



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental
Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental

ANTONIO ADILIO DA SILVEIRA

**REMOÇÃO DE ALGAS DA ÁGUA DA LAGOA DO PERI ATRAVÉS DE
FILTRAÇÃO DIRETA DESCENDENTE COM PRÉ - FILTRAÇÃO
MECÂNICA EM MICROPENEIRAS.**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

FLORIANÓPOLIS, SC – BRASIL

2003

ANTONIO ADÍLIO DA SILVEIRA

**REMOÇÃO DE ALGAS DA ÁGUA DA LAGOA DO PERI ATRAVÉS DE
FILTRAÇÃO DIRETA DESCENDENTE COM PRÉ - FILTRAÇÃO
MECÂNICA EM MICROPENEIRAS.**

Dissertação apresentada ao curso de pós-graduação em Engenharia Ambiental do Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina, como requisito parcial à obtenção do título de mestre em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Maurício Luiz Sens

FLORIANÓPOLIS - SC

2003

**“REMOÇÃO DE ALGAS DA ÁGUA DA LAGOA DO PERI ATRAVÉS DE
FILTRAÇÃO DIRETA DESCENDENTE COM PRÉ - FILTRAÇÃO
MECÂNICA EM MICROPENEIRAS”.**

ANTONIO ADÍLIO DA SILVEIRA

Dissertação submetida ao corpo docente do programa de pós-graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina, como requisito parcial à obtenção do grau de:

MESTRE EM ENGENHARIA AMBIENTAL.

na área de Tecnologias de Saneamento Ambiental.

Aprovado por:

Prof. Maurício Luiz Sens, Dr.
Orientador / ENS/UFSC

Prof. Flávio R. Lapolli, Dr.
ENS/UFSC

Prof. Paulo Belli Filho, Dr.
ENS/UFSC

Prof. Antônio Edésio Jungles, Dr.
ECV/UFSC

Prof. Armando Borges de Castilho Júnior, Dr.
Coordenador do PPGEA

FLORIANÓPOLIS – SC

2003

**A minha esposa Célia Maria pela
compreensão, e atenção dedicada em
todos os momentos. Aos meus filhos,
Adilio, Alice e Ane Caroline.**

AGRADECIMENTOS

Quero compartilhar meus agradecimentos com àqueles que mais intensamente compartilharam comigo deste processo.

Ao longo do processo de pesquisa agregaram-se contribuições especiais de instituições e de pessoas na construção deste trabalho. Mesmo correndo risco de não incluir todas, desta forma agradeço:

Á Deus, por ter me dado a força necessária para concluir este trabalho.

Á Universidade Federal de Santa Catarina, que, através de seus professores nos vários cursos e seminários, possibilitou-me o acesso aos princípios fundamentais que regem a presente pesquisa.

À Companhia Catarinense de Águas e Esgotos (CASAN), por ter-me liberado para a capacitação.

Agradeço em especial aos diretores da CASAN, **Marcos F. dos Santos Tiburcio e Edeldo Naschenweng**, aos ex – gerentes da Regional da Casan de Criciúma, **Júlio César Cechinel e Mário Ari Vieira** e ao gerente **Matizalem da Silva** que acreditaram na realização deste trabalho.

À todos os funcionários da regional de Criciúma, em especial aos funcionários da **DITCQR, Silvio César Dal Pont, Rogério Trombim, Edson Cardoso**.

Ao professor **Mauricio Luiz Sens**, por ter-me orientado com muita paciência e sabedoria e despertado a atenção para a importância do tema.

Aos amigos de pesquisa multidisciplinar e interdisciplinar, **Telmo Vieira Garcia, José Carlos Rauen, Luiz Carlos Gomes, Leda Freitas Ribeiro, Marta Kracik, Alessandra P. Bento, Sandra Pereira Feuser e Patrice Juliana Barzan**, pelo carinho com que partilhamos as nossas alegrias.

Em especial agradeço a todos os funcionários da CASAN Lagoa do Peri que colaboraram no trabalho prático, ao **Engº Jair Sartorato da DIOES/RFL** por ter liberado os técnicos e o laboratório insular para as análises de fitoplâncton.

Às bibliotecárias **Maria Tereza e Rosângela** que sempre estiveram juntas na procura de bibliografias para o desenvolvimento teórico.

Aos funcionários da secretaria do curso de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, em especial ao **Maurício Paiva**, que nunca mediram esforços para me auxiliar.

À **AMIAD** em nome do **Dr. David e Oscar Daniel** por ter cedido os equipamentos para a pesquisa.

Aos meus familiares que souberam compreender os momentos difíceis e sempre acreditaram na minha vontade de concluir mais esta etapa.

Enfim, a todos que acreditaram, torceram ou de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho, meu sincero agradecimento.

**“Se tens que lidar com água consulte
primeiro a experiência e depois a
razão”.**

Leonardo da Vinci

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	xi
LISTA DE TABELAS	xiii
LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS	xiv
RESUMO	xvii
ABSTRACT	xviii
1. INTRODUÇÃO	19
2. OBJETIVOS	22
2.1. Objetivo Geral.....	22
2.2. Objetivos Específicos.....	22
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	23
3.1. Lagoa do Peri.....	23
3.2. O Sistema de Abastecimento de Água da Costa Leste/Sul da Ilha de Santa Catarina.....	25
3.2.1. Captação.....	26
3.2.2. Adultora de Água Bruta.....	27
3.2.3. Estação de Recalque de Água Bruta – ERAB.....	27
3.2.4. Estação de Tratamento de Água – ETA.....	27
3.2.5. Reservação e Distribuição.....	28
3.3. Filtração.....	28
3.3.1. Classificação.....	29
3.3.2. Filtração Direta.....	30
3.3.2.1. Filtração Direta Descendente.....	30
3.3.2.2. Filtração Direta Ascendente.....	33
3.3.3. Mecanismo da filtração.....	36

3.3.3.1. Velocidade na Filtração.....	37
3.3.3.2. Perda de Carga no Leito Filtrante.....	38
3.3.3.3. Perda de Carga num Leito Granular.....	38
3.4. Características das algas da Lagoa do Peri.....	38
3.5. Característica do Fitoplâncton e Suas Divisões.....	42
3.6. Fatores que Influem no Fitoplâncton.....	43
3.6.1. Fatores Ambientais.....	43
3.6.2. Suspensão e Distribuição Espacial.....	45
3.6.3. Variações Sazonais.....	45
3.7. Dados Climatológicos.....	46
3.8. Influência das Algas na Qualidade das Águas e nas ETAs.....	46
3.9. Algas Produtoras de Toxinas.....	50
3.9.1. Neurotoxinas.....	51
3.9.2. Hepatotoxinas.....	53
3.9.3. Citotoxinas.....	54
3.9.4. Dermatoxinas.....	54
3.9.5. Evidência de Contaminação em Seres Humanos.....	55
3.9.6. Remoção de Produtos Metabólicos das Algas.....	55
3.10. Características Orgânicas e Inorgânicas.....	56
3.10.1. Componentes Físicos, Químicos e Microbiológicos.....	56
3.10.2. Componentes Microbiológicos.....	61
3.11. Desinfecção.....	62
3.11.1. Subprodutos da Desinfecção.....	63
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	65
4.1. Sistemas com micropeneira para o pré-tratamento na remoção de algas seguido de filtração direta descendente.....	65
4.1.1. Sistema de tratamento 01.....	66
4.1.2. Sistema de tratamento 02.....	68
4.1.3. Fluxogramas dos sistemas 01 e 02.....	69
4.2. Metodologia operacional.....	71
4.3. Período experimental.....	72

