específica:** varia entre 350 e 500 kg/m³ (considerando a porosidade no valor de 0,4 a 0,5) e a massa específica dos grãos molhados entre 1300 a 1500 kg/m³ (DI BERNARDO,1993).
- **Índice de iodo:** através do qual se determina a quantidade de iodo que é adsorvida em condições específicas de ensaio (DI BERNARDO,2003). Valores típicos do número de iodo para um bom CAG são de 800 a 1.000 mg/g (COONEY, 1998).

- **Número de azul de metileno** indica quantos miligramas de azul de metileno são adsorvidos por grama de carvão ativado em equilíbrio com uma solução de 1mg/L de azul de metileno. O azul de metileno tem um peso molecular de 320 Daltons e um diâmetro molecular efetivo de 15 Å e indica a capacidade de adsorção de moléculas de carbono para esse tamanho (COONEY, 1998).
- **Atividade do Tetracloreto de carbono (CCl₄):** é um bom indicador do volume total de poros, pelo fato do CCl₄ ser uma molécula pequena e poder penetrar entre os poros. No teste (ASTM D3467) específico, um fluxo de ar é saturado com CCl₄ a 0°C e atravessa uma camada de carvão a 25°C até que não haja mais mudança de massa. Valores típicos são da ordem de 60 a 80% e expressam a porcentagem de massa de CCl₄ adsorvido por unidade de massa de carvão (COONEY, 1998).

3.2 – O carvão biologicamente ativo

O biorreator com carvão ativado granular agrega a capacidade de adsorção do carvão a um tratamento biológico, onde a superfície irregular do CAG promove nichos para colonização de bactérias, protegidas de forças maiores de fluxos, enquanto a variedade funcional dos grupos na superfície pode aumentar o ataque de microrganismos. Nesse sistema, a biomassa é ativa até em baixas concentrações de compostos orgânicos, sendo menos sensível à presença de materiais tóxicos e inibidores e mais resistentes a choques de carregamento de materiais tóxicos que dispersam o crescimento no sistema (CARVALHO; VASCONCELOS; BULL, CASTRO, 2001).

Colunas de carvão biologicamente ativo são conhecidas como ambiente suporte de vários organismos capazes de degradar o carbono orgânico presente na água, de acordo com AWWA (1999a), principalmente por meio da ação das bactérias heterotróficas, que atacam o biofilme existente de matéria orgânica, utilizando-o como fonte de energia e carbono (AWWA, 1999b).

De acordo com Bitton (1999), o crescimento bacteriológico no carvão ativado pode ser implementado com ozonização prévia, que torna, na maioria dos casos, a matéria orgânica mais biodegradável e com caráter mais hidrofílico.

Ainda segundo o mesmo autor, a comunidade bacteriológica é em sua maioria composta por bactérias aeróbias, gram-negativas, oxidase-negativas, catalase-negativas, bastonetes móveis agrupados coletivamente como biotipo I. Outros gêneros de bactéria são *Pseudomonas*, *Acinetobacter*, *Enterobacter*, e *Moraxella*. Bactérias patogênicas podem ter sucesso em colonizar o meio, porém podem ser inibidas por microrganismos presentes no carvão biologicamente ativo. Esse fenômeno é atribuído à competitividade nutricional.

Segundo Rittmann et al. *apud* Lage Filho (2005), o carvão biologicamente ativo contribui na:

- Redução de gosto e odor;
- Eliminação da pré-cloração (ponto altamente discutível);
- Redução de doses de cloro na pós-cloração;
- Redução de custos de operação;
- Menor depleção de oxigênio dissolvido;
- Redução da geração de compostos organoclorados (trihalometanos, ácidos haloacéticos) por ocasião da desinfecção com cloro;
- Coibição do recrescimento biológico na rede de abastecimento, de modo a promover a estabilidade biológica da água potável; e

- Mitigação da corrosão química na tubulação metálica de água potável, já que o cloro é um agente agressivo às mesmas.

Além desses benefícios, cargas de choque de poluentes em um reator de carvão biologicamente ativo podem ser temporariamente adsorvidas e mais tarde biodegradadas pela população microbiológica, havendo, dessa forma, mais tempo para o biofilme de microrganismos mineralizar os compostos (ABU-SALAH et al. 1996; KHODADOUST et al, 1997; CARVALHO et al. 2001 *apud* CARVALHO; DUQUE; GONÇALVES, CASTRO, 2006).

Metais também podem ser removidos por carvão biologicamente ativo. Tavares e Silva (2001) realizaram pesquisas de biossorção (capacidade da biomassa em concentrar metais e outras substâncias por processos físico-químicos de adsorção ou de troca iônica) em micro-colunas de leito expandido de carvão ativado granular em soluções metálicas diluídas em concentração menor que 100 mg/L, onde puderem observar a remoção de pequenas concentrações de cromo (20 mg de cromo por grama de carvão).

A EPA - Environmental Protection Agency (2005) destacou como os principais pontos positivos na utilização do CAG, a remoção efetiva de compostos orgânicos sintéticos e compostos orgânicos voláteis e a melhoria da qualidade estética da água; e considerou como pontos negativos, o fato de co-contaminantes poderem interferir com a adsorção de contaminantes-alvo e que o CAG deve ser regenerado ou substituído periodicamente.

De acordo com a CH2m-Hill (2001), apesar do custo com a aplicação e operação do meio filtrante CAG ser elevado, principalmente pelo mesmo exigir regenerações e/ou substituições constantes dos grânulos, há um ganho financeiro no processo posterior de desinfecção com cloro ou cloramina, pois haverá uma menor demanda dos mesmos devido à redução dos compostos orgânicos presentes na água.

Um estudo desenvolvido pela AWWA (1999a) constatou que filtros biologicamente ativos são ambiente suporte de vários organismos capazes de degradar o carbono orgânico presente no afluente do filtro e podem, no entanto, abrigar organismos patogênicos oportunistas capazes de penetrar no efluente do filtro e conseqüentemente atingir a rede de distribuição de água potável. Tal estudo avaliou a capacidade de sobrevivência de quatro tipos de bactérias patogênicas (*Escherichia coli* O157:H7, *Salmonella typhimurium*, *Aeromonas hydrophila* e *Klebsiella pneumoniae*) e de protozoários patogênicos (*Giardia* e *Cryptosporidium*) em filtros biologicamente ativos e em filtros convencionais com meio filtrante de antracito em escala piloto. Em ambos, o número de bactérias declinou rapidamente, mas as mesmas puderam ser ainda detectadas no efluente do filtro e no meio filtrante duas semanas após os testes. *Giardia* e *Cryptosporidium* tiveram um comportamento similar, demonstrando que esses organismos não atacam os filtros em quantidades significantes.

Problemas surgem quando as bactérias que atacaram o filme biológico são liberadas para fora dele, ou quando elas alcançam o sistema de distribuição de água. Alguns carvões podem induzir o recrescimento do potencial patogênico na rede (BITTON, 1999).

A publicação “Microbial Impact of Biological Filtration” (AWWA, 1998) sugere que os finos do carvão granular biologicamente ativo influenciam a atividade biológica, desencadeando o surgimento e crescimento bacteriológico na rede de distribuição de água e conseqüentemente impactando diretamente na determinação do COT da mesma.

Peruso (2003) realizou um estudo experimental e numérico sobre a adsorção de corantes em colunas de diferentes diâmetros com leito fixo, contendo carvão ativado granular, e constatou que a diminuição do diâmetro da coluna implica numa saturação mais rápida do adsorvente. Explicou que o resultado obtido foi devido ao fato da coluna de menor diâmetro possuir uma quantidade inferior de carvão no leito de adsorção e portanto uma menor capacidade de adsorção de corante; salientou

também que a diminuição da área transversal aumenta a velocidade intersticial do fluido para uma vazão constante, influenciando indiretamente no coeficiente de transferência de massa.

Carvalho et al. (2001) investigaram a degradação de 4-clorofenol (4-CP) por um consórcio bacteriano obtido de amostras de rizosfera de um junco (*Phragmites australis*), na faixa de concentrações de 20 a 50 mg/L, em uma coluna de biofilme em CAG, de fluxo contínuo, com tempo de detenção hidráulico de dezessete minutos, durante um período de seis meses.

O consórcio bacteriano para o reator de biofilme foi obtido da mistura de sobrenadante (extraído por centrifugação) de solução de solo da rizosfera acrescida de sais minerais com uma solução de batelada de 300 mL de meio de cultura com teor mínimo de sais minerais.

As eficiências de remoção de 4-CP estiveram na faixa de 69 a 99 %. Períodos de desempenho inferior do biorreator foram atribuídos a entupimento da coluna com biomassa e a formação de canais.

O biofilme imobilizado foi submetido a um período de cinco meses de privação de alimento, e ainda assim, sua capacidade degradativa foi mantida. Mudanças dinâmicas no consórcio bacteriano durante o período de fluxo contínuo foram observadas. O biofilme isolado demonstrou capacidade de degradar 4-CP como única fonte de carbono e energia.

3.2.1 – Mecanismos de adsorção e degradação biológica de contaminantes em colunas com carvão biologicamente ativo

3.2.1.1-Considerações iniciais

A adsorção é um fenômeno de superfície, no qual o soluto é removido de uma fase e acumulado na superfície. O material inicialmente adsorvido é o adsorbato, e o material onde se faz a remoção é chamado de adsorvente (KOUYOUMDJIEV, 1992 *apud* PERUZZO, 2003).

Quando o carvão ativado é colocado em contato com o soluto, há um decréscimo de sua concentração na fase líquida e um aumento correspondente sobre a superfície do carvão ativado, até se obter uma condição de equilíbrio (MUCCIACITO, 2006). O processo de adsorção propriamente dito é realizado, ou seja, é efetuada a ligação entre o adsorbato e o adsorvente, que pode ser uma ligação puramente eletrostática ou associada a interações de London – Van de Walls (adsorção física) ou a uma ligação química (adsorção química) (FERREIRA FILHO, 1997).

A reversibilidade da adsorção física depende das forças atrativas entre o adsorbato e o adsorvente. Se estas forem fracas, a dessorção ocorre com certa facilidade. No caso de adsorção química, as ligações são mais fortes e energia seria necessária para reverter o processo (MUCCIACITO, 2006).

A adsorção de compostos orgânicos de soluções aquosas sobre carvão ativado é resultado das propriedades hidrofóbicas do adsorbato e/ou alta afinidade dos compostos orgânicos pelo adsorvente (CHANG et al., 1981 *apud* SOARES, 1998). Entretanto, a natureza exata ainda não está completamente entendida (SOARES, 1998).

3.2.1.2- Cinética da adsorção

De acordo com FERREIRA FILHO (1997), a cinética da adsorção em carvão ativado pode ser modelada através de um conjunto de equações diferenciais, de modo a representar o transporte do adsorvato na fase líquida até o interior do adsorvente.

Essa modelagem matemática é contemplada por três etapas que devem ser inteiramente concluídas para que possa ocorrer a adsorção física ou química FERREIRA FILHO (1997). São elas:

a – Transporte das moléculas do adsorvato da fase líquida para a camada limite que circunda o adsorvente. Este mecanismo de transporte pode ocorrer por processo de difusão ou por processos turbulentos, dependendo das condições hidráulicas do escoamento no entorno do adsorvente.

b- Transporte, por processo de difusão molecular, do adsorvato da camada limite até a superfície externa do adsorvente.

c – Uma vez que o adsorvato tenha ultrapassado a camada limite que circunda o adsorvente, o transporte passa a ocorrer no seu interior. Este transporte intraparticular pode ocorrer através de difusão molecular ao longo dos vazios internos da partícula, como também por difusão através da superfície interna do adsorvente.

Após o encontro de um sítio de adsorção vazio, o processo de adsorção propriamente dito é realizado, ou seja, é efetuada a ligação entre o adsorvato e o adsorvente. A Figura 3.2 resume todo esse processo.

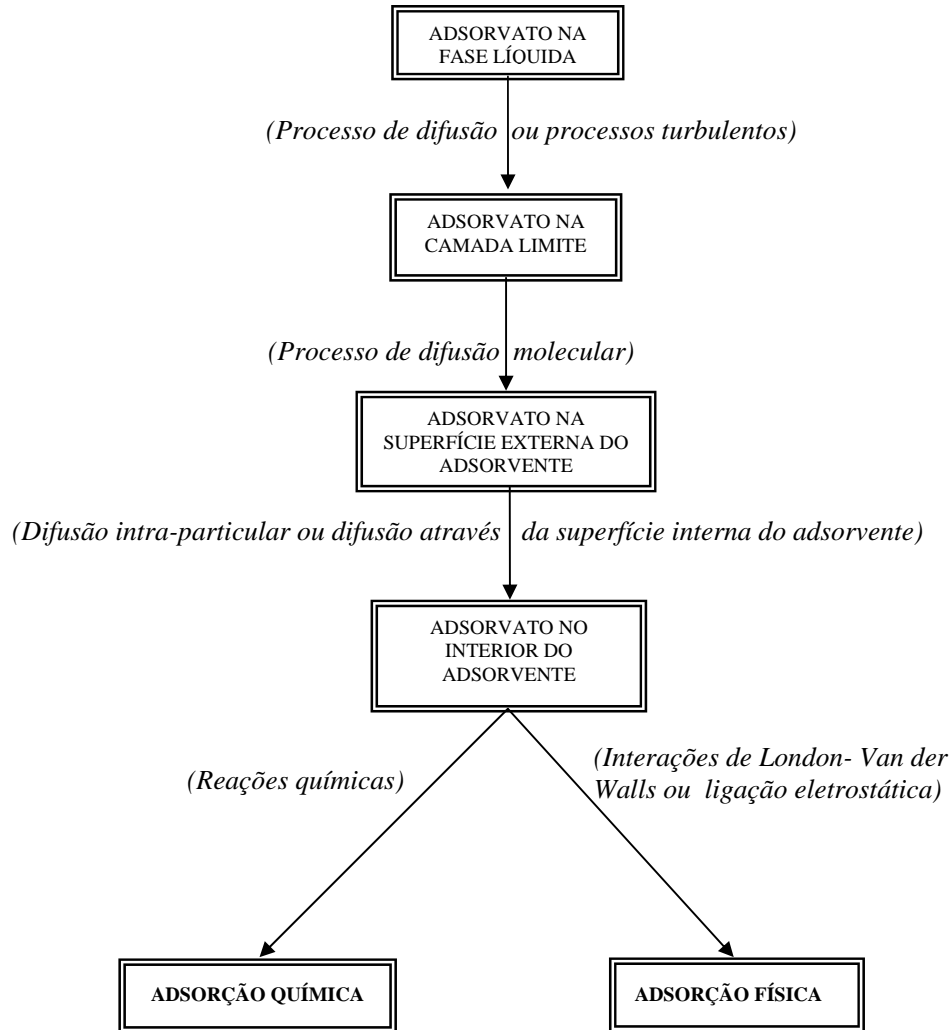


Figura 3.2 - Fluxograma do processo de adsorção do carvão ativado

3.2.1.3- Isotermas de adsorção

A adsorção pode ser modelada através das isotermas, expressões que relacionam a quantidade de soluto adsorvido e a concentração do soluto na fase líquida numa temperatura constante (COONEY, 1998), e são aplicadas em projetos de equipamento industrial e/ou na determinação das condições de operação em planta (PERUZZO, 2003).

