

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

**FILTRAÇÃO EM MÚLTIPLAS ETAPAS APLICADA AO
TRATAMENTO DE ÁGUA COM PRESENÇA DE ALGAS:
AVALIAÇÃO DE VARIÁVEIS OPERACIONAIS**

WALDEMIR ALENCAR DE SOUZA JÚNIOR

ORIENTADORA: CRISTINA CÉLIA SILVEIRA BRANDÃO

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM
TECNOLOGIA AMBIENTAL E RECURSOS HÍDRICOS**

PUBLICAÇÃO: MTARH.DM - 017 A/99

BRASÍLIA/DF: AGOSTO - 1999.

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

**FILTRAÇÃO EM MÚLTIPLAS ETAPAS APLICADA AO
TRATAMENTO DE ÁGUA COM PRESENÇA DE ALGAS:
AVALIAÇÃO DE VARIÁVEIS OPERACIONAIS**

WALDEMIR ALENCAR DE SOUZA JÚNIOR

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO
DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL DA FACULDADE DE TEC-
NOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, COMO PARTE DOS
REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MES-
TRE EM TECNOLOGIA AMBIENTAL E RECURSOS HÍDRICOS.

APROVADA POR:

Profª. Cristina Célia Silveira Brandão, PhD. (ENC-UnB)
(Orientadora)

Prof. Ricardo Silveira Bernardes, PhD. (ENC-UnB)
(Examinador Interno)

Prof. Léo Heller, DSc. (UFMG)
(Examinador Externo)

BRASÍLIA/DF, 04 DE AGOSTO DE 1999.

FICHA CATALOGRÁFICA

SOUZA JR, WALDEMIR ALENCAR DE

Filtração em Múltiplas Etapas Aplicada ao Tratamento de Água com Presença de Algas: Avaliação de Variáveis Operacionais. [Distrito Federal] 1999. xvii, 134p., 297 mm (ENC/FT/UnB, Mestre, Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, 1999). Dissertação de Mestrado - Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

- | | |
|----------------------------------|----------------------|
| 1. Filtração em Múltiplas Etapas | 2. Pré-tratamento |
| 3. Remoção de algas | 4. Forma de operação |
| I. ENC/FT/UnB | II. Título (série) |

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

SOUZA JR., W. A. (1999). Filtração em Múltiplas Etapas Aplicada ao Tratamento de Água com Presença de Algas: Avaliação de Variáveis Operacionais. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Publicação MTARH.DM - 17 A/99, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 134p.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Waldemir Alencar de Souza Júnior.

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO: Filtração em Múltiplas Etapas Aplicada ao Tratamento de Água com Presença de Algas: Avaliação de Variáveis Operacionais.

GRAU / ANO: Mestre / 1999

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

Waldemir Alencar de Souza Júnior
Rua Soares Carneiro número 205, Umarizal
66.000-520 Belém - PA - Brasil.

DEDICATÓRIA

Página opcional!

Este trabalho é dedicado a ...
continuação

AGRADECIMENTOS

(Página opcional) Agradeço

continuação

RESUMO

FILTRAÇÃO EM MÚLTIPLAS ETAPAS APLICADA AO TRATAMENTO DE ÁGUA COM PRESENÇA DE ALGAS: AVALIAÇÃO DE VARIÁVEIS OPERACIONAIS

Autor: Waldemir Alencar de Souza Júnior

Orientadora: Cristina Célia Silveira Brandão

Programa de Pós-graduação em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos
Brasília, agosto de 1999

A Filtração em Múltiplas Etapas (FiME) é uma seqüência de tratamento que é formada por sistemas de pré-tratamento em pedregulho e filtração lenta. Existem vários estudos que comprovam a eficiência dessa tecnologia no tratamento de água com alta turbidez, o que proporciona uma considerável ampliação nos limites de aplicabilidade da filtração lenta. O presente trabalho foi desenvolvido, em escala piloto, com a utilização da filtração em múltiplas etapas no tratamento de água do Lago Paranoá (Brasília-DF), tendo como objetivo geral Como objetivos específicos, o trabalho procurou verificar

A instalação piloto utilizada no experimento é formada por um pré-filtro dinâmico de pedregulho, que foi operado com taxa de $36 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$, dois pré-filtros de pedregulho com escoamento ascendentes, de mesma granulometria, nos quais foram testadas a adoção de taxas de filtração de 12 e $18 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$, e dois filtros lentos de areia, os quais foram operados com taxas de 3 e $6 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$.