4.4. Análises e medidas.....	73
4.4.1. Parâmetros físicos e organolépticos.....	73
4.4.2. Ensaio hidrobiológicos.....	74
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	77
5.1. Teste para determinar o tipo de malha a ser utilizada no estudo.....	77
5.2. Variação da vazão e carreira de filtração na micropeneira (Sistema 01).....	78
5.2.1. Variação dos parâmetros físicos e químicos da micropeneira de 50 µm.....	78
5.2.2. Espécies de algas presentes na água bruta e na água de retrolavagem.....	80
5.2.3. Quantidade de algas presentes no filtrado da micropeneira com malha de 50 µm após 15 e 30 minutos de filtração.....	81
5.2.4. Eficiência na remoção de algas no piloto de micropeneira de 50 µm.....	82
5.2.5. Filtração direta descendente do filtrado das micropeneiras de 50 µm.....	83
5.3. Micropeneiramento com peneiras de 25 e 50 µm aplicado em piloto de filtração descendente (Sistema 02).....	84
5.3.1. Perda de carga e carreira filtrante.....	84
5.3.2. Parâmetros físicos e químicos.....	85
5.3.3. Remoção de algas.....	86
6. CONCLUSÃO.....	90
6.1. Recomendações.....	91
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	92
8. ANEXOS.....	98

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 01 Estação de Tratamento de Água da Lagoa do Peri.....	21
FIGURA 02 Foto da Lagoa do Peri na Ilha de Florianópolis.....	25
FIGURA 03 Fluxograma do S.A.A. da Lagoa do Peri.....	26
FIGURA 04 <i>Cylindrospermopsis sp.</i>	42
FIGURAS 05 <i>Aulacoseira sp.</i>	42
FIGURA 06 <i>Botyococcus sp.</i>	42
FIGURA 07 <i>Staurastrum sp.</i>	42
FIGURA 08 Filtro SAF 3000 autolimpante.....	67
FIGURA 09 Foto da Unidade Piloto de Filtração Direta Descendente.....	68
FIGURA 10 Fluxograma do Sistema 01.....	69
FIGURA 11 Fluxograma do Sistema 02.....	69
FIGURA 12 Foto do Filtro Piloto Modelo SAF 3000 autolimpante.....	70
FIGURA 13 Foto do Filtro Piloto Modelo 2” T – S.....	71
FIGURA 14 Foto Interior do Filtro 2” T – S.....	71
FIGURA 15 Foto da Micropeneira de 50 µm do Piloto.....	72
FIGURA 16 Carreira de Filtração para Vazões de 60 e 600 L/h em Função das Malhas de 10, 25 e 50 µm.....	77
FIGURA 17 Carreira de Filtração (Micropeneiras Autolimpantes 50 µm) para uma pressão de 3 Kg/cm ²	78
FIGURA 18 Variação da Cor em Função do Tempo de Filtração com Micropeneira de 50 µm.....	79
FIGURA 19 Variação da Turbidez em Função do Tempo de Operação com Micropeneira de 50 µm.....	79
FIGURA 20 Variação de pH em Função do Tempo de Operação com Micropeneira de 50 µm.....	79

FIGURA 21 Quantidade de Algas por Espécie na Água Bruta (Sistema 01).....	80
FIGURA 22 Quantidade Algas por Espécie na Água de Retrolavagem do Piloto AMIAD com Peneira de 50 μm	80
FIGURA 23 Percentual Médio de Algas Presente no Filtrado por Espécie após 15 minutos de Filtração com Peneiras de 50 μm	81
FIGURA 24 Percentual de Algas Presente no Filtrado por Espécie após 30 minutos de Filtração em Peneira de 50 μm	82
FIGURA 25 Percentual de Eficiência de Remoção do Conteúdo de Algas no Filtrado após 15 e 30 minutos.....	83
FIGURA 26 Perda de Carga na Filtração Direta Descendente com e sem Pré-Tratamento (Micropeneira de 25 e 50 μm).....	84
FIGURA 27 Eficiência de Remoção de Cor Utilizando Filtração Direta Descendente com e sem Micropeneiras de 25 e 50 μm	85
FIGURA 28 Eficiência de Remoção de Turbidez na Filtração Descendente com e sem Pré-Tratamento.....	85
FIGURA 29 Percentual de Algas por Espécie na Água Bruta da Lagoa do Peri...	86
FIGURA 30 Percentual de Remoção de Algas por Espécie no Piloto de Filtração Direta Descendente sem Micropeneiramento.....	87
FIGURA 31 Percentual de Ocorrência de Algas no Filtrado posterior (Micropeneira de 25 μm + FDD).....	87
FIGURA 32 Percentual de Ocorrência de Algas no Filtrado (Micropeneira de 50 μm + FDD).....	88
FIGURA 33 Percentual de Remoção de Espécie de Alga em cada Ensaio (FDD; Micropeneira de 25 μm + FDD; Micropeneira de 50 μm + FDD).....	89

LISTA DE TABELAS

TABELA 01 Localização dos Reservatórios do S.A.A. da Lagoa do Peri.....	28
TABELA 02 Distribuição do Fitoplâncton da Lagoa do Peri.....	39
TABELA 03 Estado Trófico, Características Gerais das Águas e Algas Dominantes.....	47
TABELA 04 Algas que Comumente Obstruem Filtros, por Gravidade e Lentos.....	47
TABELA 05 Problemas Adicionais Causados por Algas na Água de abastecimento.....	48
TABELA 06 Odores, Gostos e Sensações Associadas com Algas Presente na Água.....	49
TABELA 07 Valores de C. T. de Diferentes Desinfetantes para Inativação de Microorganismos.....	63
TABELA 08 Dados Gerais do Filtro AMIAD.....	67
TABELA 09 Dados do Sistema de Lavagem do Filtro AMIAD.....	67
TABELA 10 Dados de Controle e Consumo Elétrico do Equipamento.....	68
TABELA 11 Camadas do Filtro Piloto.....	71
TABELA 12 Comparação dos Quantitativos de Algas na Água Bruta e Filtrada..	82
TABELA 13 Comparação das Carreiras de Filtração em Fluxo Descendente.....	84

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

ABES	-	Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental
μg	-	Micrograma
$\mu\text{g.Kg}^{-1}$ pc	-	Micrograma por Quilograma de peso corpóreo
μm	-	Micrometros
ABNT	-	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CAP	-	Carvão Ativado em Pó
CASAN	-	Companhia Catarinense de Águas e Saneamento
CETESB	-	Companhia de Tecnologia de saneamento ambiental
Cl_2	-	Cloro gasoso
CL_{50}	-	Dose Letal Média
ClO_2	-	Dióxido de Cloro
ClO_2^-	-	Clorito
ClO_3^-	-	Clorato
cm^2	-	centímetro quadrado
CONAMA	-	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DBO	-	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DL_{50}	-	Dose Letal
DNA	-	Ácido Desoxiribonucleico
DQO	-	Demanda Química de Oxigênio
EPA	-	Environmental Protection Agency
ERAB	-	Estação de Recalque de Água Bruta
ETA	-	Estação de Tratamento de Água
ETASC	-	Estação de Tratamento de Água de São Carlos
ETE	-	Estação de Tratamento de Esgoto
FATMA	-	Fundação de Amparo a Tecnologia e Meio Ambiente

FDA	-	Filtração Direta Ascendente
FDD	-	Filtração Direta Descendente
g/Kg	-	grama por Quilograma
AHAs	-	Ácidos Haloacéticos
HANs		Haloacetoneitrilas
H ⁺	-	Hidrogênio
Há	-	Haloacetonas
HAD	-	Haloaldeídos
HC	-	Haletos Cianogênicos
IPUF	-	Instituto de Planejamento Urbano de Florianópolis
ISO	-	International Organization for Standardization
Kg/cm ²	-	Quilograma por centímetro quadrado
Km ²	-	Quilometro quadrado
mg/Kg	-	Miligrama por Quilograma
mg/L	-	Miligrama por Litro
mg/L Cl ₂	-	Miligrama por Litro de cloro
mg/L O ₃	-	Miligrama por Litro de Ozônio
Mm	-	Milímetro
MnO ₂	-	Dióxido de Manganês
NA	-	Nível de Água
NEMAR	-	Núcleo de Estudos doMar
NH ₄	-	Amônia
NO ₂	-	Nítrito
NO ₃	-	Nitrato
O ₃	-	Ozônio
OMS	-	Organização Mundial da Saúde
PCL	-	Controlador Lógico Programável
pH	-	Potencial Hidrogênio
PSP	-	Paralite Selfich Poiso
SAA	-	Sistema de Abastecimento de Água
SAMAE	-	Serviço Municipal de Águas e Esgoto
SANEPAR	-	Companhia de Saneamento do Paraná