Várias características da termodinâmica da adsorção em colunas de leito físico tornam a tarefa de modelagem e simulação particularmente difícil. Essas incluem a não linearidade das isotermas de equilíbrio de adsorção, os efeitos de interferência devido à competição do soluto por sítios adsorventes, a resistência à transferência de massa entre a fase líquida e a fase sólida e o fenômeno de dispersão fluidodinâmica (HACZMARSKI et al., 1997 *apud* PERUZZO, 2003).

Isoterma de Langmuir

A isoterma de Langmuir é válida para adsorção em monocamada numa superfície que contém um número finito de sítios idênticos de adsorção (McKAY; BLAIR & GARDNER, 1982 *apud* SOARES, 1998).

A energia de adsorção sobre a superfície é considerada uniforme, cada sítio pode ser ocupado por uma única molécula e quando as moléculas adsorvidas ocupam sítios vizinhos, estas não interagem entre si (PERUZZO, 2003).

A relação da concentração na fase fluida e na fase sólida é descrita pela seguinte equação semi-empírica:

$$Q_e = \frac{Q_m \cdot b \cdot C_e}{1 + b \cdot C_e}$$

onde:

Q_e = concentração de equilíbrio do adsorbato na fase sólida (mg/g)

Q_m = capacidade da monocamada (mg/g)

b = constante relacionada com o calor de adsorção (L/mg)

C_e = concentração de equilíbrio do adsorbato na fase fluida (mg/L)

Isoterma de Freundlich

A isoterma de Freundlich considera a adsorção em multicamadas e é útil para descrever a adsorção em superfícies altamente heterogêneas e, em muitos casos, fornece uma representação do equilíbrio de adsorção de um único soluto melhor do que a isoterma de Langmuir (FRITZ & SCHLÜNDER, 1981 *apud* SOARES,1998). É um modelo empírico baseado na distribuição do soluto entre as fases líquida e sólida (NG *et al.*, 2002 *apud* MORENO; ALBUQUERQUE JUNIOR; FRANCO, 2006).

Esta possui a seguinte forma geral:

$$q_e = k_f \cdot c_e^{1/n}$$

onde:

q_e = quantidade de adsorvato por unidade de adsorvente (mg/g)

K_f = constante de Freundlich (L/mg)

n = constante empírica, (adimensional)

c_e = concentração dos adsorbatos no equilíbrio (g/dm^3)

De acordo com Moreno, Albuquerque Junior; Franco (2006), a constante de Freundlich (K_f) indica a capacidade de adsorção do CAG e constante empírica n , afinidade do adsorvente pelo adsorbato (quanto maior o n , mais afinidade o adsorbato terá pelo adsorvente).

Interpretação de isotermas

PERUZZO (2003) cita regras básicas e advertências práticas na interpretação de uma isoterma, apresentadas a seguir:

- Uma curva de isoterma plana indica uma pequena zona de transferência de massa, o que caracteriza que o agente adsorvente geralmente adsorve compostos com uma capacidade constante em uma faixa de concentração de equilíbrio.
- Uma curva de isoterma inclinada indica ampla zona de transferência de massa, com capacidade de adsorção que aumenta com o aumento de concentração de equilíbrio na fase fluida. A inclinação da isoterma geralmente ocorre para um efluente que contém vários compostos com capacidades variáveis de adsorção. Um ponto de inflexão ocorre quando um composto preferencialmente é adsorvido sobre outro e a dessorção (regeneração do adsorvente) ocorre para que o composto preferencialmente adsorvido possa utilizar sítios previamente ocupados pelo composto menos adsorvido.

3.2.1.4 - Fatores que interferem na adsorção

De acordo com Miozzo (2007), quando a ligação química entre o adsorvente (carvão ativado) e o material adsorvido (matéria orgânica dissolvida) é forte, o processo é irreversível e definido como adsorção química; por outro lado, se a ligação é fraca, existe a possibilidade de a reação ser revertida, pois ela é apenas física, e pode resultar em alteração na concentração do material adsorvido.

Segundo Le Bec (1996), a propriedade de adsorção de compostos orgânicos, somada à de realização de atividade biológica do CAG, contribuem para a biodegradabilidade de compostos orgânicos. Além disso, a elevada capacidade de adsorção do CAG permite a remoção de moléculas recalcitrantes, como os pesticidas.

Nesse sentido, o tamanho dos poros não é fundamental na remoção dos compostos adsorvidos em fase líquida, segundo Miozzo (2007), que considera que vários fatores afetam a taxa de adsorção: a transferência de massa do adsorvato para o carvão

ativado, a concentração e natureza do material a ser adsorvido, o tamanho da partícula, a área de superfície do poro, o tipo do carvão ativado e a presença de filme biológico na superfície do grão de carvão ativado.

“A adsorção é afetada de maneira especialmente curiosa pelo filme biológico que se forma rapidamente nos grãos de carvão ativado. Como são muito oportunistas, as bactérias presentes na água logo colonizam o carvão ativado formando um filme de material biológico. O filme de bactérias aumenta a transferência de massa de matéria orgânica dissolvida para dentro dos grãos de carvão e promove a continuidade da remoção de matéria orgânica dissolvida após a capacidade física do carvão ser exaurida. Esse processo se dá porque no filme de bactérias existe a presença de bactérias heterotróficas” (MIOZZO, 2007, p.2).

Gillogly et al. (1999) desenvolveram testes em escala de laboratório utilizando colunas filtrantes de CAG e constataram a mesma eficiência na remoção de sabor e odor de águas quando comparados com projetos-piloto de estações de tratamento de água.

Durante esses testes, foi feito um estudo comparativo da eficiência da remoção do 2-metil isoborneol (MIB), um representante de composto com sabor e odor, variando sua concentração como soluto e a concentração da matéria orgânica do meio líquido. Eles concluíram que a eficiência na remoção de MIB não dependia de sua concentração, mas sim da concentração de matéria orgânica adsorvida presente na superfície interna do CAG. Nesta série de testes, CAG removeu menos MIB durante episódios de baixa concentração de matéria orgânica do que quando precedidos de episódios de alta concentração da mesma.

De acordo com Cooney (1998), quando há área superficial de carvão ativado disponível, a presença de diversos solutos implica invariavelmente na competição pela adsorção. Em muitos casos, na situação de competição, a adsorção de um dos tipos de soluto pode ser reduzida.

Além da característica do adsorvente e adsorbato, a natureza da fase líquida, como pH, viscosidade e temperatura e, a operacionalização do filtro, incluindo o tempo de contato, a intensidade e a frequência de lavagem do filtro, também influem na sua capacidade de adsorção.

CH2m-Hill (2001) afirma que os principais mecanismos que atuam no desempenho adsorativo do CAG na remoção de subprodutos da desinfecção e compostos de carbono orgânico são o tamanho da partícula (quanto menor a partícula, maior será a área superficial e portanto maior será a capacidade de adsorção), o tempo de contato (o tempo de contato e a profundidade devem ser suficientemente grandes para promover um bom nível de tratamento, usualmente determinado através de testes de escala de bancada, sendo o valor típico requerido de 10 minutos) e a dureza do GAC (a dureza do carvão pode minimizar seus índices de perda durante o manuseio e regeneração, e reduzir a quantidade mínima de retro-lavagem requerida).

3.3 – O co-metabolismo e a biorregeneração no carvão biologicamente ativo

A biorregeneração envolve dessorção do composto adsorvido do CAG para a solução do carvão biologicamente ativo, seguida da biodegradação desse composto (HA; VINITNANTHARAT; OSAKI, 2000 e CHUDYK; SNOEYINK, 1984), conforme já esclarecido na introdução desse trabalho.

A microbiota em um biorreator contendo CAG pode ser afetada pela presença de metabolitos recalcitrantes, os quais podem inibir a atividade microbiana. A presença adicional de um composto químico facilmente biodegradável pode promover o desenvolvimento significativo da microbiota via assimilação do mesmo e também, após período de adaptação, pela degradação do composto recalcitrante, pelo processo denominado co-metabolismo.

São relatadas, a seguir, várias pesquisas na área de biorregeneração do CAG, efetuadas no período de 1984 a 2006.

Chudyk e Snoeyink (1984) definiram biorregeneração como sendo um aumento da capacidade adsorviva do CAG resultante da remoção, pela microbiota, de material adsorvido no CAG. Segundo eles, a biorregeneração de compostos em colunas de carvão biologicamente ativo pode ocorrer até mesmo se os compostos não tiverem sido adsorvidos, e este fato também pode aumentar a vida útil das colunas.

Eles observaram conclusivamente a biorregeneração de CAG sob condições típicas de operação de estação de tratamento de água (ETA) pela primeira vez na literatura, com a aplicação de afluente em coluna pré-saturada com fenol em escala de bancada. A coluna de CAG foi alimentada (técnica de enriquecimento contínuo) com inóculo composto de microbiota em meio de cultura mineral em pH 7,5 (contendo cloretos de ferro, sódio, cálcio, magnésio, bifosfato de potássio e sulfato de amônio) acrescido de 2 mg/L de fenol, sendo ainda oxigenado à saturação com 9 mg ar/L na entrada da coluna.

A biorregeneração que ocorreu foi suficiente para abaixar significativamente a concentração de efluente resultante de um pulso de fenol (150 mg/L por uma hora), comparada com um pulso similar em coluna não-inoculada.

Chudyk e Snoeyink (1984) observaram ainda que, quando a concentração de OD (oxigênio dissolvido) estava em torno de 4 mg/L, não houve biorregeneração

Walker e Weatherly (1998) investigaram a biorregeneração em um sistema de carvão biologicamente ativo e utilizaram corante Azo como adsorvato. O conjunto Azo/CAG era de difícil regeneração, devido à dessorção fraca do corante. No entanto, o sistema adsorvedor foi regenerado pela utilização de um consórcio bacteriano onde predominava *Flavobacterium sp.*; tal microbiota conseguiu quebrar as ligações e degradar o corante Azo. Assim, as bactérias foram bem sucedidas na colonização dos macroporos do CAG. Os resultados foram apoiados pela hipótese da regeneração do adsorvente ocorrendo pela dessorção do adsorvato da estrutura de poros para a biomassa nos macroporos do adsorvente.

Ha, Vinitnantharat e Osaki (2000) avaliaram o papel de uma microbiota heterogênea, obtida numa estação de tratamento de águas residuárias de uma indústria química, acrescida de uma mistura de fenóis e 2,4-diclorofenol em um biorreator seqüencial de batelada com CAG na biorregeneração do carvão. Pelo aumento do tempo de detenção no reator de três para oito dias, foi observado que as eficiências de biorregeneração para fenóis e para 2,4-diclorofenol aumentaram de 39 para 48 % e de 38 para 43 %, respectivamente.

O aumento do tempo de detenção induziu tanto a dessorção progressiva de adsorvatos devido à biodegradação em solução na fase líquida quanto à assimilação direta de adsorvatos no CAG pela microbiota aderida.

Os autores misturaram glicose (900 mg/L) aos fenóis no início do cultivo da microbiota, e durante um período de 80 dias de adaptação da mesma, a dosagem de glicose foi reduzida gradativamente, até que os fenóis se tornaram a única fonte de carbono, em uma solução tampão a base de sulfato de amônio, à qual fosfato de potássio, bi-fosfato de sódio e potássio foram acrescentados.

Carvalho, Duque, Gonçalves e Castro (2006) estudaram a degradação microbiológica do fluorobenzeno, um composto recalcitrante fluoroaromático, e concluíram que o CAG tem uma boa capacidade para adsorver esse composto, sendo sua biorregeneração um processo possível de ocorrer. Nesse estudo, a adsorção de fluorobenzeno pelo CAG foi de 58 a 80% e a capacidade máxima de adsorção foi de 388 mg de fluorobenzeno por grama de CAG. Ressaltaram que esse estudo foi feito na presença de apenas um composto alvo, e que, se o mesmo estivesse na presença de outros elementos ou biomassa, a capacidade de adsorção do CAG seria diferente.

3.4 – O impacto do cloro em sistemas com carvão biologicamente ativo

O cloro livre possui elevada capacidade bactericida; além disso, oxida a superfície dos grânulos de CAG e compete por espaço nos seus poros com a microbiota e com os constituintes orgânicos da fase líquida, reduzindo sua capacidade adsortiva

Além disso, a presença do mesmo em processos de tratamento de água e efluentes com CAG aumenta a concentração de compostos organoclorados adsorvidos e o carvão ativado torna-se mais facilmente fragmentável e sujeito à quebra durante a retro-lavagem, pois o cloro, quando reduzido, destrói parte do carvão ativado (Snoeyink; Suidan 1975 *apud* AWWA 1999c).

Por outro lado, apesar de ter propriedades de esterilização, de acordo com Scholz e Martin (1996), o cloro não impede o crescimento biológico em sistemas contendo CAG, nem mesmo com doses elevadas (cerca de 100 mg/L).

4- MATERIAL E MÉTODOS

4.1-Instalações experimentais:

Foram montadas quatro micro-colunas de vidro em escala de bancada, no Laboratório de Saneamento Prof. Lucas Nogueira Garcez da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (mostrados na Figura 4.1),

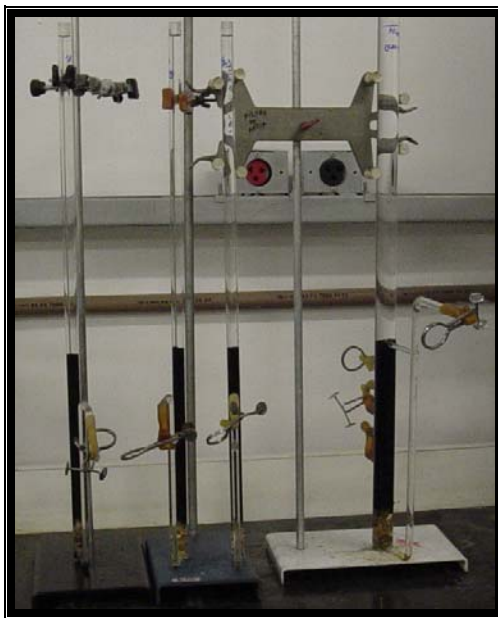


Figura 4.1– Micro-colunas adsorvedoras 1A, 1B, 1C e 2 (da esquerda para a direita)

As mesmas foram preenchidas com camadas de pedrisco e CAG, sendo que a principal diferença entre elas era o diâmetro dos grânulos de CAG e o diâmetro interno da micro-coluna, conforme indicado na Tabela 4.1.