Durante a realização do estudo a água bruta apresentou valores de turbidez variando de 2,5 a $11 \mu T$, e concentrações de clorofila-a na faixa de 1 a $49 \mu g/L$, e valor médio de $25,8 \mu g/L$. O desempenho de cada unidade, e do sistema de tratamento como um todo, foi avaliado a partir de dados de.....

Os resultados sugerem que a FiME possui um grande potencial no tratamento de águas com elevadas concentrações de algas, produzindo efluentes com teores de clorofila-a abaixo de $0,5 \mu g/L$ e turbidez sempre inferior a $1 \mu T$.

Os dois filtros lentos produziram água com qualidade similar, independentemente da condição operacional ou do arranjo físico do sistema de pré-tratamento. Entretanto, a perda de carga foi maior quando o filtro lento recebia água com qualidade inferior.

ABSTRACT

MULTISTAGE FILTRATION APPLIED TO THE TREATMENT OF ALGAL LADEN WATERS: EVALUATION OF OPERATIONAL CONDITIONS

Author: Waldemir Alencar de Souza Júnior

Supervisor: Cristina Célia Silveira Brandão

Programa de Pós-graduação em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos
Brasília, August of 1999

Multistage Filtration (MSF) is a treatment sequence based on the combination of gravel roughing filtration and slow sand filtration. There are many studies that show that this technology is very efficient in treating water with high values of turbidity, extending the application of the slow sand filtration to waters of poorer quality. The present work was developed in a multistage filtration pilot plant treating water from Paranoá Lake (Brasília - DF - Brazil). Considering the particularities of the algal laden waters, More specifically, the work evaluated the

The pilot plant comprises a dynamic roughing filter, operated at a constant filtration rate of $36 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{day}$, two similar five layers upflow rough filters and two slow sand filters. Two filtration rates were applied to the upflow filters, 12 e $18 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{day}$, as well as to the slow sand filters, 3 e $6 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{day}$.

During the experiments the raw water presented turbidity varying from 2.5 to 11 NTU and chlorophyll-a concentration in the range of 1 to $49 \mu\text{g}/\text{L}$, with an average value of $25.8 \mu\text{g}/\text{L}$. The performance of

The results show that the MSF system tested is able to treat waters with high algae concentrations and low turbidity, producing water with less than $0.5 \mu\text{g}/\text{L}$ chlorophyll-a and turbidity always inferior to 1 NTU.

Regardless the operational condition adopted and the pre-treatment arrangement, the two slow sand filter units always produced water with very similar quality. However, the head loss development was higher in the unit which was fed with poorer water quality.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS	1
1.1.1	Subseção 1.1.1	1
1.2	OUTRA SEÇÃO	2
1.2.1	Outra subseção	2
2	METODOLOGIA	3
2.1	TÍTULO DA SEÇÃO 2.1	3
2.1.1	Título da subseção 2.1.1	3
2.1.2	Título da subseção 2.1.2	4
2.2	TÍTULO DA SEGUNDA SEÇÃO	5
2.2.1	Sub 2	5
3	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	6
3.1	CONCLUSÕES GERAIS	6
3.2	RECOMENDAÇÕES PARA PESQUISAS FUTURAS	6
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	7
	APÊNDICES	8
	A QUANTIFICAÇÃO DO FITOPLANCTON	9
	B CARACTERÍSTICAS DAS ALGAS	10

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1 - Tabela exemplo. 2

Tabela 2.1 - Principais parâmetros de projeto para filtros lentos (modificado
[3]) 5

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Elementos básicos de um filtro lento.	4
--	---

LISTA DE SÍMBOLOS, NOMENCLATURA E ABREVIACÕES

$E(\theta_i, \phi_i, \lambda)$: potência radiada pela fonte de luz que ilumina a partir da direção (θ_i, ϕ_i) um ponto de uma superfície, por unidade de área desta superfície, de ângulo sólido e de comprimento de onda λ .

$E_0(\lambda)$: potência radiada pela fonte de luz que ilumina um ponto de uma superfície, por unidade de área desta superfície e de comprimento de onda λ .

$f_p(x)$: função densidade de probabilidade associada à medida de luminância em um pixel da imagem de uma trajetória sobre um fundo de reflectância constante.

$f(x|F)$: função densidade de probabilidade associada à medida de luminância em um pixel, condicionada ao fato de pertencer ele ao fundo (evento F).

$f(x|T)$: função densidade de probabilidade associada à medida de luminância em um pixel, condicionada ao fato de pertencer ele à trajetória (evento T).

FDBR: função de distribuição bidirecional de reflectância.

(i_k, j_k) : seqüência de pontos a serem percorridos pelo efetuador, em coordenadas de imagem.