SESP	- Serviço Especial de Saúde Pública
SPD	- Subproduto da Desinfecção
STD	- Sólidos Totais Dissolvidos
THM	- Trihalometanos
UF	- Ultrafiltração
UFSC	- Universidade Federal de Santa Catarina
UV	- Ultra Violeta

RESUMO

Nesse trabalho estudou-se a importância da pré-filtração com micropeneiras seguida de filtração direta descendente para a retirada de algas da água bruta da Estação de Tratamento da Lagoa do Peri. Para realizar a pesquisa foi instalado um filtro piloto com micropeneiras de 25 e 50 μm no poço de captação de água bruta. O efluente micropeneirado foi recalcado por um conjunto moto bomba para o filtro piloto de filtração direta descendente de dupla camada, instalado junto a estação de tratamento de água. Desta forma testou-se o processo de pré-filtração com micropeneira para a água bruta, o qual ofereceu vantagens de ser utilizado como pré-tratamento para a remoção de algas. Observou-se um incremento médio de 35% na carreira média de filtração direta descendente. A filtração da água bruta sem micropeneira apresentou uma remoção de algas de 54%, a pré-filtração com micropeneira de 50 μm , seguida de filtração direta descendente, apresentou uma remoção de algas de 61% e a pré-filtração da água bruta com micropeneira de 25 μm seguida de filtração direta descendente apresentou uma remoção de 64% de algas.

PALAVRAS-CHAVE: Filtração Direta Descendente, Micropeneira, Remoção de Algas

ABSTRACT

In this paper research was done on the importance of pre-filtration with microsieves followed by descendent direct filtration for the removal of algae from raw water at the Lagoa do Peri Water Treatment Facility. For the research a pilot filter was installed, with 24 and 50 μm in the raw water collecting well. The microsieved effluent was raised by a set of motopump for the double-layer descendent direct pilot filter, which was installed with the water treatment facility. This way the pre-filtration process with a microsieve for raw water was tested, proving to offer advantages when being used as a pre-treatment for algae removal. A 35% average increment was observed in the descendent direct filtration average run. Raw water filtration without a microsieve presented 54% algae removal; prefiltration with a 50 μm sieve followed by descendent direct filtration presented 61% algae removal, and raw water pre-filtration with a 25 μm microsieve presented a 64% algae removal.

KEY-WORDS: Descendent Direct Filtering, Microsieve, Algae Removal

1. INTRODUÇÃO

A água, em quantidade e qualidade desejáveis, não se encontra disponível quando e onde é necessária. Além disso, a poluição e a insustentável abstração dos recursos hídricos têm enormes implicações ambientais, sócio-econômicas e de saúde pública. Embora, geograficamente, a crise da água doce pareça ser um problema local, tudo indica que a escassez de água trará problemas internacionais.

Para a população terrestre, lagos, reservatórios e rios são as fontes mais valiosas de água potável. A vida de muitas pessoas depende tanto de lagos naturais como de reservatórios artificiais, os quais fornecem água para beber e desenvolver a agricultura e a indústria. Além disso, os lagos e reservatórios garantem oportunidades únicas de recreação, tendo características especiais que os tornam vulneráveis à degradação.

A Entrada de contaminantes orgânicos provenientes de diversas fontes causa a alteração de sua qualidade hídrica. A eutrofização de lagos e reservatórios é um processo de degradação que tem início com a entrada de nutrientes naturais e trazidos pela drenagem superficial de áreas agrícolas, e por descargas industriais e urbanos não tratadas, sendo favorável ao aparecimento de diversos tipos de algas. A deterioração da qualidade hídrica devido a eutrofização e a presença de algas podem causar problemas de saúde pública que resultam perdas econômicas. A eutrofização de lagos e reservatórios promoveu, ao longo das últimas três décadas, diversos estudos com o objetivo de corrigir este problema. Por meio dessas iniciativas, a eutrofização de alguns corpos hídricos encontra-se atualmente sob controle. Entretanto, a eutrofização em escala global ainda é um dos problemas de qualidade hídrica mais agudos, que continua a aumentar em diversos locais do planeta.

São vários os problemas decorrentes da presença de algas na água bruta relacionadas à eficiência das instalações de filtração direta, principalmente quando, devido às condições climáticas e ambientais, ocorre um crescimento substancial do seu número. As alterações de qualidade da água são devido às florações de algas que podem

influir direta ou indiretamente no sistema de abastecimento, prejudicando o funcionamento das unidades da ETA, reservatórios, rede de distribuição e aumentando os custos com produtos químicos.

Dentre os principais problemas operacionais observados nos sistemas de abastecimento de água devido à presença de algas nos mananciais, onde se destacam: colmatação rápida do meio filtrante; dificuldade de coagulação e floculação com a formação de flocos leves, aumento de turbidez na água decantada, aumento no consumo de cloro para a desinfecção, redução da eficiência da desinfecção e possibilidade de formação de THM (trihalometano), ocorrência de sabor e odor (Di Bernardo, 1995). Desta forma a água pode apresentar uma variedade de impurezas, destacando-se as partículas coloidais, substâncias húmicas e microrganismos em geral. Tais impurezas apresentam carga superficial negativa, impedindo que as mesmas aproximem-se umas das outras, permanecendo no meio, se suas características não forem alteradas. Para que as mesmas possam ser removidas, a existência de situações não favoráveis ao emprego de processos convencionais vem estimulando a busca de outras tecnologias capazes de responder às dificuldades com maior eficiência.

Segundo Benhardt (1988), a ocorrência simultânea de grandes diatomáceas e pequenas algas verdes leva a problemas quase insolúveis quando o tratamento da água é realizado em uma estação com apenas coagulação e filtração. Como essa ocorrência é considerada “normal”, em lagos eutrofizados é necessário que o processo de tratamento de água consista de etapas que possam ser aplicadas de maneira complementar, de acordo com as condições da água bruta e espécies de algas presentes.

Então, há presença de grande quantidade de espécies de algas azuis, agora chamadas de cianobactérias, na água da Lagoa do Peri, cujo manancial é utilizado no abastecimento de água potável no Sul e Costa Leste da ilha de Florianópolis. A ETA Lagoa do Peri é um sistema de tratamento de filtração direta descendente localizada na Praia da Armação, conforme Fig. 01. Diversos problemas são ocasionados pela presença de microrganismos na água bruta interferindo na operacionalização nas unidades de tratamento, no sistema de abastecimento de água da Lagoa do Peri, um dos problemas que ocorrem freqüentemente é colmatação dos filtros diminuindo assim a carreira média dos filtros, devido a grande presença de espécies algais. A água bruta necessita de um pré-tratamento que remova o fitoplâncton, bem como a promoção da melhoria nas

características físicas e organolépticas visando o baixo custo de implantação e operação. Neste contexto, estamos propondo a aplicação de um pré-tratamento com micropeneiras.



Figura 01 – Estação de Tratamento de Água da Lagoa do Peri

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Avaliar a eficiência da filtração direta descendente com pré-tratamento através de micropeneiramento para remoção de algas da água bruta da Lagoa do Peri.