Tabela 4.1- Características dos grânulos e das micro-colunas filtrantes

Designação da micro-coluna	Diâmetro interno da micro-coluna (mm)	Pedrisco tipo 1		Pedrisco tipo 2		CAG	
		Diâmetro médio (mm)	Altura (mm)	Diâmetro médio (mm)	Altura (mm)	Diâmetro (mm)	Altura (mm)
1-A	12	1,0	30	0,4	20	0,50 a 0,71	200
1-B	12	1,0	30	0,4	20	0,84 a 1,00	200
1-C	12	1,0	30	0,4	20	1,00 a 1,19	200
2	21	1,2	30	0,4	20	0,84 a 1,00	200

O carvão ativado granular utilizado foi carvão virgem da marca Carbomafra com as seguintes características, segundo Ferreira Filho* :

- Coeficiente de uniformidade < 1,5
- Número de iodo >800 mg/g

A etapa inicial de ensaios estáticos teve duração de oitenta e quatro dias. Consistiu na utilização da água de torneira, fornecida pela SABESP, com concentração de COT de 1,4 mg/L, como afluente das micro-colunas e procurou avaliar o desenvolvimento da microbiota heterotrófica e a queda da absorvância em comprimento de onda UV 254 nm, por meio da retirada de amostras de efluentes das mesmas ao longo do tempo. Uma avaliação da evolução das concentrações de COT dos efluentes ao longo do tempo também foi feita.

Ao término da primeira fase, foi feita lavagem dos materiais granulares nas micro-colunas, visando corrigir eventual perda de CAG durante a coleta das amostras, adequar camadas granulares (comprimidas durante a primeira fase) e ajustá-las à altura original pré-estabelecida no início do período experimental, procurando-se evitar o aprisionamento de bolhas de ar no interior das colunas.

* FERREIRA FILHO, S. S. **Comunicação pessoal a Lage Filho, F. A.**, São Paulo, mar. 2007.

Na segunda etapa de ensaios estáticos, foi aplicada uma dosagem de 10 mg/L de glicose em água de torneira filtrada, resultando numa solução com concentração de COT de cerca de 6,0 mg/L. Novamente, durante oitenta e quatro dias, foram avaliadas as concentrações de COT e bactérias heterotróficas a partir de amostras dos efluentes das colunas ao longo do tempo.

Após 70 dias do término da segunda etapa dos ensaios, teve início a terceira e última etapa, com duração de 21 dias. O material granular manteve-se o mesmo e as colunas foram inundadas com solução de água de torneira e glicose, com concentração de carbono orgânico total igual ao da segunda etapa dos trabalhos (COT = 6,0 mg/L). Mais uma vez, foram avaliadas as concentrações de COT e bactérias heterotróficas a partir de amostras dos efluentes das micro-colunas ao longo do tempo.

A tabela 4.2 apresenta as principais características da água potável utilizada com afluente às micro-colunas.

Tabela 4.2 - Principais características da água filtrada da SABESP utilizada nos ensaios estáticos

Variável	Unidade	Intervalo de variação
Turbidez	UNT	0,1 – 0,2
Cor aparente	Unidades Pt-Co	0 – 2
COT	mg/L	1,40 – 1,43
pH	----	6,7 – 6,9
Residual de cloro livre	mg/L	0,3 – 0,5

As micro-colunas adsorvedoras pós-filtração foram operadas em batelada, alimentadas com água filtrada fornecida pela SABESP ou com esta e solução de glicose, de acordo com a etapa de trabalho. Os testes foram estáticos, ou seja, não foi aplicado fluxo de água nas micro-colunas, sendo que as mesmas permaneceram sempre inundadas e, de tempos em tempos, diversas determinações foram efetuadas.

A Figura 4.2 é uma representação esquemática do procedimento experimental durante a 1ª fase dos ensaios estáticos.

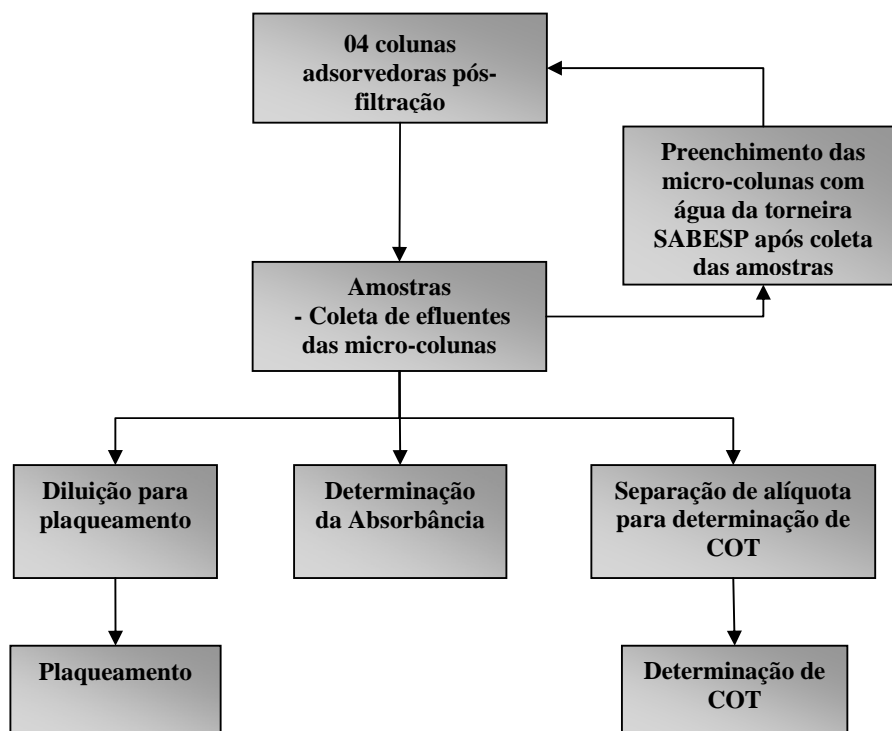


Figura 4.2 – Fluxograma da Etapa 1 – Testes estáticos com água da torneira SABESP

A Figura 4.3 é uma representação esquemática do procedimento experimental durante a segunda e terceira fases dos ensaios estáticos.

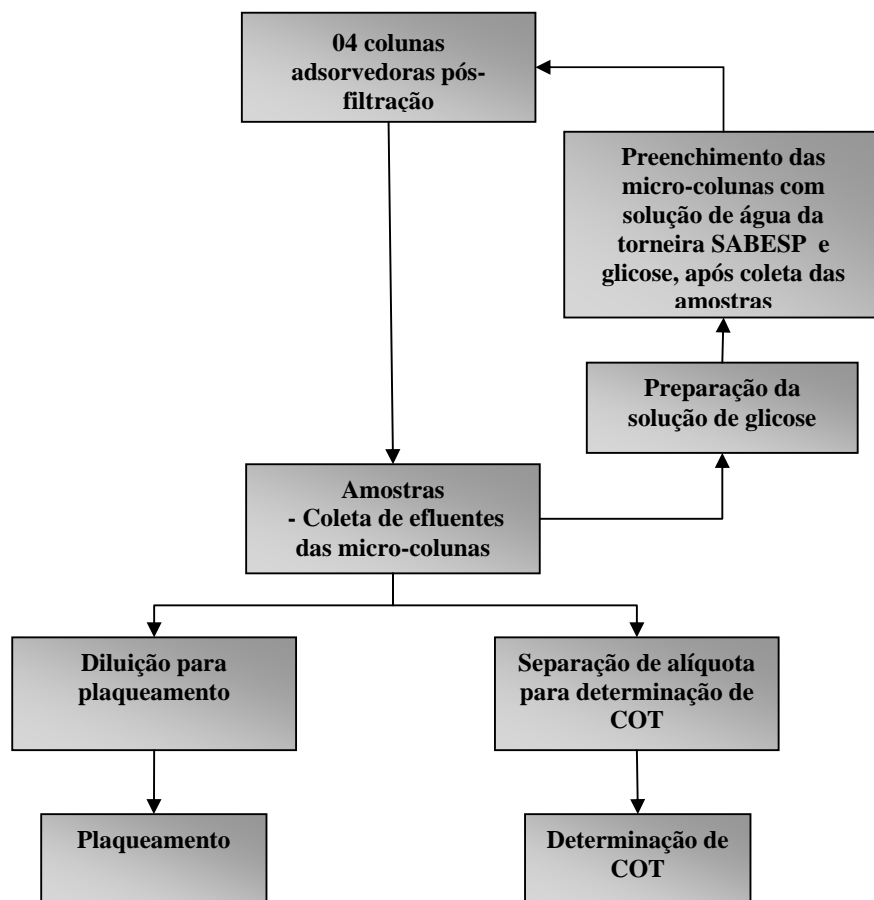


Figura 4.3 – Fluxograma das Etapas 2 e 3 – Testes estáticos com solução de glicose e água da torneira SABESP

Semanalmente, foi feita a reposição de água (primeira etapa) e de solução de água glicosada (segunda e terceira etapas) das micro-colunas, inclusive no período de 70 dias entre o término da segunda e início da terceira etapa dos ensaios, quando não houve coleta de amostras dos efluentes dos filtros.

Avaliações da atividade microbológica; da remoção de matéria orgânica por degradação da microbiota, adsorção no carvão ativado e biorregeneração do mesmo; e da remoção de matéria orgânica carbonácea valeram-se de três métodos de ensaio adiante descritos: absorvância, contagem de bactérias heterotróficas e carbono orgânico total.

4.2 Metodologia

4.2.1 Absorbância

Materiais e equipamentos:

- Espectrofotômetro (Shimadzu/UV mini 1240)
- 2 cubetas de 4 cm³ cada
- 01 pisceta com água destilada
- folhas de papel absorvente



Figura 4.4 – Espectrofotômetro

- 01 recipiente para descarte de amostra utilizada
- Tubos de ensaios com as amostras de efluentes a serem avaliadas

Procedimento:

- a) Ligar o aparelho e aguardar 30 minutos para a calibração interna do mesmo.
- b) Regular o equipamento para o comprimento de onda de 254 nm.
- c) Colocar a primeira cubeta com água destilada no aparelho e registrá-la no Espectrofotômetro como sendo o “branco” ou padrão de análise.
- d) Transferir a amostra que se deseja medir a absorbância na segunda cubeta, inseri-la no equipamento e apertar a tecla de medição.
- e) Evitar a formação de bolhas de ar nas cubetas e procurar deixá-las sempre secas externamente.
- f) Ao finalizar o procedimento, acertar o comprimento de onda para 500 nm

4.2.2 Contagem de bactérias heterotróficas

Este método tem o objetivo de determinar a densidade de bactérias heterotróficas aeróbias e anaeróbias facultativas presentes em água através da técnica de *spread plate* ou de espalhamento de amostra de água numa placa de Petri.

É importante ressaltar que, independentemente do método de plaqueamento utilizado, há incertezas experimentais associadas, pois a água contém diferentes tipos de bactérias heterotróficas, cujas necessidades nutricionais e temperatura ótima para crescimento são variáveis, e um único meio de cultura e temperatura de incubação não deve satisfazer as necessidades fisiológicas de todos os gêneros de bactérias que podem estar presentes na amostra, de acordo com publicação da Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental – CETESB (1996).

O procedimento experimental aplicado ao trabalho teve como base aquele descrito no Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, AWWA, WEF, 2005) com algumas adaptações feitas pelo Laboratório de Saneamento da Escola Politécnica. O mesmo encontra-se descrito no Anexo 1 da presente Dissertação de Mestrado.

As Figuras 4.5, 4.6, 4.7, 4.8, 4.9 e 4.10 ilustram os principais equipamentos (balança de precisão, incubadora bacteriológica termostaticada e capela de fluxo laminar), materiais utilizados e a preparação da Placa de Petri, no procedimento experimental de Contagem das Bactérias Heterotróficas.



Figura 4.5 – Balança de precisão



Figura 4.6 – Incubadora bacteriológica termostatzada

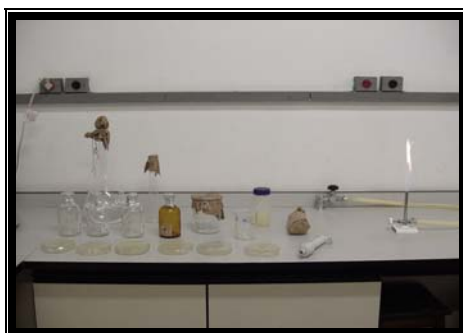


Figura 4.7 – Materiais para procedimento de CPH



Figura 4.8 – Capela de fluxo laminar com materiais para procedimento de CPH

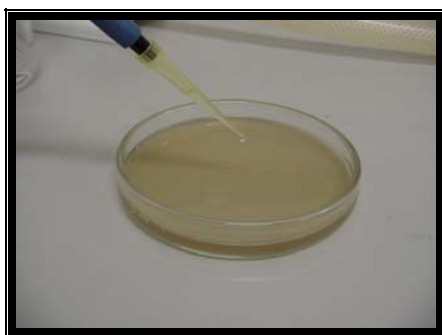


Figura 4.9 – Aplicação da amostra de efluente na Placa de Petri

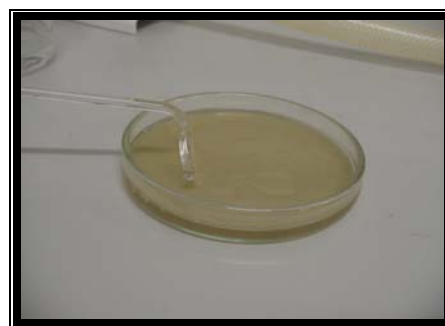


Figura 4.10 – Espalhamento da amostra na Placa de Petri

4.2.3 Carbono orgânico total - COT

Materiais e equipamentos:

- Analisador de COT (marca TOC V CPH/CPN, fabricante Shimadzu) e acoplado a um microcomputador
- Tubos de ensaios com as amostras a serem avaliadas cobertos com filmes plásticos para evitar contaminação



Figura 4.11 - Analisador de COT e respectivo microcomputador

Procedimento:

- a) Acoplar externamente os tubos de ensaio contendo as amostras ao equipamento analisador de COT.
- b) Elaborar cadastro digital das amostras de ensaio, indicando sua localização no equipamento e o tipo de análise a ser realizada (Purgeable Organic Carbon).
- c) Inserir água desionizada (ou ultrapura) em local apropriado do equipamento.
- d) Apertar o botão “start” do equipamento e aguardar. Automaticamente, será succionada, para dentro do equipamento, parte da amostra do primeiro tubo de ensaio através de um micro-tubo. Imediatamente ocorre a acidulação da amostra, ou seja, a transformação de carbonatos em CO_2 , e posteriormente inicia-se o processo de purga, que visa a eliminação do carbono inorgânico na forma de CO_2 . A amostra é então submetida à combustão.
- e) O equipamento faz a leitura automática do COT, considerando que só está sendo avaliado o carbono orgânico total, pois o carbono inorgânico foi eliminado através da purga.
- f) Para a análise da amostra do tudo de ensaio seguinte, o botão “start” do equipamento deve ser acionado.