$I(i, j)$: luminância do pixel (i, j) da imagem.

$L(\theta_e, \phi_e, \lambda)$: potência refletida por um ponto de uma superfície na direção (θ_e, ϕ_e) , por unidade de área, ângulo sólido e comprimento de onda λ .

λ_F : momento de ordem 2 de $f(x|F)$.

λ_T : momento de ordem 2 de $f(x|T)$.

μ_T : valor esperado de $f(x|T)$.

μ_F : valor esperado de $f(x|F)$.

p_F : probabilidade de que um pixel na imagem de uma trajetória sobre um fundo de reflectância constante pertença ao fundo.

$P_I(i, j, \lambda)$: potência irradiada no ponto (i, j) do plano de imagem, por unidade de área e comprimento de onda λ .

p_T : probabilidade de que um pixel na imagem de uma trajetória sobre um fundo de reflectância constante pertença à trajetória.

σ_F : variância de $f(x|F)$.

σ_T : variância de $f(x|T)$.

TCP: Tool Center Point, o efetuador do manipulador robótico.

(x_k, y_k) : seqüência de pontos a serem percorridos pelo efetuador, em coordenadas do espaço de trabalho.

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Aqui tem início o primeiro nível de subitem da dissertação de mestrado (tese de doutorado). Escreva o título da seção mais adequado referente ao tipo de texto que será apresentado.

A melhor forma de apresentação do conteúdo do trabalho pode ser discutida com o seu orientador.

A Folha Catalográfica, na página iii desse modelo, indica que na dissertação de mestrado apresentada por Waldemir de Souza Júnior existem 17 (xvii) folhas de preliminares e 134 de texto, a partir do capítulo 1, incluindo referências bibliográficas e apêndices.

1.1.1 Subseção 1.1.1

Aqui tem início o segundo nível de subitem. Observe-se que o título é em negrito, tamanho 12, letras minúsculas, exceto a primeira. Se houver nome próprio, a letra inicial do referido nome será maiúscula, independente da localização da palavra na frase.

1.1.1.1 Subsubseção 1.1.1.1

Aqui tem início o último nível permitido de subitem.

Observe-se que o título, é em tamanho 12, letras minúsculas, exceto a primeira, e não é em negrito. Se houver nome próprio, a letra inicial do referido nome será maiúscula, independente da localização da palavra na frase.

A filtração, no tratamento de água para consumo humano, deve ter sido criada pelo homem como resultado da observação da limpidez da água subterrânea, a qual é atribuída à passagem da água pelos solos naturais, tendo-se notícia do emprego da filtração para clarificação da água desde o século XVI [2].

John Gibb em Paisley (Escócia) e James Simpson em Londres (Inglaterra), no início século do XIX, foram os criadores dos primeiros projetos de sistemas de tratamento com a passagem da água através de meios granulares.

Um exemplo de tabela é mostrado a seguir (1.1).

1.2 OUTRA SEÇÃO

Exemplo de tabela.

1.2.1 Outra subseção

Aqui começa a outra subsecao.

1.2.1.1 Uma subsubseção

Aqui o texto continua [2] com a citação de uma referência bibliográfica.

Tabela 1.1: Tabela exemplo.

x	f(x)
0	0
1	1
2	4

2 METODOLOGIA

2.1 TÍTULO DA SEÇÃO 2.1

Início do texto da seção.
..... Fim do texto da seção.

2.1.1 Título da subseção 2.1.1

Início do texto da subseção.
..... Fim do texto da subseção

2.1.1.1 Título da subsubseção 2.1.1.1

A filtração, no tratamento de água para consumo humano, deve ter sido criada pelo homem como resultado da observação da limpidez da água subterrânea, a qual é atribuída à passagem da água pelos solos naturais, tendo-se notícia do emprego da filtração para clarificação da água desde o século XVI [1].

John Gibb em Paisley (Escócia) e James Simpson em Londres (Inglaterra), no início século do XIX, foram os criadores dos primeiros projetos de sistemas de tratamento com a passagem da água através de meios granulares. O primeiro construiu um filtro de areia para servir sua indústria de branqueamento. O segundo projetou e construiu um sistema de filtração lenta destinado ao abastecimento da cidade de Londres que visava, principalmente, à remoção de sólidos suspensos da água bruta. Os estudiosos da época acreditavam que os filtros lentos serviam apenas para remover impurezas da água, através de um processo natural de peneiramento, produzindo desta maneira, uma água sem cor, turbidez e sabor, porém não se conheciam os mecanismos e processos envolvidos [1].