2.2. Objetivos Específicos

- Avaliar eficiência de remoção de algas no sistema de filtração com micropeneira através dos parâmetros físicos, químicos e hidrobiológicos.
- Quantificar e identificar as algas na entrada e saída do sistema piloto de filtração direta descendente com e sem a pré-filtração com micropeneira.
- Avaliar a influência de remoção de algas no tempo da carreira média de filtração no piloto de filtração descendente.
- Avaliar as melhorias oferecidas pelas micropeneiras no pré-tratamento da água da Lagoa do Peri com parâmetros físicos, químicos e hidrobiológicos.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Lagoa do Peri

A bacia hidrográfica da Lagoa do Peri está situada na parte sul da Ilha de Santa Catarina, aos 27° 43' 30" de latitude Sul e 48° 32' 18" de longitude Oeste e com uma área de drenagem aproximada de 20,3 Km². Possui dois mananciais que a alimentam: o rio Cachoeira Grande e o rio Ribeirão Grande. Como características fisiográficas o rio Cachoeira Grande é um rio de 3^a ordem e apresenta uma área de drenagem de 1,66 km², com uma densidade de drenagem de 2,15 km/km² e um comprimento total de rio de 3,5 km. Sua nascente situa-se na cota 280 m, sendo que os primeiros 750 m apresentam uma declividade de 0,24 m/m. No curso médio, com extensão de 350 m, sua declividade é de 0,25 m/m e, nos últimos 70 m, sua declividade passa a ser de 0,1 m/m (SILVA *et al.*, 1989).

CASTILHOS apud SILVA (1999), através da elaboração de um modelo evolutivo na planície costeira da Praia da Armação, descreveu a formação da Lagoa do Peri que está associada as oscilações do nível relativo do mar durante o quaternário. Segundo esta autora, durante o máximo transgressivo de 123.000 anos AP, a área de estudo teria a configuração de uma pequena baía, com um nível marinho de 8 ± 2 m acima do nível natural. A regressão subsequente levou a formação de uma extensa planície pleistocênica, quando a Lagoa do Peri foi isolada do mar pela deposição de uma ilha-barreira. No holoceno, o isolamento da lagoa se completou pela formação de um sistema ilha-barreira e posterior deposição de terraços lagunares. Estes depósitos apresentam cotas altimétricas de até 3,5 m.

Assim a Lagoa do Peri, por estar ligeiramente acima do nível oceânico, tendeu a se comportar como uma lagoa suspensa e, por isto, sofreu rápida dessalinização em decorrência do recebimento de fluxos fluviais e de precipitações pluviais (POLI apud SILVA, *op. cit.*). A bacia da Lagoa do Peri é constituída geologicamente por um

complexo cristalino pré-cambriano, representado por granitos intrusivos e depósitos desedimentos recentes (IPUF apud SILVA, 1999). Este complexo ocupa aproximadamente 75% da área e atinge altitudes de até 440 m (IPUF apud SILVA, 1999). Ao norte, oeste e sul, a lagoa do Peri é limitada pelas encostas deste complexo. A leste é limitada pela estreita faixa de restinga com 250 m de largura (SANTOS et al apud SILVA, 1999). Ao sul, no baixo curso do Rio Ribeirão Grande, ocorreu a formação de um delta pela deposição de sedimentos provenientes das encostas. Tal processo permanece ativo e se evidencia pela vegetação que se instala na zona de progradação (LAPOLLI et al apud SILVA, 1999). A decomposição das rochas do embasamento cristalino deu origem a solos ácidos e de baixa fertilidade (IPUF apud SILVA, 1999).

O Parque da Lagoa do Peri foi criado com a função de preservar o maior manancial de água doce da ilha de Santa Catarina. A ocupação da bacia da Lagoa do Peri foi caracterizada através de um estudo sócio-econômico, realizado para subsidiar a elaboração do plano diretor do Parque. Segundo (IPUF apud SILVA, 1999), o estudo concluiu que as populações da maior parte da área do parque não tinham sofrido ainda o processo de modernização cultural e que a penetração da especulação imobiliária, decorrente do potencial turístico da porção leste da lagoa, vinha se constituindo no principal fator de mudança. A população da área é descendente do colonizador açoriano e na região montanhosa (Sertão do Peri), onde estão os mananciais que alimentam a lagoa, desenvolvia-se basicamente atividade agrícola de subsistência associada a fabricação de farinha de mandioca e cachaça, de forma artesanal, sem uso de adubos, corretivos de solo ou defensivos agrícolas (IPUF apud SILVA, 1999). Nesta época, já se notava uma tendência na redução da população local e um conseqüente aumento na regeneração da vegetação secundária nas áreas abandonadas (IPUF apud SILVA, 1999), tendência esta confirmada por SANTOS et al apud SILVA (1999), ainda que a extração de madeira para combustível continuasse a ser praticada.

A Lagoa do Peri, representada pela figura 02, apresenta uma área média de 5,072 km² e um volume aproximado de 21,2 milhões de m³, com uma precisão de +/- 100.000 m³. Sua profundidade média é de 4,18 m para uma cota de água (NA) de 2,144m, com profundidade máxima de 11,0 m. A lagoa revela-se simétrica em suas margens laterais, caracterizando-se por taludes relativamente íngremes. Nos seus

extremos NE e SW possui áreas mais suaves e o centro é relativamente plano. Localiza-se ao sudeste da Ilha de Santa Catarina, na área do Parque da Lagoa do Peri (regulamentado pela Lei Municipal 1828, decretada pela Lei nº 091/82), situado a 27°43'30'' de latitude sul e 48°32'30'' de longitude oeste, sendo que os limites do Parque coincidem com os da Bacia Hidrográfica, com uma área de 20,1Km² (LAPOLLI *et al.*, 1990), o espelho d'água da Lagoa compreendendo uma área de 5,07 Km².



Figura 02 – Foto da Lagoa do Peri na Ilha de Florianópolis

3.2. O Sistema de abastecimento de água da Costa Leste/Sul da Ilha de Santa Catarina.

O S.A.A. da Costa Leste/Sul da Ilha de Santa Catarina é composto de captação, coagulação, filtração direta descendente, desinfecção, alcalinização e distribuição. Além do tratamento da água propriamente dito, a estação conta com sistema de tratamento de efluentes, onde se faz o tratamento da água de lavagem dos filtros e o reaproveitamento

da mesma no sistema. Atualmente, o sistema abastece as seguintes localidades: Campeche (Tapera, Alto Ribeirão, Morro das Pedras, Areias e Rio Tavares); Retiro da Lagoa (Joaquina e Praia Mole); Ribeirão da Ilha (Caeira); Armação e Pântano do Sul (Praia dos Açores, Praia da Solidão e Costa de Dentro), atendendo uma população de 150.000 habitantes no verão e 20.000 habitantes nas demais estações do ano. A fig. 03 mostra o fluxograma da estação de tratamento.

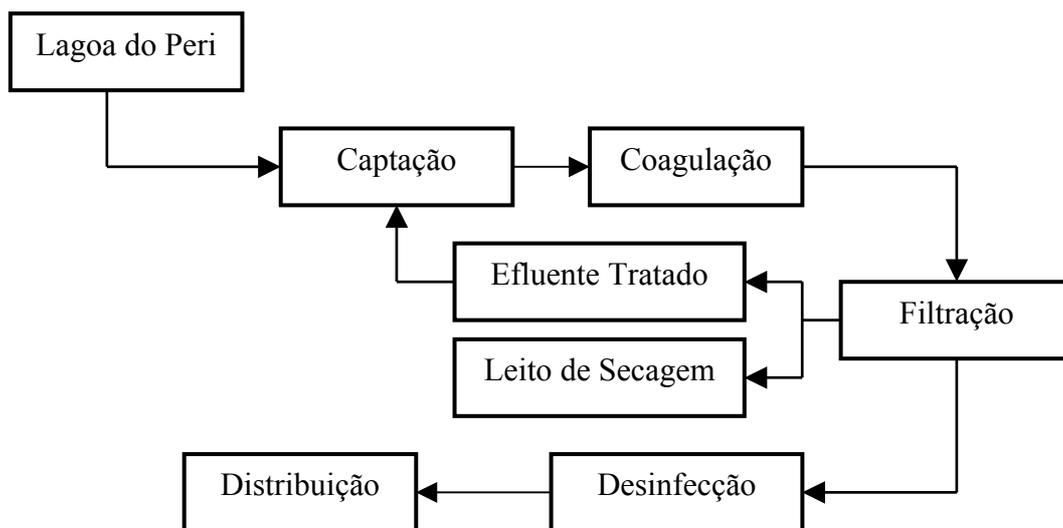


Figura 03. Fluxograma do SAA da Lagoa do Peri

3.2.1. Captação

A elevação do nível d'água da Lagoa do Peri foi feita através da construção de uma barragem com vertedor em forma de rampa. A estrutura está localizada na saída do canal do Rio Sangradouro, 50 metros distante do atual enrocamento com pedras.