5 – APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

5.1 - Alimentação das micro-colunas em regime de batelada

Água de torneira da SABESP com baixo teor de COT (1,4 mg/L) e residual de cloro livre na faixa de 0,3 a 0,5 mg/L foi utilizada no preparo de todas as soluções utilizadas na alimentação das micro-colunas adsorvedoras pós-filtração. Eventuais produtos clorados formados a partir da degradação oxidativa de matéria orgânica natural (MON) pelo residual de cloro livre foram então introduzidos nas micro-colunas adsorvedoras e lá permaneceram tipicamente por períodos de 7 dias, uma vez que elas foram operadas em regime de batelada.

Houve assim, tempo suficiente para a adsorção de tais compostos em sítios de adsorção do CAG, assim como para a oxidação do CAG e de microrganismos associados à superfície e aos poros do mesmo, reduzindo sua capacidade adsortiva. Sob tal tipo de estresse oxidativo é que foram conduzidos os experimentos em regime de batelada, com longos períodos de tempo entre renovações sucessivas (alimentações com água de torneira com ou sem adição de glicose) das micro-colunas.

Os CAGs utilizados nas micro-colunas nunca haviam sido usados previamente, e estavam estocados havia anos dentro de containers lacrados, em forma de baldes. Qualquer consórcio microbiano que por acaso estivesse nos grânulos de CAG dentro dos containers não poderia ser significativo em termos de densidade numérica.

5.2 - Evolução da absorbância

A absorbância de luz ultravioleta no comprimento de onda 254 nm avalia indiretamente o conteúdo de carbono orgânico relativo a substâncias húmicas oriundas de matéria orgânica decomposta (FERREIRA FILHO; LAGE FILHO, 1997).

A Tabela 5.1 e Figura 5.1 apresentam os resultados de absorbância UV 254 nm obtidos ao longo da primeira fase dos ensaios estáticos com água de torneira da SABESP (COT = 1,4 mg/L).

Tabela 5.1 – Fase 1 – Evolução da absorbância dos efluentes ao longo do tempo de inundação das micro-colunas com água de torneira da SABESP (COT = 1,4 mg/L)

Data	Dias corridos	Absorbância 254 UV nm				Água da torneira
		Micro-coluna 1-A	Micro-coluna 1-B	Micro-coluna 1-C	Micro-coluna 2	
30/1/2007	0	0,097	0,201	0,196	0,122	-
6/2/2007	7	0,107	0,198	0,146	0,101	-
13/2/2007	14	0,045	0,114	0,063	0,097	-
16/2/2007	17	0,028	0,106	0,060	0,087	0,002
23/2/2007	24	0,069	0,081	0,099	0,154	-
27/2/2007	28	0,044	0,115	0,040	0,055	-
6/3/2007	35	0,090	0,087	0,094	0,067	-
8/3/2007	37	0,019	0,017	0,028	0,004	0,001
13/3/2007	42	0,055	0,119	0,038	0,051	-
15/3/2007	44	0,003	0,004	0,012	0,003	0,001
20/3/2007	49	0,024	0,037	0,044	0,029	-
22/3/2007	51	0,012	0,018	0,018	0,014	-
27/3/2007	56	0,019	0,029	0,027	0,032	-
29/3/2007	58	0,016	0,026	0,020	0,014	-
3/4/2007	63	0,013	0,028	0,026	0,027	-
5/4/2007	65	0,004	0,001	0,013	0,009	-

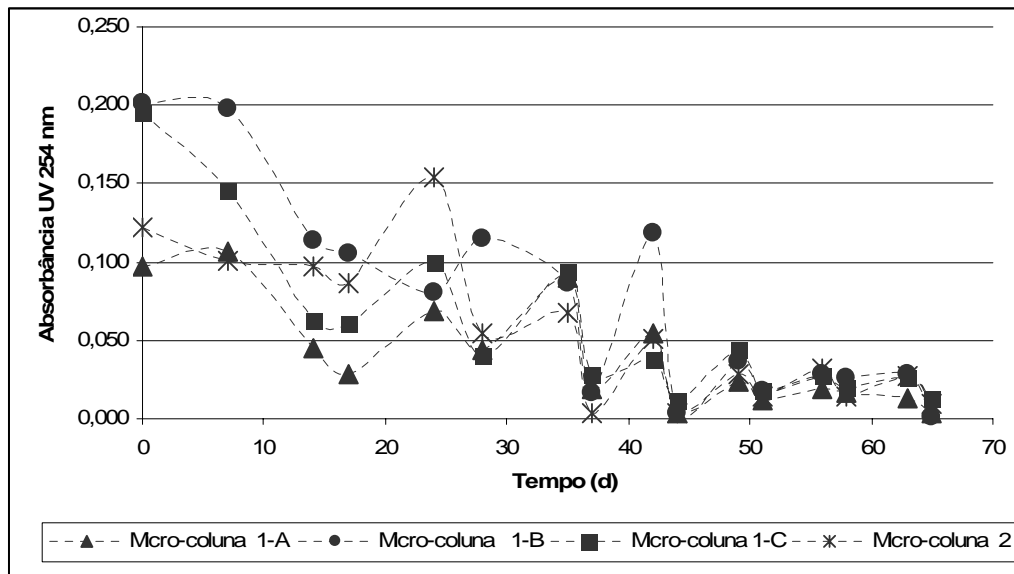


Figura 5.1 – Fase I – Variação da absorbância UV 254 nm dos efluentes das micro-colunas ao longo do tempo

Na primeira etapa da realização dos ensaios, houve queda progressiva da absorbância uv 254 nm nas micro-colunas filtrantes ao longo dos dias avaliados, período em que houve disponibilidade de COT (concentração de 1,4 mg/L), proveniente da água de torneira da SABESP, à microbiota presente. Isto indicou uma remoção de matéria orgânica natural cada vez melhor ao longo do tempo.

De acordo com AWWA (1999a), filtros com CAG são ambiente suporte de vários organismos capazes de degradar o carbono orgânico presente no afluente do filtro, principalmente por meio da ação das bactérias heterotróficas, que atacam o biofilme existente de matéria orgânica, utilizando-o como fonte de energia e carbono (AWWA, 1999b).

Miozzo (2007) afirma que a adsorção é afetada pelo filme biológico que se forma rapidamente nos grãos de carvão ativado. Segundo ele, o filme de bactérias implementa a transferência de massa de matéria orgânica dissolvida para dentro dos grãos de carvão e promove a continuidade da remoção de matéria orgânica dissolvida após a capacidade física do carvão ser exaurida.

Filtros biologicamente ativos, de apenas um estágio ou seguido de outras camadas granulares, podem gerar água biologicamente estabilizada (isto é, água que não propicie o crescimento biológico de microrganismos em quantidade significativa (RITTMANN; SNOEYING, 1984 *apud* AWWA,1999) com baixa turbidez (BOUWER; CROWE; 1988; HUCK et al., 1991; LECHEVALIER et al., 1992 *apud* AWWA,1999).

Um biorreator com CAG agrega a capacidade de adsorção do carvão ativado granular a um tratamento biológico, onde a superfície irregular do CAG promove nichos para colonização de bactérias, protegidas de forças maiores de fluxos, enquanto a variedade funcional dos grupos na superfície pode aumentar o ataque de microrganismos (CARVALHO; VASCONCELOS; BULL, CASTRO, 2001).

5.3 - Variação da densidade das bactérias heterotróficas das microbiotas das micro-colunas nas três fases de ensaios estáticos

O crescimento das microbiotas nas micro-colunas adsorvedoras pós-filtração durante a primeira fase de ensaios estáticos originou-se basicamente da introdução da água tratada de torneira com residual de cloro livre e com baixo teor de COT (1,4 mg/L).

Na segunda e terceira fases de testes estáticos, a adição de solução de glicose à água tratada de torneira levou a um crescimento muito mais intenso das microbiotas nas micro-colunas, conforme apresentado a seguir.

5.3.1 Densidade das bactérias heterotróficas na Fase 1 dos ensaios estáticos com água de torneira da SABESP (COT médio = 1,4 mg/L)

Os resultados da contagem de bactérias heterotróficas na primeira fase (afluente de água da torneira SABESP) dos testes são mostrados a seguir, através da Tabela 5.2 e da Figura 5.2.

Tabela 5.2 – Fase 1 – Contagem de placas heterotróficas nas micro-colunas alimentadas com água da torneira SABESP

Data	Dias corridos	CPH (UFC / mL)				
		Micro-coluna 1-A	Micro-coluna 1-B	Micro-coluna 1-C	Micro-coluna 2	Água da torneira
30/1/2007	0	7.840	1.345	330	2.360	-
6/2/2007	7	4.170	2.000	655	940	-
27/2/2007	28	350	1.200	100	200	-
13/3/2007	42	6.160	1.390	720	2.370	-
20/3/2007	49	560	1.080	380	160	20
27/3/2007	56	380	880	840	340	-
3/4/2007	63	880	1.140	2.500	3.920	-
17/4/2007	77	2.840	440	300	780	-
24/4/2007	84	2.360	820	240	300	-

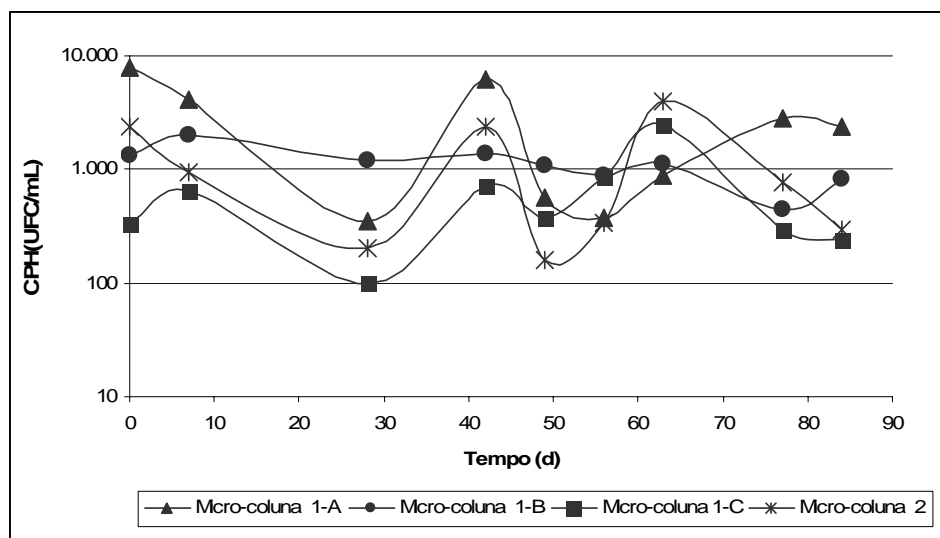


Figura 5.2 – Fase 1 – Variação da contagem das placas heterotróficas nas micro-colunas ao longo do tempo

A Figura 5.2 indica que as microbiotas nas micro-colunas adsorvedoras apresentaram ciclos de crescimento e decaimento celular ao longo do tempo de teste, com exceção da coluna B, cuja densidade manteve-se constante. Todas as microbiotas das micro-colunas adsorvedoras tiveram certa variação do número de dias de cada ciclo de aumento e diminuição da contagem de bactérias heterotróficas. Ciclos na faixa de 14 a 50 dias foram observados.

Calculando-se as áreas sob as curvas de CPH versus o tempo (Figura 5.2) e dividindo-as pelo período de tempo do experimento, foram obtidos os valores médios de CPH, conforme apresentado na Figura 5.3. Para as micro-colunas 1A, 1B, 1C e 2, as microbiotas apresentaram contagens médias de, respectivamente, 2.506 UFC/mL, 1.208 UFC/mL, 695 UFC/mL e 1.236 UFC/mL. Lembrando que o diâmetro dos grânulos de CAG nas micro-colunas 1B e 2 era o mesmo, a diferença entre as CPH médias das duas micro-colunas foi de apenas 2 % em relação ao menor valor dentre os dois, tendo constatado que o diâmetro da coluna não influenciou na densidade das bactérias heterotróficas. Verificou-se que o crescimento das bactérias heterotróficas foi tanto maior quanto menor o diâmetro do grânulo de CAG, no caso de baixo COT de alimentação das mesmas (COT =1,4 mg/L).

Observa-se que, mesmo na presença de residual de cloro, houve crescimento das bactérias nas micro-colunas, o que vem ao encontro com a citação de Scholz e Martin (1996), que afirmam que o cloro não impede o crescimento biológico em sistemas contendo CAG.

Nesta fase de ensaios, o diâmetro diferente das micro-colunas com mesmo tamanho de CAG pouco influenciou nos resultados de contagem de bactérias heterotróficas.

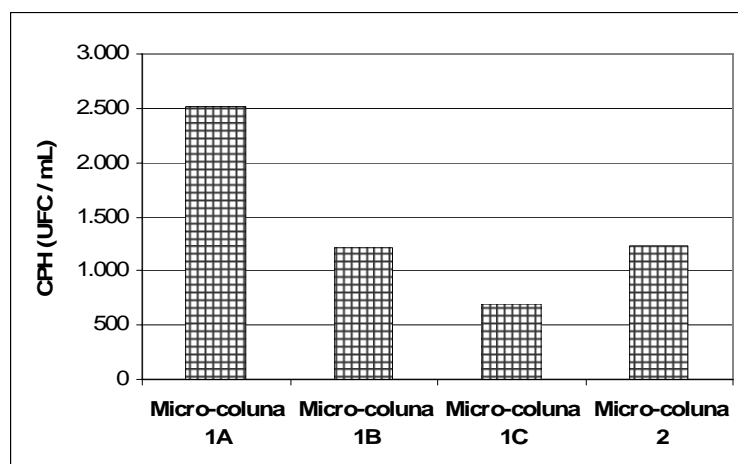


Figura 5.3 – Fase 1 – Valores médios de contagem de bactérias heterotróficas

5.3.2 – Densidade das bactérias heterotróficas na Fase 2 dos ensaios estáticos com solução de água de torneira da SABESP e 10 mg/L de glicose (COT médio = 6,0 mg/L).

Os resultados da Contagem de placas heterotróficas na segunda fase dos testes são mostrados a seguir através da Tabela 5.3 e da Figura 5.4.