2.1.1.2 Título da subsubseção 2.1.1.2

Em meados do século XIX, em Nova York
fim do texto dessa subsubseção.

2.1.2 Título da subseção 2.1.2

O filtro lento consiste, basicamente, de um tanque, geralmente retangular, onde é acomodado um leito de areia fina colocada sobre uma camada suporte de pedregulho. O filtro também possui um sistema de drenagem com tubulação perfurada e dispositivos de regulação e controle de vazão. A Figura 2.1 mostra o filtro lento e seus principais componentes e a Tabela 2.1 mostra os parâmetros de projeto de filtros lentos.

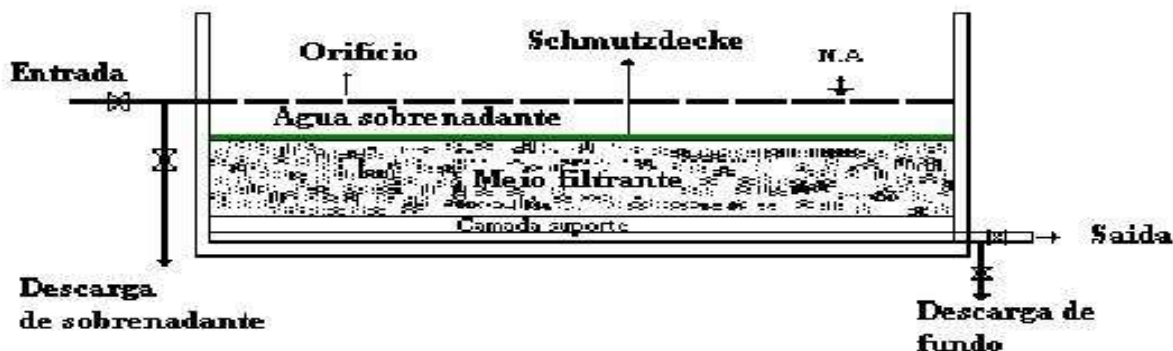


Figura 2.1: Elementos básicos de um filtro lento.

A filtração lenta é um processo que ocorre de forma natural, ou seja, sem a utilização de produtos químicos, de equipamentos sofisticados e de mão de obra especializada para sua operação. A inexistência das etapas de mistura rápida, floculação e decantação permite geralmente a produção de água com custos mais baixos provocado pela redução tanto de investimentos iniciais como, principalmente, do custo operacional. Esse processo consiste na passagem da água bruta através de um meio poroso, de granulometria fina, geralmente areia [1]. A Tabela 2.1 apresenta os principais parâmetros de projeto para filtros lentos.

Tabela 2.1: Principais parâmetros de projeto para filtros lentos (modificado [3])

Parâmetro	Valor usual
Taxa de filtração ($m^3/m^2.d$)	1,0 a 7,2
Duração da carreira de filtração (meses)	1 a 6
Espessura da camada (m)	0,5 a 0,8
Tamanho dos grãos (mm)	0,104 a 1,0
Tamanho efetivo (mm)	0,15 a 0,3
Coefficiente de desuniformidade	1,5 a 3

2.2 TÍTULO DA SEGUNDA SEÇÃO

Abaixo estou apresentando uma figura que servirá como teste para se verificar se o programa está executando as configurações que prevíamos. Certamente teremos algumas dificuldades no decorrer de sua implementação.

Segue um outro exemplo de citação. Todo filtro do tipo FIR é estável [1]. Uma referencia bibliográfica [3].

Mais outro exemplo de citação. Todo [2] filtro do tipo FIR é estável [3].

2.2.1 Sub 2

Nada a a crescer.

3 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

3.1 CONCLUSÕES GERAIS

A filtração, no tratamento de água para consumo humano, deve ter sido criada pelo homem como resultado da observação da limpidez da água subterrânea, a qual é atribuída à passagem da água pelos solos naturais, tendo-se notícia do emprego da filtração para clarificação da água desde o século XVI.

John Gibb em Paisley (Escócia) e James Simpson em Londres (Inglaterra), no início século do XIX, foram os criadores dos primeiros projetos de sistemas de tratamento com a passagem da água através de meios granulares. O primeiro construiu um filtro de areia para servir sua indústria de branqueamento. O segundo projetou e construiu um sistema de filtração lenta destinado ao abastecimento da cidade de Londres que visava, principalmente, à remoção de sólidos suspensos da água bruta. Os estudiosos da época acreditavam que os filtros lentos serviam apenas para remover impurezas da água, através de um processo natural de peneiramento, produzindo desta maneira, uma água sem cor, turbidez e sabor, porém não se conheciam os mecanismos e processos envolvidos.