O Barramento apresenta as seguintes características:

- Cota de nível d'água (NA) atual: 2,66 metros
- Cota do nível d'água (NA) excepcional: 3,36 metros
- Cota da Crista do dique de coroamento : 3,50 metros
- Cota das ombreiras do vertedor: 3,70 metros
- Cota mínima do nível d'água: 1,87 metro
- Largura do Vertedor : 4,00 metros
- Altura máxima de lâmina d'água no vertedor: 0,70 metro

- Comprimento do vertedor em rampa: 15 metros

A captação é feita em tubo de 800 mm de diâmetro, interligado a uma caixa de partida da adutora de água bruta. Está dimensionada para a vazão de 400 L/s e em sua embocadura tem uma proteção em tela milimétrica.

3.2.2. Adutora de água bruta

A adutora foi construída em dois trechos distintos:

- 1º Trecho – Com tubulação de 800 mm de diâmetro, interligando a caixa de partida ao poço de sucção da elevatória de água bruta, com um comprimento total de 225,00 metros. A velocidade neste trecho da tubulação é de 0,80 m/s e a perda de carga de 0,20 metro.
- 2º Trecho – Com tubulação de diâmetro de 600 mm de diâmetro, interligando o poço de sucção da ERAB ao poço de chegada na ETA. A velocidade neste trecho da tubulação é de 1,45 m/s e a perda de carga de 0,35 metro.

3.2.3. Estação de recalque de água bruta – ERAB

A capacidade de vazão atual é de 200 L/s e a altura manométrica é de 10,62 m.c.a.

A ERAB é composta por dois conjuntos de moto-bombas de eixo vertical com características unitárias que atendem a vazão de projeto da ETA, com reserva técnica instalada de 50 %. A elevatória recalca água do poço de sucção da ERAB ao poço de chegada na ETA.

3.2.4. Estação de tratamento de água - ETA

A estação é constituída das seguintes unidades de processo:

- a) Mistura Rápida (Calha Parshall) com elevado gradiente em dispersão instantânea de coagulante;
- b) Filtração Rápida Descendente através de 05 filtros de dupla camada de areia e antracito, em unidades dotadas de sistema de lavagem em contra corrente com

efluente de outras unidades, com sistema auxiliar de injeção de ar, para lavagem dos filtros. A vazão nominal da ETA é de 200 L/s e a taxa de operação de cada filtro é de 200 m³/m²/dia;

- c) Reservatório de Contato: Após a filtração a água foi para um tanque onde realizar-se-á a desinfecção com cloro gasoso. Feita a aplicação de flúor e correção final do pH com leite de cal. Os tanques de preparo destas soluções estão localizados na sala próxima aos filtros;
- d) A Casa de Química é composta por um prédio de três pavimentos, onde estão localizados: o laboratório de análises de água, o laboratório de pesquisa da UFSC, a sala de dosagem de cloro gás, o depósito de produtos químicos e a sala de operação dos filtros. Possui ainda um reservatório com capacidade de 20 m³ para uso geral da ETA.

3.2.5. Reservação e distribuição

O sistema possui aproximadamente 37.000 metros de rede e seis reservatórios de água tratada com capacidade total de 12.600 m³, sendo assim distribuídos:

TABELA 01: Localização dos reservatórios do SAA Lagoa do Peri

LOCALIDADE	CAPACIDADE EM M ³
Morro das Pedras	5.000
Campeche	2.000
Ribeirão da Ilha	2.000
ASCAN	600
Canto da Lagoa	2.000
Barra da Lagoa	1.000

FONTE: CASAN (1997)

3.3. Filtração

A filtração é um processo imprescindível para a produção contínua e segura de água potável, e pode ser rápida ou lenta, dependendo da taxa de filtração. Usualmente, os filtros rápidos funcionam com taxas de filtração entre 150 e 600m³/m².dia, enquanto os filtros lentos operam com taxas geralmente inferior a 6m³/m².dia, embora na

literatura existam indicações de taxas superiores. Para o uso eficiente da filtração rápida, é necessário um pré-tratamento da água bruta com coagulação química, podendo ou não existir a floculação e a decantação ou flotação, dependendo da qualidade da água a ser tratada.

A filtração é a separação de partículas em suspensão de um fluido pela passagem através de um meio poroso fixo. Segundo DI BERNARDO (1993), a descrição quantitativa da filtração envolve formulações matemáticas dos mecanismos responsáveis pela retenção das partículas no meio filtrante. Esses modelos geralmente necessitam de uma combinação com os resultados de pesquisas para formulação do projeto e a operação dos filtros em estações de tratamento de água.

AZEVEDO NETTO (1976) descreve o processo de filtração como sendo uma conseqüência de uma série de fenômenos simultâneos, classificando-os em ações físicas: sedimentação, adsorção e absorção; ações químicas: oxidação e ionização; ações biológicas: desenvolvimento de certas variedades de bactérias aeróbias na camada superficial do leito; e ações bioquímicas, como a tensão superficial dos leitos. Com a combinação dessas ações as partículas ficam retidas em espaços intergranulares.

3.3.1. Classificação

Existem diversos tipos de filtros para atuarem de diferentes formas no tratamento de água e IZOLANI (IZOLANI apud LIBÂNIO 2000) as classificou de forma mais abrangente. Do ponto de vista da análise hidráulica do comportamento básico dos filtros, a filtração pode ser efetuada segundo uma das seguintes concepções básicas (ou, em alguns casos, associando-se algumas delas):

a) Filtração de Fluxo Descendente

- de baixa taxa de filtração (filtros lentos);
- de alta taxa de filtração (filtros rápidos);
- de camada simples;
- de camadas múltiplas: duplos (areia e antracito).

b) Filtração de Fluxo Ascendente

- de baixa taxa de filtração (filtros lentos ascendentes);

- de alta taxa de filtração:
- (filtros rápidos ascendentes: clarificadores de contato);
- (filtros rápidos ascendentes contínuos sem retrolavagem).

Segundo LIBÂNIO (1991), a determinação do comportamento do filtro durante a filtração exigiu uma pesquisa experimental feita com meios filtrantes constituídos de vários materiais diferentes e um estudo teórico adequado, capaz de permitir a formulação do modelo matemático que exprimisse o inter-relacionamento das variáveis que interferem no processo. Estabelecida a teoria moderna para filtração, foi possível a criação de filtros modernos, mais eficientes e econômicos, que são empregados na solução de problemas da expansão da capacidade de produção das estações de tratamento de água.

DI BERNARDO (1993) classifica os filtros quanto ao modo de funcionamento em:

- a) filtros rápidos por gravidade (fluxo ascendente ou descendente);
- b) filtros lentos (funcionamento por gravidade e fluxo ascendente e descendente);
- c) filtros rápidos sob pressão (fluxo ascendente e descendente);
- c) dupla filtração por gravidade ou sob pressão (filtros rápidos, normalmente com fluxo ascendente seguido pelo fluxo descendente).

3.3.2. Filtração Direta

A filtração direta é classificada em filtração direta **descendente** e filtração direta **ascendente**.

3.3.2.1. Filtração direta descendente

Segundo DI BERNARDO (1995) a partir da década de setenta, a filtração direta descendente passou a merecer atenção especial de pesquisadores e projetistas, tendo-se notícias, atualmente, de sistemas de grande e de médio porte em funcionamento.