Tabela 5.3 – Fase 2 – Contagem de bactérias heterotróficas nas micro-colunas alimentadas com solução de água da torneira e glicose

Data	Dias corridos	CPH (UFC / mL)			
		Micro-coluna 1-A	Micro-coluna 1-B	Micro-coluna 1-C	Micro-coluna 2
8/5/2007	0	-	-	-	-
15/5/2007	7	7.760	4.960	1.400	1.360
29/5/2007	21	3.600	6.600	450	24.500
12/6/2007	35	34.000	10.000	100	1.950
20/6/2007	43	84.000	6.000	4.000	1.500
3/7/2007	56	9.250	4.400	1.500	2.775
10/7/2007	63	9.200	62.000	7.300	50.000
24/7/2007	77	8.800	2.400	2.800	1.000
31/7/2007	84	20.200	29.600	12.200	7.950

A Figura 5.4 indica que as microbiotas nas micro-colunas adsorvedoras apresentaram ciclos de crescimento e decaimento celular ao longo do tempo de teste, com exceção da coluna B, o que também ocorreu na primeira fase dos testes estáticos.

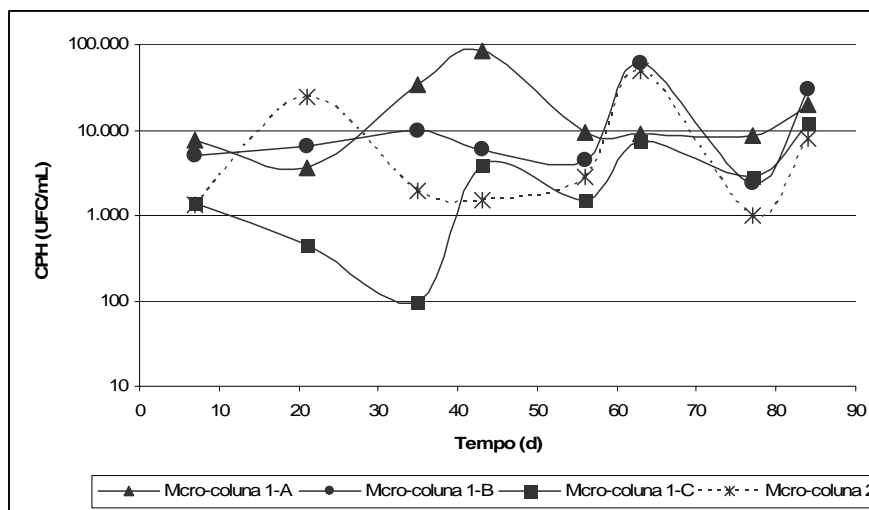


Figura 5.4 – Fase 2 – Variação da contagem das placas heterotróficas nas micro-colunas ao longo do tempo – água de torneira e solução de glicose

Todas as microbiotas das micro-colunas filtrantes apresentaram certa variação do número de dias de cada ciclo de aumento e diminuição da contagem de placas heterotróficas. Ciclos na faixa de 20 a 42 dias foram observados.

Calculando-se as áreas sob as curvas de CPH versus o tempo (Figura 5.4) e dividindo-as pelo intervalo de tempo do experimento, foram obtidos os valores médios de CPH, conforme apresentado na Figura 5.5. Para as micro-colunas 1A, 1B, 1C e 2, as microbiotas apresentaram densidades médias de, respectivamente, 22.246 UFC/mL, 14.596 UFC/mL, 2.895 UFC/mL e 12.738 UFC/mL. Lembrando que a faixa de diâmetros dos grânulos do CAG nas micro-colunas 1B e 2 era a mesma, verificou-se que os valores médios de CPH para tais micro-colunas foram relativamente próximos (diferença de cerca de 15 % em relação ao menor valor). O crescimento das bactérias heterotróficas tendeu a ser tanto maior quanto menor o diâmetro do grânulo de CAG.

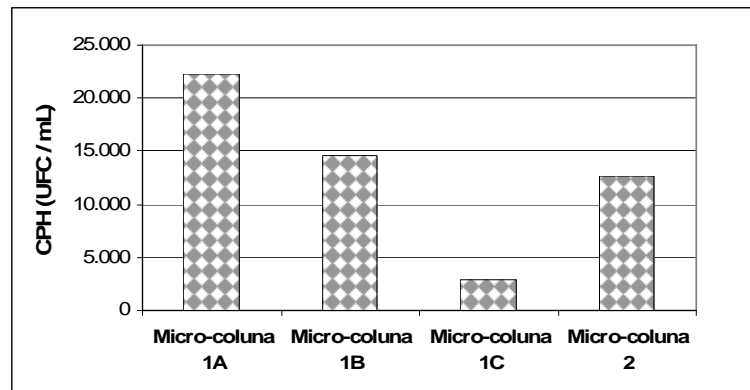


Figura 5.5 – Fase 2- Valores médios de contagem de placas heterotróficas nas micro-colunas – água de torneira e solução de glicose

A diferença numérica da contagem das bactérias heterotróficas entre a primeira e segunda fase dos ensaios foi significativa, sendo que nessa última, os valores apresentaram-se bem maiores, correspondentes à introdução de substrato de fácil degradação na água de alimentação das micro-colunas, conforme demonstrado na Figura 5.6.

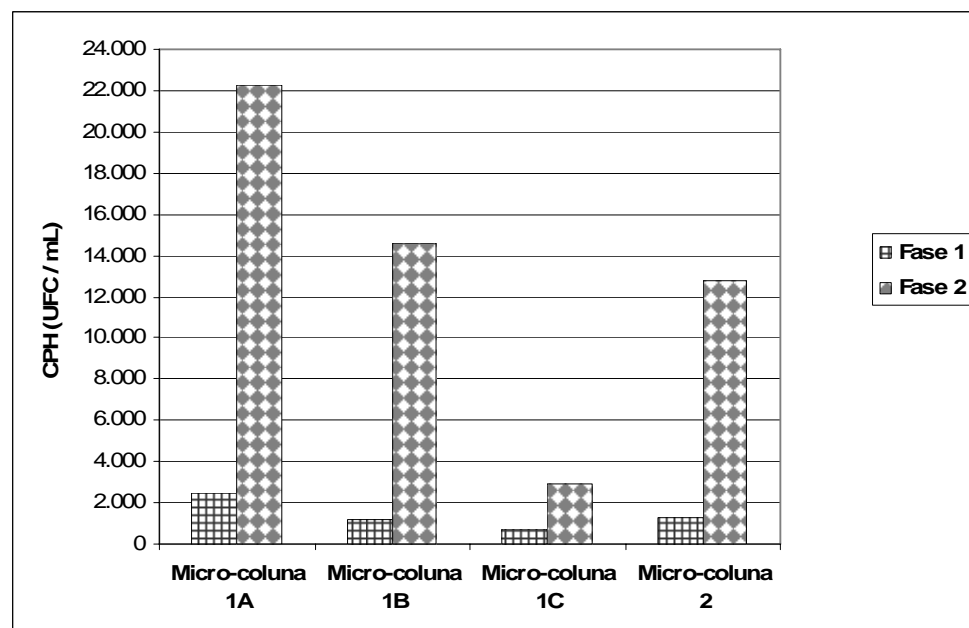


Figura 5.6 – Fases 1 e 2 - Valores médios de contagem de bactérias heterotróficas

5.3.3 – Densidade das bactérias heterotróficas na Fase 3 dos ensaios estáticos com solução de água de torneira da SABESP e 10 mg/L de glicose (COT médio = 6,0 mg/L).

A Figura 5.7 mostra os resultados dos valores médios da contagem de bactérias heterotróficas ao longo do período de testes da fase 3.

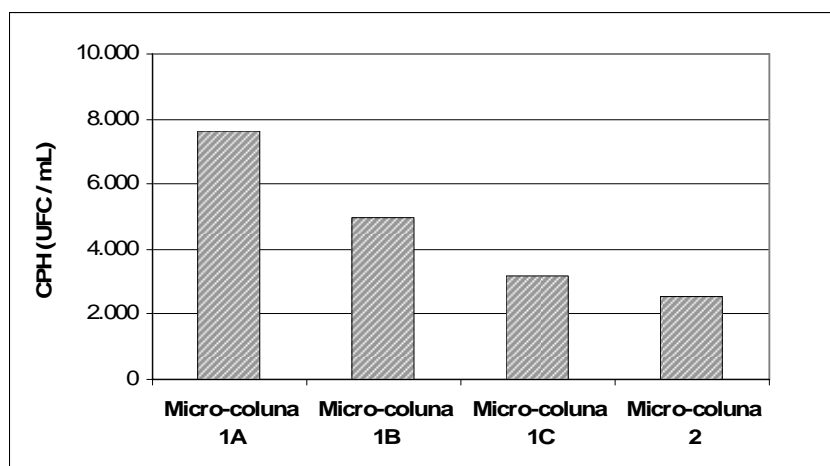


Figura 5.7 - Fase 3 - Valores médios de contagem de bactérias heterotróficas nas micro-colunas – água de torneira glicosada – ensaio de curto prazo

Conforme observado na Figura 5.7, as micro-colunas 1A, 1B, 1C e 2, as microbiotas apresentaram contagens médias de, respectivamente, 7.642 UFC/mL, 4.992 UFC/mL, 3.175 UFC/mL e 2.542 UFC/mL. Novamente a coluna 1A (a de menor diâmetro médio de grânulos de CAG) foi a que mostrou o maior valor médio de CPH.

Por outro lado, lembrando que o diâmetro médio do CAG nas micro-colunas 1B e 2 era o mesmo, o curto intervalo de tempo dos testes desta fase (21 dias) certamente não permitiu que o comportamento das micro-colunas, com respeito ao desenvolvimento da microbiota, fosse bastante próximo, conforme visto nas fases 1 e 2 anteriores de testes (84 dias cada).

5.4 – Avaliação do COT nas micro-colunas com carvão ativado granular

Periodicamente foram feitas determinações de COT em amostras de efluentes das quatro colunas filtrantes nas três fases de ensaio e a avaliação dos resultados foi feita a partir de balanço de massa.

O balanço de massa foi efetuado num volume de controle, formado pelos volumes ocupados pelo CAG, pela camada suporte de pedrisco e por uma coluna de água de 35 cm acima do topo da camada de CAG, para cada micro-coluna adsorvedora, que era sempre mantida com água de alimentação após a drenagem de água do trecho com CAG para análise do COT, nas fases 1, 2 e 3 de testes estáticos.

Deste modo, foram obtidas, para cada fase de testes e para cada micro-coluna, ao final do período de ensaios: (a) as eficiências de remoção de COT ao final do período de tempo de teste; (b) a relação: média de contagem de placas heterotróficas por mg de COT removido.

Desprezando o volume de coluna entre o começo da camada-suporte do CAG e a ponta do sifão de saída do efluente (vide Figura 4.1), as perdas de COT por volatilização e a massa de COT associada ao crescimento da microbiota, tem-se que:

“massa de COT que entra na coluna = massa de COT que sai + massa de COT acumula na coluna”

O volume de vazios ocupado pelo líquido no interior das camadas granulares das colunas foi obtido a partir da determinação da porosidade do CAG nas mesmas.

Foram elaboradas planilhas de cálculo das massas, ao longo do tempo de teste, as quais se encontram no Anexo 2 deste trabalho. Elas mostram as eficiências globais

de remoção de COT e a concentração de COT acumulada ao longo do tempo no interior das colunas.

A Tabela 5.4 apresentada adiante é um resumo dos resultados das planilhas de balanço de massa de COT.

Tabela 5.4 – Fases 1, 2 e 3 – Resumo do balanço de massa de COT na coluna de carvão biologicamente ativo

FASE 1 (84 dias e COT = 1,43 mg/L)					
Variável	Unidade	Valores			
		Micro-coluna 1A	Micro-coluna 1B	Micro-coluna 1C	Micro-coluna 2
Diâmetro interno da micro-coluna:	cm	1,2	1,2	1,2	2,1
Faixa de diâmetro do CAG	mm	0,50 a 0,71	0,84 a 1,00	1,00 a 1,19	0,84 a 1,00
Porosidade dos grânulos	%	50	50	50	50
Volume de vazios	mL	19,8	19,8	19,8	60,6
Volume de líquido acima do CAG	mL	39,6	39,6	39,6	121,2
Concentração de COT no afluente	mg/L	1,43	1,43	1,43	1,43
Massa de COT aplicada na coluna	mg	0,64	0,39	0,52	1,78
Massa de COT removida na coluna	mg	0,47	0,18	0,31	1,31
Eficiência média de remoção de COT no final do período dos testes:	%	74,1%	45,7%	59,5%	73,3%
FASE 2 (84 dias e COT = 6,06 mg/L)					
Variável	Unidade	Valores			
		Micro-coluna 1A	Micro-coluna 1B	Micro-coluna 1C	Micro-coluna 2
Diâmetro interno da micro-coluna:	cm	1,2	1,2	1,2	2,1
Faixa de diâmetro do CAG	mm	0,50 a 0,71	0,84 a 1,00	1,00 a 1,19	0,84 a 1,00
Porosidade dos grânulos	%	50	50	50	50
Volume de vazios	mL	19,8	19,8	19,8	60,6
Volume de líquido acima do CAG	mL	39,6	39,6	39,6	121,2
Concentração de COT no afluente	mg/L	6,06	6,06	6,06	6,06
Massa de COT aplicada na coluna	mg	5,22	5,24	5,14	14,46
Massa de COT removida na coluna	mg	4,99	5,06	4,94	13,64
Eficiência média de remoção de COT no final do período dos testes:	%	95,6%	96,6%	96,1%	94,4%
FASE 3 (21 dias e COT = 6,06 mg/L)					
Variável	Unidade	Valores			
		Micro-coluna 1A	Micro-coluna 1B	Micro-coluna 1C	Micro-coluna 2
Diâmetro interno da micro-coluna:	cm	1,2	1,2	1,2	2,1
Faixa de diâmetro do CAG	mm	0,50 a 0,71	0,84 a 1,00	1,00 a 1,19	0,84 a 1,00
Porosidade dos grânulos	%	50	50	50	50
Volume de vazios	mL	19,8	19,8	19,8	60,6
Volume de líquido acima do CAG	mL	39,6	39,6	39,6	121,2
Concentração de COT no afluente	mg/L	6,06	6,06	6,06	6,06
Massa de COT aplicada na coluna	mg	1,17	1,18	1,17	3,68
Massa de COT removida na coluna	mg	1,12	1,14	1,12	3,58
Eficiência média de remoção de COT no final do período dos testes:	%	95,8%	96,4%	95,5%	97,4%

A Tabela 5.5 mostra as eficiências de remoção e as massas removidas de COT obtidas ao final dos ensaios e os valores médios de CPH nas três fases de testes.