3.2 RECOMENDAÇÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

A filtração, no tratamento de água para consumo humano, deve ter sido criada pelo homem como resultado da observação da limpidez da água subterrânea, a qual é atribuída à passagem da água pelos solos naturais, tendo-se notícia do emprego da filtração para clarificação da água desde o século XVI.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Oppenheim, A. V. e Schafer, R. W. *Discrete-Time Signal Processing*. Prentice Hall Signal Processing Series. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey 07632, 1989.
- [2] Ramírez, J. J. e Colín, R. T. Especie nueva del género *Jatropha* (Euphorbiaceae) de la sección *Mozinna*. *Anales del Instituto de Biología*, 65(1):1–5, 1994.
- [3] Teixeira Filho, A. R. *Piscicultura ao alcance de todos*. Nobel, São Paulo, 1991.

APÊNDICES

A QUANTIFICAÇÃO DO FITOPLANKTON

A diversidade de espécies de algas no lago Paranoá é considerada baixa e predomina, de forma significativa, uma cianofícea filamentosa classificada como *Cylindrospermopsis raciborskii*, que é responsável por 99 % da biomassa algal. A predominância dessa espécie tem sido continuamente confirmada no programa de monitoramento limnológico do lago realizado pela CAESB.

As coletas foram realizadas em frascos opacos de 100 ml, onde após a coleta de amostra eram adicionados 0,3 ml da solução de lugol acético, envolvidos por papel laminado para evitar a penetração de luz e conservados a baixa temperatura. Ao chegar ao laboratório, as amostras são homogeneizadas para que uma sub-amostra seja retirada para a realização da análise. No caso da existência de uma população muito densa de algas (10 ou mais indivíduos por campo), é aconselhável o uso de câmaras de sedimentação do plâncton com um volume de 0,13 ml, denominada Palmer-Maloney. As câmaras de sedimentação com volume de 1 ml, como as de Utermöhl, podem ser uma boa opção para as populações de menor densidade.

O tempo de sedimentação do fitoplâncton varia conforme o volume das câmaras; para as câmaras de 0,13 e 1 ml. O tempo de sedimentação é de 15 e 60 minutos, respectivamente. Após a sedimentação em câmaras, as sub-amostras podem ser quantificadas totalmente ou uma fração desta. Quando se conta uma fração, pode-se fazê-lo aleatoriamente (10 campos escolhidos ao acaso) ou sistematicamente (diagonal).

A quantificação das algas *Cylindrospermopsis raciborskii* nas amostras AB e PFD foram realizadas aleatoriamente, enquanto que para os pré-filtros e filtros lentos, a contagem foi sistemática. A alga *Cylindrospermopsis raciborskii* é quantificada pela soma do comprimento de seus filamentos, através da contagem dos quadrados, existentes em um retículo (micrômetro ocular) do microscópio, e corresponde a cada filamento.

A partir da contagem em triplicada

B CARACTERÍSTICAS DAS ALGAS

Segundo [3], a diversidade de espécies de algas no lago Paranoá é considerada baixa e predomina, de forma significativa, uma cianofícea filamentosa classificada como *Cylindropermopsi raciborskii*, que é responsável por 99 % da biomassa algal. A predominância dessa espécie tem sido continuamente confirmada no programa de monitoramento limnológico do lago realizado pela CAESB.

As coletas foram realizadas em frascos opacos de 100 ml, onde após a coleta de amostra eram adicionados 0,3 ml da solução de lugol acético, envolvidos por papel laminado para evitar a penetração de luz e conservados a baixa temperatura. Ao chegar ao laboratório, as amostras são homogeneizadas para que uma sub-amostra seja retirada para a realização da análise. No caso da existência de uma população muito densa de algas (10 ou mais indivíduos por campo), é aconselhável o uso de câmaras de sedimentação do plâncton com um volume de 0,13 ml, denominada Palmer-Maloney. As câmaras de sedimentação com volume de 1 ml, como as de Utermöhl, podem ser uma boa opção para as populações de menor densidade.

O tempo de sedimentação do fitoplâncton varia conforme o volume das câmaras; para as câmaras de 0,13 e 1 ml. O tempo de sedimentação é de 15 e 60 minutos, respectivamente. Após a sedimentação em câmaras, as sub-amostras podem ser quantificadas totalmente ou uma fração desta. Quando se conta uma fração, pode-se fazê-lo aleatoriamente (10 campos escolhidos ao acaso) ou sistematicamente (diagonal).