Dependendo da qualidade da água bruta, coagulação pode ser realizada com um sal de alumínio ou de ferro e utilizando-se polímeros como auxiliares de coagulação e

floculação. Às vezes, um polímero catiônico pode ser o coagulante primário, e um sal de alumínio ou de ferro, o auxiliar de coagulação, o que está estritamente relacionado à qualidade da água bruta e, em especial, ao pH e à alcalinidade. A filtração direta descendente é a tecnologia de tratamento na qual se podem ter as seguintes etapas: mistura rápida; floculação; filtração. Em virtude da qualidade da água bruta e, principalmente, das características do meio filtrante, a floculação pode não ser utilizada. Assim, em consequência da existência ou não dessa etapa, a tecnologia é classificada em: Filtração Direta Descendente com Pré-Floculação e Filtração Direta Descendente sem Pré-Floculação. Atualmente, as estações de tratamento completo têm sido projetadas com certa flexibilidade operacional, de modo a possibilitar que em épocas de estiagem se possa tratar a água bruta através da filtração direta, eliminando-se parcial ou totalmente a unidade de floculação e desviando-se a água dos decantadores, que é conduzida diretamente aos filtros.

Em comparação ao tratamento completo, a filtração direta descendente apresenta as seguintes vantagens:

- investimento inicial com obras civis e equipamentos diminuindo em cerca de 30 – 50%;
- custo menor de operação e manutenção, uma vez que são eliminados equipamentos de remoção de lodo dos decantadores e, também, algumas vezes, os equipamentos de floculação;
- redução substancial do consumo de coagulante;
- menor volume de lodo produzido na estação;
- diminuição do consumo de energia elétrica;
- facilidade no tratamento de água bruta com baixa turbidez;

Dentre as desvantagens, destacam-se:

- dificuldades no tratamento de água bruta com turbidez ou com cor verdadeira alta;
- necessidade de monitoramento contínuo ou controle rigoroso dos principais parâmetros de qualidade, tanto da água bruta como da filtrada;

- tempo relativamente curto para que o operador perceba qualquer mudança de qualidade da água bruta;
- tempo de detenção total da água no sistema relativamente pequeno para oxidação de substâncias orgânicas presentes no afluente;
- possibilidade de paralisação temporária da estação devido a erros de dosagem do coagulante;
- período inicial de melhora da qualidade do afluente mais longo;

As pequenas dosagens de produtos químicos utilizados no processo de filtração direta descendente estão relacionadas com o mecanismo de coagulação envolvido. Enquanto para a obtenção da floculação e sedimentação apropriadas de águas que apresentem turbidez e cor relativamente baixas, o mecanismo principal de desestabilização é o da varredura, para filtração direta descendente, é necessária somente a desestabilização das partículas coloidais, por adsorção, com redução substancial de produtos químicos. (ARMIRTHARAJAH, & MILIS, 1982)

Quando a água bruta apresenta turbidez e/ou cor relativamente elevadas, a duração das carreiras de filtração resultam menores, o que pode inviabilizar a aplicação da filtração direta descendente. WAGNER e HUDSON (1982) questionam a aplicação da filtração direta descendente quando a dosagem de coagulante supera 15 mg/L, sugerindo dosagens, em geral, inferiores a 7 mg/L e utilização de pequenas dosagens de polímeros. MENDES (1984) investigou a filtração direta operando em paralelo e, concomitantemente, dois filtros-piloto idênticos, recebendo um deles a água coagulada na ETASC (Estação de Tratamento de Água de São Carlos, SP-Brasil) e o outro, água bruta com reduções de 25,5% e 75% das dosagens de coagulante em relação às utilizadas na ETASC e concluiu que, com dosagens variando entre 25% a 50% daquelas empregadas para promover a coagulação, é possível utilizar a filtração direta ascendente, produzindo um efluente de melhor qualidade e carreiras de filtração mais longas, para taxas de filtração compreendidas entre 120 e 240 m³/m²/dia.

No Brasil, há algumas instalações de filtração direta descendente, destinadas ao tratamento de água para consumo humano, que operam satisfatoriamente produzindo água tratada que atende o padrão de potabilidade conforme portaria 1.469 do ministério da saúde, porém em épocas de chuvas ocorre uma diminuição da duração da carreira de filtração, chegando a 50% de redução.

3.3.2.2. Filtração Direta Ascendente

Modernamente, tem sido introduzida a filtração direta ascendente contínua. Essa nova tecnologia de tratamento de água consiste num sistema compacto, cujo leito é constituído de areia com uma única granulometria, sendo que, dependendo das características da água bruta, há a necessidade de realizar a adição de um coagulante, o qual é introduzido na entrada da tubulação de água bruta. A água é clarificada enquanto flui para a parte superior do leito de filtragem. Em sua operação, o leito filtrante move-se para baixo contra o fluxo de água, sendo que a areia com as impurezas é separada, lavada e repostada na parte superior do leito. A limpeza da areia com as impurezas é feita com a mistura ar-água, sendo o ar injetado na parte inferior do módulo, ascendendo em um duto específico (air-life). O sistema é contínuo e existe uma perda em torno de 5% de descarte da água com as impurezas. Atualmente, o referido sistema encontra-se em operação em países da Europa, Estados Unidos e Ásia. No Brasil, existem vários sistemas como este operando, principalmente no sul e sudeste do país.

Segundo AZEVEDO NETTO (1977) e RICHTER (1991), a filtração direta ascendente pode ser aplicada a águas brutas pouco poluídas e contaminadas, com turbidez baixa (inferior a 50 NTU), teor de sólidos suspensos menor que 150 mg/L e sem variações rápidas de qualidade.

As principais características dos filtros são:

a) Camada de Areia

- espessura da camada: 2,0 – 2,5 m
- tamanho dos grãos: 0,7 – 2,0 mm
- tamanho efetivo: 0,7 – 0,8 mm
- coeficiente de desuniformidade: menor que 2

b) Camada Suporte

- Espessura total: 0,4 – 0,6 m
- Número de subcamadas: 5
- Tamanho dos seixos: 4 – 31 mm

c) Altura da Água sobre o Topo da Camada de Areia entre: 1,8 – 2,3 m

d) Taxa de Filtração

- constante, entre 120 e 150 m³/m².dia

e) Perda de Carga Final na Camada de Areia:

- máxima de 2,0 m.

Como em todos os sistemas de filtração de água, a filtração direta descendente apresenta vantagens e desvantagens. Todavia, as vantagens parecem ser maiores, pois o processo permite:

- boa coagulação e floculação;
- evitar a necessidade de tratamento prévio;
- reduzir o consumo de coagulante;
- realizar a filtração no sentido favorável de redução do tamanho dos grãos;
- utilizar toda camada de areia para retenção de impurezas;
- apresentar carreiras de filtração mais longas que os filtros de areia de fluxo descendente;
- facilitar o processo de fluidização de areia.

Quanto às desvantagens podemos mencionar:

- inconveniência na mistura da água de lavagem com água filtrada;
- limitações relativas à qualidade da água bruta.

Segundo DI BERNARDO (1996), foram observados os seguintes avanços na tecnologia de filtração direta descendente nos últimos anos:

- redução da altura da água sobre o topo da areia;
- comprovação da necessidade de realização da coagulação no mecanismo de adsorção-neutralização de cargas;
- importância da camada-suporte na retenção de impurezas e adequação de sua composição;
- realização de descarga de fundo intermediárias, com introdução de água na interface pedregulho-areia, possibilitando o tratamento de

água bruta com maior turbidez e cor verdadeira ou aumento da taxa de filtração;

- especificação apropriada das características da camada de areia;
- influência da qualidade da água para lavagem na eficiência da filtração no início da carreira.

(ISOLANI apud DI BERNARDO 2002) evidencia que em estudos realizados variando a espessura da camada de areia entre 1,6 e 2,0 m e tendo por características granulométrica o tamanho efetivo de 0,65 – 0,80 e 1,0 mm, a areia mais fina apresentou um acúmulo de limpeza na interface pedregulho-areia, com carreiras de filtração encerradas pela perda de carga final igual a 2,4 m (areia + pedregulho) e taxas de filtração entre 120 e 240 m³/m².dia. Quando utilizado o filtro com areia grossa ocorreu o transpasse para taxas de filtração superiores a 180 m³/m².dia, enquanto a perda de carga total nos meios granulares atingiu 2,0 m. Assim, existe uma relação muito grande entre taxa de filtração, as características das camadas de areia, a camada-suporte e a carga hidráulica disponível. A situação ideal para uma certa taxa de filtração seria aquela cuja carga hidráulica disponível fosse consumida no momento em que iniciasse o transpasse.