Tabela 5.5 - Eficiências de remoção e massas removidas de COT no final das fases de testes e valores médios de CPH nas três fases de ensaios

Micro-coluna	Fase 1			Fase 2			Fase 3		
	Valor médio de CPH (UFC/mL)	Remoção de COT (%)	Massa de COT removida na coluna (mg)	Valor médio de CPH (UFC/mL)	Remoção de COT (%)	Massa de COT removida na coluna (mg)	Valor médio de CPH (UFC/mL)	Remoção de COT (%)	Massa de COT removida na coluna (mg)
1-A	2.506	74%	0,47	22.246	96%	4,99	7.642	96%	1,12
1-B	1.208	46%	0,18	14.596	97%	5,06	4.992	96%	1,14
1-C	695	59%	0,31	2.895	96%	4,94	3.175	96%	1,12
2	1.235	73%	1,31	12.738	94%	13,64	2.542	97%	3,58

Os resultados de eficiências de remoção de COT parecem indicar que a faixa de diâmetro dos grânulos de CAG por micro-coluna não foi um fator relevante no desempenho das mesmas no tocante à biodegradação de COT nelas introduzido.

Os valores de eficiência de remoção de COT ao final das etapas de testes variaram de 46 a 74% na fase 1, de 94 a 97% na fase 2 e de 96 a 97% na fase 3. Observa-se que os piores resultados (eficiências mais baixas) foram apresentadas na fase 1, e que não houve diferença significativa entre os valores nas fases 2 e 3.

Os resultados da fase 1 corroboram com os encontrados para UV 254 nm (item 5.2), que indicaram que houve uma remoção da matéria orgânica da água tratada ao longo do tempo.

Calculando-se as massas de COT da glicose e da água de torneira aplicadas à coluna e considerando-se que a primeira seja completamente biodegradada, pode-se determinar as remoções de COT da água de torneira das fases 2 e 3 (Tabela 5.6).

Tabela 5.6- Eficiências de remoção de COT da água de torneira nas fases 1, 2 e 3

FASE 1 (84 dias e COT = 1,43 mg/L)					
Variável	Unidade	Valores			
		Micro-coluna 1A	Micro-coluna 1B	Micro-coluna 1C	Micro-coluna 2
Massa de COT da água da torneira aplicada na coluna	mg	0,64	0,39	0,52	1,78
Massa de COT da água da torneira retida na coluna	mg	0,47	0,18	0,31	1,31
Eficiência média de remoção de COT no final do período dos testes	%	74,1%	45,7%	59,5%	73,3%
FASE 2 (84 dias e COT = 6,06 mg/L)					
Variável	Unidade	Valores			
		Micro-coluna 1A	Micro-coluna 1B	Micro-coluna 1C	Micro-coluna 2
Massa de COT aplicada na coluna	mg	5,22	5,24	5,14	14,46
Massa de COT de glicose aplicada na coluna	mg	3,80	3,82	3,72	10,11
Massa de COT da água da torneira aplicada na coluna	mg	1,42	1,42	1,42	4,35
Eficiência média de remoção de COT no final do período dos testes:	%	95,6%	96,6%	96,1%	94,4%
Massa de COT da água da torneira no final do período de testes	mg	0,23	0,18	0,20	0,82
Eficiência de remoção de COT de água da torneira	%	83,6%	87,4%	86,0%	81,2%
FASE 3 (21 dias e COT = 6,06 mg/L)					
Variável	Unidade	Valores			
		Micro-coluna 1A	Micro-coluna 1B	Micro-coluna 1C	Micro-coluna 2
Massa de COT aplicada na coluna	mg	1,17	1,18	1,17	3,68
Massa de COT de glicose aplicada na coluna	mg	0,88	0,89	0,88	2,78
Massa de COT da água da torneira aplicada na coluna	mg	0,29	0,29	0,29	0,89
Eficiência média de remoção de COT no final do período dos testes:	%	95,8%	96,4%	95,5%	97,4%
Massa de COT da água da torneira no final do período de testes	mg	0,05	0,05	0,05	0,05
Eficiência de remoção de COT de água da torneira	%	83,0%	83,0%	83,0%	94,4%

Comparando os valores das eficiências de remoção de COT da água de torneira da fase 2 com os da fase 1, verifica-se que houve co-metabolismo, isto é, a glicose suportou o crescimento das bactérias heterotróficas, que co-metabolizaram o COT da água de torneira, resultando em uma maior remoção em relação ao ensaio onde não se utilizou glicose. Por outro lado, degradando o COT da água de torneira que ficou adsorvido, há liberação do sítio ativo do CAG e portanto, ocorre também a biorregeneração.

Os resultados obtidos nestes trabalho corroboram com os de Chudyk e Snoeyink (1984), Walker e Weatherly (1998); Ha, Vinitnantharat e Osaki (2000); Carvalho, Duque, Gonçalves e Castro (2006), citados na revisão bibliográfica.

A Tabela 5.7 mostra os valores da relação CPH/mg de COT removido ao final de cada fase de testes.

Tabela 5.7 – Contagem de bactérias heterotróficas por mg de COT removido

Micro-coluna	Valor médio de CPH / COT Removido (UFC / mL x mg)		
	FASE 1 (84 dias e COT = 1,43 mg/L)	FASE 2 (84 dias e COT = 6,06 mg/L)	FASE 3 (21 dias e COT = 6,06 mg/L)
1-A	5.318	4.457	6.841
1-B	6.770	2.884	4.389
1-C	2.238	586	2.841
2	946	934	710

Pela comparação entre as fases 1 e 2, constata-se que com a glicose, é necessário um número menor de bactérias para remover 1 mg de COT, isto é, a velocidade de remoção de COT é maior na fase 2 do que na fase 1.

6 – CONCLUSÕES

O trabalho experimental e a análise dos resultados levaram às seguintes conclusões:

- A remoção de matéria orgânica natural foi melhorando com o tempo de duração dos ensaios de batelada estáticos, conforme apontado pela redução progressiva dos valores de absorvância de luz ultravioleta em comprimento de onda 254 nm.
- Para as colunas 1A, 1B e 1C de mesmo diâmetro, ficou evidente que quanto menor o diâmetro dos grânulos de CAG, maior foi o desenvolvimento da microbiota, expresso em valor médio de contagens de bactérias heterotróficas durante o período de ensaio. No caso da coluna 2, com diâmetro interno maior que o das demais colunas, tal relação foi verificada apenas no caso dos ensaios de batelada de longa duração (fases 1 e 2), com ou sem a adição de glicose à água filtrada clorada, onde a densidade média de bactérias heterotróficas das colunas 1B e 2 (com diâmetros diferentes mas com a mesma faixa de diâmetros médios dos grânulos de CAG) foram muito semelhantes entre si.
- A adição de glicose à água filtrada clorada conduziu a um grande aumento das contagens de bactérias heterotróficas em todas as colunas das fases 2 e 3, quando comparadas à situação de aplicação de somente água filtrada clorada da fase 1.
- A diferença entre faixas de diâmetros do carvão ativado granular parece não ter influenciado dos resultados de eficiência de remoção de COT nos ensaios onde a alimentação das colunas foi feita com solução de glicose e água, pois numa mesma fase de ensaio, os valores foram bem próximos uns dos outros. Além disso, não houve diferença significativa de valores entre essas fases com concentração de COT relativamente elevada (COT = 6,0 mg/L).

Na fase 1, cuja água de alimentação continha concentração de COT de 1,4 mg/L, as eficiências de remoção de COT foram bem menores (53 a 67%) do que aquelas apresentadas nas fases 2 (94 a 96%) e 3 (95 a 97%). Nesta fase, os resultados de eficiência de remoção de COT nas colunas 1A e 2 foram superiores aos das colunas 1B e 1C.

- A introdução de solução de glicose nas colunas em adição à água filtrada clorada fez com que houvesse uma resposta muito positiva da microbiota no tocante à biodegradação de compostos orgânicos da água de torneira (expressos como COT), o que indica a ocorrência de co-metabolismo.
- Como o COT da água de torneira, que estava adsorvido nos granulos do carvão, foi biodegradado, liberando os sítios ativos, constatou-se a biorregeneração.

7 – RECOMENDAÇÕES

Os resultados obtidos sugerem, a princípio, duas linhas promissoras de pesquisas aplicadas, uma simples e outra complexa, como se seguem:

- Trabalhar com as micro-colunas adsorvedoras em fluxo contínuo ao invés do regime em batelada;
- Aumentar a dosagem de cloro livre afluyente às micro-colunas; e
- Testar a biodegradação de composto(s) orgânico(s) halogenado(s) em testes estáticos e/ou dinâmicos (de fluxo contínuo), alimentando as micro-colunas com o(s) mesmo(s) das seguintes maneiras:
 - inicialmente com adição de solução de glicose;
 - depois de algum tempo (da ordem de semanas ou meses) suprimir a adição de glicose.

ANEXO 1 - PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL DA CONTAGEM DE BACTÉRIAS HETEROTRÓFICAS

O procedimento experimental a seguir descrito tem como base o Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA; AWWA; WEF, 2005) com algumas adaptações feitas pelo Laboratório de Saneamento da Escola Politécnica.

PREPARAÇÃO DO MEIO DE CULTURA – ÁGAR

Materiais e equipamentos:

- Balança de precisão
- Agitador magnético
- Refrigerador
- Autoclave
- Aquecedor (ou microondas)
- Incubadora bacteriológica termostaticada
- Ágar padrão para placas heterotróficas – Acumedia série 7157 A
- Água desionizada (ou ultrapura)
- Água destilada
- 01 Becker 1litro
- 01 Balão de fundo chato de 2 litros autoclavado
- Placas de Petri
- 01 Becker 25 ml coberto com papel resistente

- Filme plástico

Procedimento:

- a) Diluir o Ágar padrão em água. Para o fabricante Acumedia série 7157 A devem ser dissolvidos 23,5 g do produto em 1 litro de água ultrapura obtida de um purificador do tipo osmose reversa Milli-Q da Millipore. Para tanto, deve-se pesar a quantidade de produto necessária numa balança de precisão e transferi-la para um becker contendo com 1 litro de água ultrapura. Posteriormente, aquece-se a solução e insere-se um agitador magnético dentro do Becker, deixando-o atuar até que a solução fique homogênea.
- b) Transportar a solução diluída para o balão de fundo chato e fechá-lo com sua tampa de vidro.
- c) Abrir a tampa da Autoclave e verificar seu o nível de água. Caso o mesmo esteja abaixo da resistência, deve-se completá-lo com água destilada.
- d) Inserir o becker de 25 mL vazio, as placas de Petri e o balão de fundo chato na Autoclave, fechando-a hermeticamente.
- e) Abrir o registro do equipamento e colocar o indicador de temperatura no nível máximo. Aguardar a temperatura alcançar 120⁰C, regular a temperatura para o nível médio e fechar o registro.
- f) A temperatura deve ser controlada durante os próximos 30 minutos, devendo ser mantida no nível médio. Seu ajuste é feito pelo registro.
- g) Após esse período, abaixar a temperatura, abrir o registro, aguardar um pouco de tempo para o resfriamento e para poder abrir a tampa da Autoclave.
- h) Retirar o balão de fundo chato contendo a solução de Ágar padrão da autoclave enquanto o mesmo ainda estiver quente.
- i) Encher o becker de 25 mL com a solução do balão de fundo chato e transferi-la para a Placa de Petri.

- j) Levar a Placa de Petri contendo a solução de Agar padrão para a incubadora, mantê-la lá por 24 horas à temperatura de 37°C e posteriormente fazer o teste de esterilidade.
- k) Após esse período, fazer o teste da esterilidade na Placa de Petri.
- l) Caso a mesma não esteja contaminada, envolvê-la com filme plástico e levá-la ao refrigerador para armazenamento à temperatura entre 7 e 8 °C.

PREPARAÇÃO DA PLACA DE PETRI E CONTAGEM DAS UFC

Equipamentos e Materiais:

- Autoclave
- Destilador de água
- Capela de fluxo laminar
- Bico de bunsen
- Incubadora bacteriológica termostaticada
- Contador de colônias (tipo Quebec)
- 01 Balão de fundo chato de 2 litros com água de diluição autoclavado
- 01 Becker 1 litro autoclavado
- 01 Proveta 100 ml autoclavada
- 01 Pipeta 100 ml e refis autocavados
- 01 Pipeta 1000 ml e refis autocavados
- Frascos autoclavados para diluições das amostras
- 01 Becker com álcool

- 01 Espátula de vidro
- Placas de Petri preparadas com ágar
- Tubos de ensaios com materiais a serem analisados

Procedimento:

- a) Retirar do refrigerador a Placa de Petri preparada com Ágar padrão com antecedência de utilização de 30 minutos.
- b) Ligar a capela de fluxo laminar com luz ultravioleta com antecedência de utilização de 15 minutos.
- c) Acender o Bico de Bunsen com antecedência de utilização de 15 minutos.
- d) Separar todos os outros materiais acima listados e deixá-los sobre a bancada.

Diluição da amostra:

- a) Levar todos os materiais acima relacionados para dentro da Capela de fluxo laminar, exceto pipeta 1000 ml, becker com álcool e espátula de vidro.
- b) Pegar a pipeta 100 ml e montá-la com um refil. Evitar ao máximo o contato com o refil, segurando-o sempre na ponta de encaixe.
- c) Coletar a amostra do tubo de ensaio na pipeta.
- d) Transferir a amostra para o frasco de vidro.
- e) Colocar parte da água destilada do balão de fundo chato no becker, para facilitar manuseio, e posteriormente transferi-la para a proveta, com a medida em conformidade com a diluição que se pretende fazer. Em seguida, transferir a água da proveta para o frasco de vidro.
- f) Movimentar o frasco de vidro de forma a promover uma mistura homogênea da amostra com a água de diluição.

Cultivo da Placa de Petri:

- a) Retirar filme de plástico da Placa de Petri, numerá-la de forma a identificá-la e remover sua tampa.
- b) Com a pipeta, coletar 1 ml de amostra diluída do frasco de vidro e aplicá-la à Placa de Petri, de forma gradativa, espalhando gotas por toda a área.
- c) Mergulhar a espátula de vidro no becker com álcool e logo depois colocá-la em contato com chama do bico de bunsen por poucos segundos para a esterilização da mesma. Aguardar seu resfriamento.
- d) Espalhar a amostra pela placa de Petri com a espátula de vidro de forma suave, para evitar a quebra de moléculas.
- e) Ao sentir que houve alteração da rugosidade do Agar padrão da amostra, ou após três minutos do espalhamento, finalizar o ensaio.
- f) Levar a amostra (placa cultivada) para a Incubadora bacteriológica termostaticada, depositando-a com a tampa virada para baixo (de modo a prevenir embaçamento do vidro do lado do qual as colônias se formam, dificultando assim sua identificação e contagem), e mantê-la lá por 48 horas à temperatura de 36⁰C.
- g) A contagem das bactérias é feita em logo após quarenta e oito horas, com a utilização do Contador de colônias (tipo Quebec).
- h) A Capela de fluxo laminar deve ficar ligada por 15 minutos após o término de sua utilização e retirada de todos os materiais para esterilização do local.