Pelo fato de uma grande quantidade de impurezas ser retida na camada suporte durante a filtração, e ser de difícil remoção durante a lavagem, é promovida a drenagem do filtro através de descarga de fundo, antes do início da lavagem, originando daí, as descargas de fundo intermediárias. Essa operação consiste em desviar temporariamente a alimentação do filtro através de um *by-pass*. Em seguida, abre-se a descarga de fundo do filtro, ao mesmo tempo em que é injetada água filtrada entre a camada suporte e as camadas de areia por meio de uma tubulação. A vazão em que a água é injetada é equivalente à vazão proporcionada pela abertura da descarga de fundo, correspondendo a uma taxa superior a 600m³/m². dia, para garantir uma boa limpeza. A injeção de água na interface serve para impedir a formação de bolhas de ar no meio granular, decorrentes do escoamento da água com velocidades diferentes entre areia ou pedregulho.

3.3.3. Mecanismo da filtração

Segundo DI BERNARDO (1993), a filtração é considerada como sendo o resultado de dois mecanismos distintos, porém complementares: transporte e aderência. O transporte das partículas é um fenômeno físico e hidráulico e a aderência é um fenômeno de ação superficial, sendo influenciada por parâmetros físicos e químicos; a remoção de partículas durante a filtração resulta destes dois fenômenos. Após um certo tempo de funcionamento, com vazão constante do afluente ao filtro, as partículas retidas nos vazios intergranulares causam a diminuição das dimensões destes, com conseqüente aumento da velocidade intersticial e da força de cisalhamento, responsáveis pelo arrastamento de partículas para subcamadas inferiores do meio filtrante. O efeito total dos mecanismos de transporte e de aderência e do arrastamento de partículas previamente retidas tem sido quantificado por meio das teorias fenomenológicas e das trajetórias.

3.3.3.1. Velocidade na filtração

Segundo DI BERNARDO (1993), há duas velocidades de interesse na filtração;

- a) Velocidade de aproximação ou taxa de filtração, que é igual à vazão afluente ao filtro, dividida pela área de sua seção transversal ao fluxo. Geralmente, em filtros de fluxo ascendente ou descendente, esse valor é dado pela vazão afluente dividida pela área, em planta do filtro, ou seja:

$$V_a = Q/A \quad (3.1)$$

Em que:

Q: vazão afluente ao filtro

A: área superficial do leito filtrante

- b) A velocidade média intersticial, que é igual a velocidade de aproximação dividida pela porosidade média do leito filtrante, ou seja:

$$V_i = \frac{V_a}{P} \quad (3.2)$$

Em que:

P: porosidade média do meio filtrante, dada por:

$$P = \frac{V_v}{V_v + V_g} \quad (3.3)$$

Sendo:

V_v : volume de vazios

V_g : volume dos grãos do meio filtrante

A norma técnica NB-592 (Associação Brasileira de Normas Técnicas), estabelece o seguinte em relação às taxas de filtração:

- Filtros lentos:

A taxa de filtração a ser adotada deve ser determinada por experiências em filtros piloto, em período superior e necessário para a ocorrência de todas as variações da qualidade da água. Não sendo possível realizar essas experiências, a taxa de filtração não deve ser superior a $6\text{m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$.

- Filtros Rápidos

A taxa de filtração a ser adotada é determinada por meio de filtro piloto operado com água a ser filtrada, com camada filtrante igual à dos filtros a serem construídos. Não sendo possível proceder as experiências em filtro piloto, as taxas máximas são as seguintes:

a) para filtro de camada simples, $180\text{m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$;

b) para filtro de camada dupla, $360\text{m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$.

A taxa máxima em filtros de fluxo ascendente é fixada pela citada norma, em $120\text{m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$.

As experiências piloto de DI BERNARDO (1993), no entanto, vem mostrando que essa taxa pode chegar a $300\text{m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$.

3.3.3.2. Perda de carga no leito filtrante

A perda de carga no leito filtrante obedece às leis de escoamento em meios porosos. Esse escoamento, quando ocorre com as velocidades intersticiais correspondentes às velocidades de aproximação estabelecidas pela NB – 592, se fazem no regime laminar, aplicando-lhes a lei de Darcy.

$$v = K \cdot j \quad (3.4)$$

em que:

v: velocidade aparente da água no meio poroso = V_a ;

K: coeficiente de proporcionalidade (denominado coeficiente de permeabilidade, ou simplesmente de permeabilidade);

J: declividade da linha de carga (perda de carga unitária).

3.3.3.3. Perda de carga num leito granular

O valor do coeficiente K é mínimo e varia com o tempo quando o filtro está limpo (recém lavado). À medida que o tempo passa, o filtro vai retendo maiores quantidades de materiais em suspensão, e seu valor vai aumentando, atingindo o K máximo no instante em que é lavado.

O valor desse coeficiente é aplicável para águas limpas que percolam através do leito limpo e pode ser calculado pela equação:

$$\frac{h_f}{L} = \frac{K_K}{g} \cdot \frac{\mu}{\rho} \cdot v_a \cdot \frac{(1-P_0)^2}{Po^3} \cdot \left[\frac{A}{V} \right]^2 \quad (3.5)$$

a) Cyanophyceae: *Aphanothece comasii*, *Cylindrospermopsis raciborski*, *Mycrocystis wesenbergii*, *Planktolyngbya limnetica*, *Pseudanabaena galeata*.

b) Bacillariophyceae: *Aulacoseira ambigua* Fig. (05).

c) Dinophyceae: *Peridinium volzii*, *Peridinales sp.*

d) Chlorophyceae: *Coelastrum polychordum*, , *Monoraphidium irregulare*.

e) Zygnemaphyceae: *Cosmarium bioculatum* var. *depressum*, *Staurastrum muticum*, *Staurastrum sp* Fig.(07), *Staurastrum tetracerum*, *Staurodesmus cuspidatus*.

A dominância de *Cylindrospermopsis raciborski* (Fig. 04) foi absoluta, porque não se constatou a presença de espécies abundantes, atingindo densidades médias que corresponderam respectivamente a 84,4 e 80% da densidade total.



Figura 04 – *Cylindrospermopsis sp.*



Figura 05 - *Aulacoseira sp.*



Figura 06 – *Botryococcus sp.*



Figura 07 – *Staurastrum sp.*

Foto: Alessandra Pellizarro Bento

3.5. Características do fitoplâncton e suas divisões

Os organismos mais representativos do plâncton compreendem as algas, bactérias, protozoários, rotíferos, cladóceros, copépodos e algumas larvas. O plâncton geralmente constituiu a unidade básica da produção de matéria orgânica dos ecossistemas aquáticos. Em presença de nutrientes apropriados e em quantidade suficiente, os componentes vegetais do plâncton são capazes de acumular energia solar luminosa na forma de compostos químicos energéticos por meio da fotossíntese. O plâncton divide-se em três categorias: *bacterioplâncton*, *fitoplâncton* ou *plâncton vegetal* e *zooplâncton* ou *plâncton animal* e muitas formas flageladas fotossintetizantes são consideradas como *fitoplâncton* por alguns autores e como *zooplâncton* por outros. Os fisiologistas consideram as cianofíceas como bactérias (*cianobactérias*) e os taxonomistas as consideram como algas azuis. O plâncton é classificado quanto a sua dimensão (medidas lineares), em: *Macroplâncton* (organismos maiores que 500 μm), *Nanoplâncton* (organismos com tamanhos entre 10 e 50 μm) e *Ultraplâncton* (organismos com tamanho entre 0,5 e 10 μm). O plâncton proveniente de lagos é denominado *limnoplâncton*. Os plânctons são amostrados em ambientes aquáticos por intermédio de redes com malhas de diferentes aberturas, geralmente de 10 a 25 μm ou é realizada a coleta de amostras de água que são posteriormente submetidas à centrifugação. Os grupos mais importantes do zooplâncton que têm significado sanitário e que também podem influir nas tecnologias de tratamento, segundo DI BERNARDO (1995), são: *protozoários*, *rotíferos* e *crustáceos* (*cladóceros* e *copépodos*). Embora tais organismos apresentem papel importante na vida planctônica, algumas espécies de algas são realmente os organismos que mais afetam o tratamento da água destinada ao consumo humano. Cada lago apresenta variações sazonais na composição do fitoplâncton e as atividades antrópicas acarretam mudanças substanciais na sua comunidade planctônica.