De modo ideal para a contagem, de acordo com o Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA; AWWA; WEF 2005), os resultados devem estar na faixa de 30 a 300 unidades formadoras de colônias (UFC). Se isso não ocorrer, ou seja, se houver baixo número de colônias ou excesso de colônias (“crowding” da placa), sugere-se alteração da diluição da amostra.

ANEXO 2 – BALANÇO DE MASSA DE COT NAS MICRO-COLUNAS

A seguir são apresentados os balanços de massa de COT para todas as micro-colunas e etapas do trabalho. São eles:

- Balanço de massa de COT: fase 1 - micro-coluna adsorvedora pós filtração 1A, 1B, 1C e 2

- Balanço de massa de COT : fase 2 - micro-coluna adsorvedora pós filtração 1A, 1B, 1C e 2

- Balanço de massa de COT: fase 3 - micro-coluna adsorvedora pós filtração 1A, 1B, 1C e 2

BALANÇO DE MASSAS DE COT : FASE 1 - MICRO-COLUNA ADSORVEDORA PÓS FILTRAÇÃO 1A**Dados de entrada:**

Concentração de COT no afluente:	1,43 mg/L
Diâmetro interno da micro-coluna:	1,2 cm
Altura dos grânulos da micro-coluna:	25 cm
Porosidade dos grânulos:	50 %
Volume de vazios:	0,0141 L
Altura com fluido e livre de grânulos da micro-coluna :	35 cm
Volume com fluido e livre de grânulos da micro-coluna:	0,0396 L

Planilha de cálculo

Dia correspondente ao período do teste	Dia	Massa de COT (mg)			COT (mg/L)	
		Inicial na coluna	De saída após intervalo de tempo	Resultante na coluna	De saída do efluente	Resultante na coluna
dia 0 = dia 56	dia 0 > 2	0,08	0,02	0,05	1,65	1,37
61	dia 2 > 7	0,07	0,02	0,05	1,38	1,39
63	dia 7 > 9	0,07	0,01	0,06	0,94	1,51
75	dia 9 > 21	0,08	0,02	0,06	1,24	1,56
77	dia 21 > 23	0,08	0,02	0,06	1,48	1,55
82	dia 23 > 28	0,08	0,01	0,07	0,97	1,67
84	dia 28 > 30	0,09	0,04	0,05	2,63	1,36
86	dia 30	0,07	0,02	0,05	1,39	1,37
Total	-	0,64	0,17	0,47	-	-

Nota 1: Foram desprezadas as perdas de COT por volatilização e por crescimento da microbiota.

Resultado:

Eficiência média de remoção de COT (%) = Massa de COT resultante na coluna (mg) x 100/ Massa inicial total de COT (mg)

Fase 1 - Micro-coluna 1A - Eficiência média de remoção = 74,1%

BALANÇO DE MASSAS DE COT: FASE 1 - MICRO-COLUNA ADSORVEDORA PÓS FILTRAÇÃO 1B**Dados de entrada:**

Concentração de COT no afluente:	1,43 mg/L
Diâmetro interno da micro-coluna:	1,2 cm
Altura dos grânulos da micro-coluna:	25 cm
Porosidade dos grânulos:	50 %
Volume de vazios:	0,0141 L
Altura com fluido e livre de grânulos da micro-coluna :	35 cm
Volume com fluido e livre de grânulos da micro-coluna:	0,0396 L

Planilha de cálculo

Dia correspondente ao período do teste	Dia	Massa de COT (mg)			COT (mg/L)	
		Inicial na coluna	De saída após intervalo de tempo	Resultante na coluna	De saída do efluente	Resultante na coluna
dia 0 = dia 56	dia 0 > 2	0,08	0,04	0,04	2,56	1,13
61	dia 2 > 7	0,06	0,02	0,04	1,65	1,07
63	dia 7 > 9	0,06	0,03	0,03	2,17	0,88
75	dia 9 > 21	0,05	0,02	0,02	1,62	0,83
77	dia 21 > 23	0,04	0,03	0,02	1,89	0,71
82	dia 23 > 28	0,04	0,02	0,02	1,32	0,74
84	dia 28 > 30	0,04	0,03	0,01	2,41	0,48
86	dia 30	0,03	0,02	0,01	1,40	0,49
Total	-	0,39	0,21	0,18	-	-

Nota 1: Foram desprezadas as perdas de COT por volatilização e por crescimento da microbiota.

Resultado:

Eficiência média de remoção de COT (%) = Massa de COT resultante na coluna (mg) x 100/ Massa inicial total de COT (mg)

Fase 1 - Micro-coluna 1B - Eficiência média de remoção = 45,7%

BALANÇO DE MASSAS DE COT: FASE 1 - MICRO-COLUNA ADSORVEDORA PÓS FILTRAÇÃO 1C**Dados de entrada:**

Concentração de COT no afluente:	1,43 mg/L
Diâmetro interno da micro-coluna:	1,2 cm
Altura dos grânulos da micro-coluna:	25 cm
Porosidade dos grânulos:	50 %
Volume de vazios:	0,0141 L
Altura com fluido e livre de grânulos da micro-coluna :	35 cm
Volume com fluido e livre de grânulos da micro-coluna:	0,0396 L

Planilha de cálculo

Dia correspondente ao período do teste	Dia	Massa de COT (mg)			COT (mg/L)	
		Inicial na coluna	De saída após intervalo de tempo	Resultante na coluna	De saída do efluente	Resultante na coluna
dia 0 = dia 56	dia 0 > 2	0,08	0,03	0,05	2,00	1,28
61	dia 2 > 7	0,07	0,02	0,05	1,08	1,37
63	dia 7 > 9	0,07	0,02	0,05	1,57	1,34
75	dia 9 > 21	0,07	0,03	0,04	2,01	1,18
77	dia 21 > 23	0,06	0,02	0,04	1,45	1,18
82	dia 23 > 28	0,06	0,01	0,05	1,04	1,28
84	dia 28 > 30	0,07	0,05	0,02	3,80	0,66
86	dia 30	0,04	0,03	0,01	2,00	0,51
Total	-	0,52	0,21	0,31	-	-

Nota 1: Foram desprezadas as perdas de COT por volatilização e por crescimento da microbiota.

Resultado:

Eficiência média de remoção de COT (%) = Massa de COT resultante na coluna (mg) x 100/ Massa inicial total de COT (mg)

Fase 1 - Micro-coluna 1C - Eficiência média de remoção = 59,5%

BALANÇO DE MASSAS DE COT: FASE 1 - MICRO-COLUNA ADSORVEDORA PÓS FILTRAÇÃO 2**Dados de entrada:**

Concentração de COT no afluente:	1,43 mg/L
Diâmetro interno da micro-coluna:	2,1 cm
Altura dos grânulos da micro-coluna:	25 cm
Porosidade dos grânulos:	50 %
Volume de vazios:	0,0433 L
Altura com fluido e livre de grânulos da micro-coluna :	35 cm
Volume com fluido e livre de grânulos da micro-coluna:	0,1212 L

Planilha de cálculo

Dia correspondente ao período do teste	Dia	Massa de COT (mg)			COT (mg/L)	
		Inicial na coluna	De saída após intervalo de tempo	Resultante na coluna	De saída do efluente	Resultante na coluna
dia 0 = dia 56	dia 0 > 2	0,24	0,07	0,17	1,51	1,41
61	dia 2 > 7	0,23	0,06	0,18	1,28	1,45
63	dia 7 > 9	0,24	0,05	0,19	1,19	1,51
75	dia 9 > 21	0,25	0,13	0,12	2,93	1,12
77	dia 21 > 23	0,18	0,06	0,13	1,33	1,14
82	dia 23 > 28	0,19	0,03	0,16	0,71	1,33
84	dia 28 > 30	0,22	0,05	0,17	1,06	1,43
86	dia 30	0,24	0,04	0,19	0,97	1,55
Total	-	1,78	0,48	1,31	-	-

Nota 1: Foram desprezadas as perdas de COT por volatilização e por crescimento da microbiota.

Resultado:

Eficiência média de remoção de COT (%) = Massa de COT resultante na coluna (mg) x 100/ Massa inicial total de COT (mg)

Fase 1 - Micro-coluna 2 - Eficiência média de remoção = 73,3%

BALANÇO DE MASSAS DE COT: FASE 2 - MICRO-COLUNA ADSORVEDORA PÓS FILTRAÇÃO 1A**Dados de entrada:**

Concentração de COT no afluente:	6,06 mg/L
Diâmetro interno da micro-coluna:	1,2 cm
Altura dos grânulos da micro-coluna:	25 cm
Porosidade dos grânulos:	50 %
Volume de vazios:	0,0141 L
Altura com fluido e livre de grânulos da micro-coluna :	35 cm
Volume com fluido e livre de grânulos da micro-coluna:	0,0396 L

Planilha de cálculo

Dia correspondente ao período do teste	Dia	Massa de COT (mg)			COT (mg/L)	
		Inicial na coluna	De saída após intervalo de tempo	Resultante na coluna	De saída do efluente	Resultante na coluna
dia 0 = dia 7	dia 0 > 7	0,326	0,02	0,31	1,12	7,36
21	dia 7 > 21	0,395	0,02	0,38	1,40	8,59
28	dia 21 > 28	0,461	0,02	0,45	1,09	9,89
35	dia 28 > 35	0,532	0,02	0,51	1,66	11,05
43	dia 35 > 43	0,594	0,03	0,57	1,80	12,17
56	dia 43 > 56	0,654	0,04	0,62	2,70	13,06
63	dia 56 > 63	0,701	0,03	0,67	1,98	14,13
77	dia 63 > 77	0,759	0,04	0,72	3,04	14,93
84	dia 77 > 84	0,802	0,02	0,78	1,63	16,09
Total	-	5,22	0,23	4,99	-	-

Nota 1: Foram desprezadas as perdas de COT por volatilização e por crescimento da microbiota.

Resultado:

Eficiência média de remoção de COT (%) = Massa de COT resultante na coluna (mg) x 100/ Massa inicial total de COT (mg)

Fase 2 - Micro-coluna 1A - Eficiência média de remoção =	95,6%
---	--------------

BALANÇO DE MASSAS DE COT: FASE 2 - MICRO-COLUNA ADSORVEDORA PÓS FILTRAÇÃO 1B**Dados de entrada:**

Concentração de COT no afluente:	6,06 mg/L
Diâmetro interno da micro-coluna:	1,2 cm
Altura dos grânulos da micro-coluna:	25 cm
Porosidade dos grânulos:	50 %
Volume de vazios:	0,0141 L
Altura com fluido e livre de grânulos da micro-coluna :	35 cm
Volume com fluido e livre de grânulos da micro-coluna:	0,0396 L

Planilha de cálculo

Dia correspondente ao período do teste	Dia	Massa de COT (mg)			COT (mg/L)	
		Inicial na coluna	De saída após intervalo de tempo	Resultante na coluna	De saída do efluente	Resultante na coluna
dia 0 = dia 7	dia 0 > 7	0,33	0,02	0,30	1,62	7,23
21	dia 7 > 21	0,39	0,02	0,37	1,51	8,43
28	dia 21 > 28	0,45	0,02	0,43	1,68	9,58
35	dia 28 > 35	0,51	0,02	0,50	1,27	10,84
43	dia 35 > 43	0,58	0,03	0,56	1,87	11,94
56	dia 43 > 56	0,64	0,02	0,62	1,23	13,21
63	dia 56 > 63	0,71	0,02	0,69	1,27	14,47
77	dia 63 > 77	0,78	0,02	0,76	1,07	15,79
84	dia 77 > 84	0,85	0,02	0,83	1,10	17,09
Total	-	5,24	0,18	5,06	-	-

Nota 1: Foram desprezadas as perdas de COT por volatilização e por crescimento da microbiota.

Resultado:

Eficiência média de remoção de COT (%) = Massa de COT resultante na coluna (mg) x 100/ Massa inicial total de COT (mg)

Fase 2 - Micro-coluna 1B - Eficiência média de remoção =	96,6%
---	--------------

BALANÇO DE MASSAS DE COT: FASE 2 - MICRO-COLUNA ADSORVEDORA PÓS FILTRAÇÃO 1C**Dados de entrada:**

Concentração de COT no afluente:	6,06 mg/L
Diâmetro interno da micro-coluna:	1,2 cm
Altura dos grânulos da micro-coluna:	25 cm
Porosidade dos grânulos:	50 %
Volume de vazios:	0,0141 L
Altura com fluido e livre de grânulos da micro-coluna :	35 cm
Volume com fluido e livre de grânulos da micro-coluna:	0,0396 L

Planilha de cálculo

Dia correspondente ao período do teste	Dia	Massa de COT (mg)			COT (mg/L)	
		Inicial na coluna	De saída após intervalo de tempo	Resultante na coluna	De saída do efluente	Resultante na coluna
dia 0 = dia 7	dia 0 > 7	0,33	0,02	0,30	1,52	7,25
21	dia 7 > 21	0,39	0,04	0,35	2,75	8,13
28	dia 21 > 28	0,44	0,02	0,42	1,49	9,33
35	dia 28 > 35	0,50	0,02	0,48	1,26	10,59
43	dia 35 > 43	0,57	0,02	0,54	1,71	11,74
56	dia 43 > 56	0,63	0,02	0,61	1,37	12,97
63	dia 56 > 63	0,70	0,02	0,68	1,53	14,16
77	dia 63 > 77	0,76	0,02	0,74	1,20	15,44
84	dia 77 > 84	0,83	0,02	0,81	1,18	16,73
Total	-	5,14	0,20	4,94	-	-

Nota 1: Foram desprezadas as perdas de COT por volatilização e por crescimento da microbiota.

Resultado:

Eficiência média de remoção de COT (%) = Massa de COT resultante na coluna (mg) x 100/ Massa inicial total de COT (mg)

Fase 2 - Micro-coluna 1C - Eficiência média de remoção = 96,1%

BALANÇO DE MASSAS DE COT: FASE 2 - MICRO-COLUNA ADSORVEDORA PÓS FILTRAÇÃO 2**Dados de entrada:**

Concentração de COT no afluente:	6,06 mg/L
Diâmetro interno da micro-coluna:	2,1 cm
Altura dos grânulos da micro-coluna:	25 cm
Porosidade dos grânulos:	50 %
Volume de vazios:	0,0433 L
Altura com fluido e livre de grânulos da micro-coluna :	35 cm
Volume com fluido e livre de grânulos da micro-coluna:	0,1212 L

Planilha de cálculo

Dia correspondente ao período do teste	Dia	Massa de COT (mg)			COT (mg/L)	
		Inicial na coluna	De saída após intervalo de tempo	Resultante na coluna	De saída do efluente	Resultante na coluna
dia 0 = dia 7	dia 0 > 7	1,00	0,03	0,97	0,72	7,47
21	dia 7 > 21	1,23	0,22	1,01	5,11	7,72
28	dia 21 > 28	1,27	0,21	1,06	4,88	8,03
35	dia 28 > 35	1,32	0,06	1,26	1,29	9,28
43	dia 35 > 43	1,53	0,08	1,45	1,80	10,40
56	dia 43 > 56	1,71	0,04	1,67	0,96	11,74
63	dia 56 > 63	1,93	0,06	1,88	1,31	12,99
77	dia 63 > 77	2,14	0,07	2,07	1,51	14,19
84	dia 77 > 84	2,33	0,06	2,28	1,28	15,45
Total	-	14,46	0,82	13,64	-	-

Nota 1: Foram desprezadas as perdas de COT por volatilização e por crescimento da microbiota.

Resultado:

Eficiência média de remoção de COT (%) = Massa de COT resultante na coluna (mg) x 100/ Massa inicial total de COT (mg)

Fase 2 - Micro-coluna 2 - Eficiência média de remoção = 94,4%

BALANÇO DE MASSAS DE COT: FASE 3 - MICRO-COLUNA ADSORVEDORA PÓS FILTRAÇÃO 1A**Dados de entrada:**

Concentração de COT no afluente:	6,06 mg/L
Diâmetro interno da micro-coluna:	1,2 cm
Altura dos grânulos da micro-coluna:	25 cm
Porosidade dos grânulos:	50 %
Volume de vazios:	0,0141 L
Altura com fluido e livre de grânulos da micro-coluna :	35 cm
Volume com fluido e livre de grânulos da micro-coluna:	0,0396 L

Planilha de cálculo

Dia correspondente ao período do teste	Dia	Massa de COT (mg)			COT (mg/L)	
		Inicial na coluna	De saída após intervalo de tempo	Resultante na coluna	De saída do efluente	Resultante na coluna
dia 0 = dia 0	dia 0 > 7	0,326	0,03	0,30	1,86	7,17
7	dia 7 > 14	0,385	0,01	0,37	1,03	8,49
14	dia 14	0,456	0,01	0,45	0,61	9,92
Total	-	1,17	0,05	1,12	-	-

Nota 1: Foram desprezadas as perdas de COT por volatilização e por crescimento da microbiota.

Resultado:

Eficiência média de remoção de COT (%) = Massa de COT resultante na coluna (mg) x 100/ Massa inicial total de COT (mg)

Fase 3 - Micro-coluna 1A - Eficiência média de remoção = 95,8%

BALANÇO DE MASSAS DE COT : FASE 3 - MICRO-COLUNA ADSORVEDORA PÓS FILTRAÇÃO 1B**Dados de entrada:**

Concentração de COT no afluente:	6,06 mg/L
Diâmetro interno da micro-coluna:	1,2 cm
Altura dos grânulos da micro-coluna:	25 cm
Porosidade dos grânulos:	50 %
Volume de vazios:	0,0141 L
Altura com fluido e livre de grânulos da micro-coluna :	35 cm
Volume com fluido e livre de grânulos da micro-coluna:	0,0396 L

Planilha de cálculo

Dia correspondente ao período do teste	Dia	Massa de COT (mg)			COT (mg/L)	
		Inicial na coluna	De saída após intervalo de tempo	Resultante na coluna	De saída do efluente	Resultante na coluna
dia 0 = dia 0	dia 0 > 7	0,33	0,02	0,30	1,52	7,25
7	dia 7 > 14	0,39	0,01	0,38	0,76	8,65
14	dia 14	0,46	0,01	0,45	0,73	10,05
Total	-	1,18	0,04	1,14	-	-

Nota 1: Foram desprezadas as perdas de COT por volatilização e por crescimento da microbiota.

Resultado:

Eficiência média de remoção de COT (%) = Massa de COT resultante na coluna (mg) x 100/ Massa inicial total de COT (mg)

Fase 3 - Micro-coluna 1B - Eficiência média de remoção = 96,4%

BALANÇO DE MASSAS DE COT: FASE 3 - MICRO-COLUNA ADSORVEDORA PÓS FILTRAÇÃO 1C**Dados de entrada:**

Concentração de COT no afluente:	6,06 mg/L
Diâmetro interno da micro-coluna:	1,2 cm
Altura dos grânulos da micro-coluna:	25 cm
Porosidade dos grânulos:	50 %
Volume de vazios:	0,0141 L
Altura com fluido e livre de grânulos da micro-coluna :	35 cm
Volume com fluido e livre de grânulos da micro-coluna:	0,0396 L

Planilha de cálculo

Dia correspondente ao período do teste	Dia	Massa de COT (mg)			COT (mg/L)	
		Inicial na coluna	De saída após intervalo de tempo	Resultante na coluna	De saída do efluente	Resultante na coluna
dia 0 = dia 0	dia 0 > 7	0,33	0,02	0,30	1,65	7,22
7	dia 7 > 14	0,39	0,02	0,37	1,20	8,50
14	dia 14	0,46	0,01	0,44	0,86	9,87
Total	-	1,17	0,05	1,12	-	-

Nota 1: Foram desprezadas as perdas de COT por volatilização e por crescimento da microbiota.

Resultado:

Eficiência média de remoção de COT (%) = Massa de COT resultante na coluna (mg) x 100/ Massa inicial total de COT (mg)

Fase 3 - Micro-coluna 1C - Eficiência média de remoção = 95,5%

BALANÇO DE MASSAS DE COT: FASE 3 - MICRO-COLUNA ADSORVEDORA PÓS FILTRAÇÃO 2**Dados de entrada:**

Concentração de COT no afluente:	6,06 mg/L
Diâmetro interno da micro-coluna:	2,1 cm
Altura dos grânulos da micro-coluna:	25 cm
Porosidade dos grânulos:	50 %
Volume de vazios:	0,0433 L
Altura com fluido e livre de grânulos da micro-coluna :	35 cm
Volume com fluido e livre de grânulos da micro-coluna:	0,1212 L

Planilha de cálculo

Dia correspondente ao período do teste	Dia	Massa de COT (mg)			COT (mg/L)	
		Inicial na coluna	De saída após intervalo de tempo	Resultante na coluna	De saída do efluente	Resultante na coluna
dia 0 = dia 0	dia 0 > 7	1,00	0,04	0,96	0,85	7,43
7	dia 7 > 14	1,22	0,03	1,19	0,68	8,85
14	dia 14	1,455	0,03	1,43	0,65	10,27
Total	-	3,68	0,09	3,58	-	-

Nota 1: Foram desprezadas as perdas de COT por volatilização e por crescimento da microbiota.

Resultado:

Eficiência média de remoção de COT (%) = Massa de COT resultante na coluna (mg) x 100/ Massa inicial total de COT (mg)

Fase 3 - Micro-coluna 2 - Eficiência média de remoção = 97,4%

LISTA DE REFERÊNCIAS

AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (AWWA). Coor. de Mark Le Chevallier, et al. **Microbial Impact of Biological Filtration**. Reseach Foudation, Project 917,1998.

_____. Coor. de Mark Burr, Anne K. Camper, Ricardo de Leon, Pat Hacker. **Colonization of Biologically Active Filter Media with Pathogens**. Research Foundation, Denver, 1999a.

_____. Coor. de Peter M. Huck, et al. **Optimizing Filtration in Biological Filters**. Research Foundation, Denver, 1999b.

_____. **Water Quality and Treatment: Handbook of Community Supplies**. 5ed. Nova York: s.n, 1999c.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **A342.g GEO Brasil - Componente da série de relatórios sobre o estado e perspectivas do meio ambiente no Brasil**. Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente. Brasília, 264p., 2007.

APHA, AWWA, WEF. **Standard Methods For the Examination of Water and Wastewater**. 21ed. Cincinatti: Centennial Edition, 2005.

BITTON, G. **Wastewater Microbiology**. 2.ed. New York: Wiley Liss, 1999.

BOTELHO, L.E.R.; LAGE FILHO, F.A. Avaliação preliminar do efeito de combinações de coagulantes e do tipo de meio filtrante na remoção de carbono orgânico total e na demanda de cloro da água tratada. **Revista Sanare**, Curitiba, v. 25, n. 25, p. 17-23, jul. a dez. 2006.

CARVALHO, M. F.; VASCONCELOS, L.; BULL, A. T.; CASTRO, P. M. L. A GAC. Biofilm Reactor for the Continuous Degradation of 4-Chlorophenol: Treatment Efficiency and Microbial Analysis. **Applied Microbial Technology**, v. 57, p. 419 – 426, 2001.

CARVALHO, M.F.; DUQUE, A.F.; GONÇALVES I.C; CASTRO, P.M.L. Adsorption with fluorobenzene onto granular activated carbon: isotherm and bioavailability studies. **Bioresource Technology**. Portugal, vol. 98, p. 3424 – 3430, 2006.

CHUDYK, W. A.; SNOEYINK, V. Bioregeneration of activated carbon saturated with phenol. **Environmental Science & Technology**, Korea, vol. 18, n.1, p. 1 – 5, 1984.

CH2M-HILL. **TOC removal needed for free chlorine as a residual disinfectant**. St Johns River Water Supply Project: Literature Review of Surface Water Treatment Technologies. mar. 2001.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (CETESB). **Método de ensaio: Bactérias heterotróficas contagem em placas**. São Paulo:1996.

COONEY, D. **Adsorption desing for wastewater treatment** . 1.ed. Boca Raton: Lewis Publishers, 1998.

DI BERNARDO, L.(coord.). **Métodos e técnicas de tratamento de água**. 2 ed. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Ambiental (ABES), v.2, 1993.

_____.(coord.).**Tratamento de água para abastecimento por filtração direta**. Projeto PROSAB Edital 3. Rio de Janeiro: ABES,480p., 2003.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). Cincinatti. **Planning of small treatment systems**. Disponível em: <<http://www.epa.gov/safewater/smallsys/planning/treatment>>. Acesso em 12 de dez. 2005.

FERREIRA FILHO, S.S. **Utilização de carvão ativado granular como pós filtra-adsorvedor na Estação de Tratamento do Alto da boa Vista (ETA-ABV) visando a redução da concentração de compostos orgânicos causadores de odor e sabor em águas de abastecimento**. Proposta técnica de projeto de pesquisa encaminhada à SABESP – Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo. São Paulo, 1997.

FERREIRA FILHO, S. S.; MARCHETTO, M. Otimização multi-objetivo de estações de tratamento de água de abastecimento: remoção de turbidez, carbono orgânico total e gosto e odor. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, São Paulo, vol. 2, n. 1, p.7-15, jan. a mar. 2006.

GILLOGLY, E.T.T et al. Determining CAG bed life. **Journal AWWA**, Denver, vol. 91, n. 8. p.98-109, 1999.

HA, S. H.; VINITNANTHARAT, S.; OSAKI, H. – Bioregeneration by Mixed Microorganisms of Granular Activated Carbon Loaded With a Mixture of Phenols. **Biotechnology Letters**, v. 22, p. 1093-1096, 2000.

HARGESHEIMER, ERIKA E.; WATSON, SUSAN B. Drinking water treatment options for taste and odor control. **Water Research**, Londres, v.30, n.6, p. 1423-1430, 1996.

INSTITUTO BIOLÓGICO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Relatório de condições de vida da população brasileira 2004**. <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pnsb/default.shtm>>. Acesso em: 08 de abr. 2008.

LE BEC, R. et al. Development of rapid tests for the evaluation of dynamic adsorption and biological activity of granular activated carbons. **Water Supply**, Amsterdam, v.14, p. 71-84, 1996.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Brasília. Jul 2003. **Diagnóstico Analítico da Situação da Gestão Municipal de Resíduos Sólidos no Brasil**. Disponível em: <<http://www.cidades.gov.br>>. Acesso em: 09 de set. 2007.

MIOZZO, R. **Carvão Ativado. Instituto de Pesquisas em Aqüicultura e Aqüariologia** Disponível em: <<http://www.ipaq.org.br/modules.php?name=>

MONTGOMERY WATSON HARZA (MWH). **Water Treatment Principles and Design**. 2ed. Nova York: John Wiley of Sons, 2005.

MORENO R. M., ALBUQUERQUE JUNIOR E.C., FRANCO T. T. Predição da porosidade e capacidade de adsorção em carvões ativados utilizando iodo e azul de metileno. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA EM INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 6., Campinas, 2006. **Anais**. Campinas: 2006. p. 1-6.

MUCCIACITO J. C. Conceitos e aplicação do carvão ativado. **Revista Meio Filtrante**, São Paulo, n. 22, set. a out. 2006.

PERUZZO, L.C. **Influência de agentes auxiliares na adsorção de corantes de efluentes da indústria têxtil em colunas de leito fixo**. 2003. 80p. Dissertação (Mestrado) - Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2003.

RIBEIRO, J.T.; BRESAOLA JÚNIOR, R. Influência da variação do valor do pH das soluções aquosas de ácidos húmicos sobre sua taxa de remoção em carvão ativado em pó. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL DA ABES - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 27., Rio de Janeiro, 2000. **Anais**. Rio de Janeiro: 2000. p.1-13.

RITTMANN, BRUCE E.; SNOEYINK, VERNON L. Achieving biologically stable drinking water. **Journal AWWA**, Denver, p. 106-113, 1984.

ROOK, J. J. Chlorination Reactions of Fulvic Acids in Natural Waters. **Environmental Science & Technology**, v. 11, n. 5, p. 478 – 482, 1977.

SOARES, J.L. **Remoção de corantes têxteis por adsorção em carvão mineral ativado com alto teor de cinzas**. 1998. 80p. Dissertação (Mestrado) - Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 1998.

SCHOLZ, M.; MARTIN, R. J. Ecological equilibrium of biological activated carbon. **Water Research**, Londres, v. 31, n. 12, p. 2958-2968, 1997.

TAVARES, T; SILVA, I. **Remoção de metais pesados em biofilmes suportados por carvão ativado**. Centro de Engenharia Biológica da Universidade do Minho. Lisboa, p.232-234, 2001.

WALKER, G.M.; WEATHERLY, L. R. Bacterial Regeneration in Biological Activated Carbon Systems. **Process Safety and Environmental protection**, v. 76, n. B2, p. 177-182, 1998.

WEST, T. E.; LAGE FILHO, F. A. **Hetch Hetchy Source Treatability Report**. San Francisco: Departamento de Águas e Energia de San Francisco, 1994. (Relatório da Camp, Dresser & Mckee, p.416).