3.6. Fatores que influem no Fitoplâncton

3.6.1. Fatores ambientais

Luz: a fotossíntese ocorre somente nas camadas superficiais líquidas que recebem luz. Em lagos profundos, observa-se a existência de duas regiões, quanto ao ambiente lumínico: a superior, onde há luz suficiente para que a quantidade de oxigênio produzido por meio da fotossíntese exceda a requerida para a respiração em 24 horas (zona trofогênica), e a inferior ou profunda, na qual o consumo de oxigênio excede a quantidade produzida por fotossíntese, pois a luz é escassa ou ausente (zona trofолítica). A intensidade luminosa que atinge a superfície de um lago diminui exponencialmente com a profundidade devido à absorção por compostos orgânicos dissolvidos.

Calor: devido ao elevado calor específico da água, as funções de temperatura observadas são menos acentuadas que no ar. A camada superficial de um lago estratificado é denominada epilímnio e a profunda, hipolímnio; a região intermediária é denominada metalímnio ou termoclina, e se reveste de grande importância para o fitoplâncton, pois quando os organismos que estão sedimentando a alcançam, são freados pelo fato de ser menor a massa específica da água e aí permanecem, o que explica a grande quantidade de algas nessa região. Quando a temperatura do ar diminui, a água da superfície é resfriada em grau suficiente para provocar mistura das zonas e eliminar a estratificação, e o plâncton se distribui de maneira relativamente uniforme desde a superfície até profundidades maiores.

Oxigênio Dissolvido: a fonte principal desse gás na água é a atmosfera, e sua solubilidade depende da temperatura. Em regiões tropicais nas quais não há grandes flutuações de temperatura, o resfriamento noturno é responsável pela maior dissolução de oxigênio na água. Com frequência, os lagos profundos de zonas tropicais apresentam condições anóxicas no hipolímnio. O fitoplâncton e as macrófitas constituem outra fonte importante de oxigênio na água. A respiração de organismos e a decomposição da matéria orgânica podem causar o consumo de uma fração considerável de oxigênio dissolvido.

Dióxido de Carbono: é outro gás importante para o metabolismo dos organismos presentes em um lago. Durante o período diurno, quando há luz suficiente, as algas assimilam o gás carbônico durante a fotossíntese, enquanto no período noturno esse gás é liberado para o meio. O gás carbônico reage com a água, formando ácido

carbônico, o qual se dissocia com o aumento da concentração de H^+ , e produção de carbonatos e bicarbonatos.

Nutrientes: os nutrientes inorgânicos de maior importância para o fitoplâncton são os compostos de nitrogênio e fósforo, sendo o fósforo considerado o reagente limitante na maioria dos sistemas. Os fosfatos e nitratos são consumidos com rapidez na parte superior dos lagos durante os períodos de florescimentos intensos do fitoplâncton, enquanto no fundo há maior concentração desses ânions devido a decomposição da matéria orgânica e sua liberação a partir dos sedimentos, especialmente em condições anóxicas. Algumas algas necessitam de certos nutrientes, tais como as diatomáceas, cujo desenvolvimento guarda estreita relação com a disponibilidade de silício na água, embora o nível de turbulência também tenha influência direta.

3.6.2. Suspensão e distribuição espacial

Na definição do plâncton é enfatizada a condição de vida em suspensão. Os organismos planctônicos tendem a sedimentar em águas não-turbulentas; os componentes do protoplasma, com exceção dos lipídios, têm massa específica maior que a da água.

O plâncton efetua migrações verticais em diferentes tipos de lagos – temperados, tropicais e polares. Algumas formas móveis do fitoplâncton, tais como *Peridinium*, *Mallomonas*, *Ceratium* e *Volvox* efetuam movimentos ascendentes e descendentes periódicos, devido à presença da radiação solar no período diurno, o que se dá com velocidades máximas de 0,1 a 1,0 mm/s, de modo que as migrações acontecem principalmente em zonas não-turbulentas.

3.6.3. Variações Sazonais

As variações acentuadas de temperatura e a duração do período diário de iluminação em regiões temperadas e polares são os fatores que mais influem na taxa de produção do fitoplâncton. Nas regiões tropicais, nas quais a luz e a temperatura são relativamente constantes durante o ano, as variações sazonais do fitoplâncton dependem dos efeitos das chuvas ou secas, e fundamentalmente da ação de ventos. A coincidência

entre uma ligeira diminuição da temperatura e aumento da intensidade e da duração de ventos pode causar a circulação da água em profundidades maiores.

Durante a primavera, há uma época de crescimento muito rápido de diatomáceas (*Asterionella*, *Cyclotella*, *Stephanodiscus*, *Tabellaria*, *Fragilaria*) até que os nutrientes na zona fótica, especialmente o silício, são reduzidos para valores inferiores a 0,5 mg/L, de forma que começam a aparecer as algas verdes e azuis. DI BERNARDO (1995)

3.7. Dados climatológicos

Segundo Silva (1999) as temperaturas do ar (mínimas, máximas e médias mensais) foram analisadas para o período de março/96 a fevereiro/97. As amplitudes de variação verificadas foram de 17°C para as temperaturas máximas, de 12°C para as temperaturas médias e de 11,6°C para as temperaturas mínimas. O mês de fevereiro/97 foi o mais quente, com o registro das maiores temperaturas máximas, médias e mínimas (35°C, 25,3°C e 21°C respectivamente). O mês de julho/96 apresentou as menores temperaturas máximas e mínimas (23°C e 4°C, respectivamente). A menor temperatura média foi registrada em agosto/96 (13,7°C).

Os valores para a precipitação, durante o período de estudo realizado por (Silva 1999) foram os seguintes: A maior precipitação ocorreu no mês de janeiro/97 (640,5 mm) e a menor em abril/96 (16,9 mm). Os meses de verão (janeiro, fevereiro e março) foram os mais chuvosos.

As velocidades médias mensais dos ventos tiveram pequena variação (1,75 m.s⁻¹), com o maior valor de 3,7 m.s⁻¹ em novembro/96 e o menor de 1,95 m.s⁻¹ maio/96. A maior velocidade dos ventos ocorreu em dezembro/96 (17,5 m.s⁻¹) e a menor em maio/96 (6,5 m.s⁻¹). Durante o período de estudo predominaram, igualmente, os ventos dos quadrantes norte e sul.

3.8. Influência das algas na qualidade das águas e nas ETAs

A grande quantidade de fitoplâncton dificulta o tratamento de águas, pois a mais simples implicação causada é a obstrução dos filtros até a liberação de toxina presentes

em algumas espécies. Então é preciso ter o conhecimento dos gêneros e de algumas espécies das algas dominantes que afetam a qualidade da água por produzirem odor, sabor e também por influírem significativamente na coagulação química, decantação e filtração. E também por serem tóxicas ao ser humano ou por produzirem subprodutos metabólicos, que em presença de cloro, formam compostos cancerígenos. As tabelas 02 e 03 e nos quadros 01 e 02 apresentam espécies, gêneros e problemas associados às algas:

Tabela 03 - Estado trófico, características gerais das águas e algas dominantes

Estado Trófico	Características Gerais da água	Gêneros Dominantes	Outras algas que podem estar presentes
<i>Oligotrófico</i>	Ligeiramente ácida; baixa salinidade.	<i>Desmídeas: Staurodesmus, Staurastrum.</i>	<i>Sphaerocystis; Gloeocystis; Rhizosolenia; Tabellaria.</i>
<i>Oligotrófico</i>	Neutra a ligeiramente alcalina; pobre em nutrientes.	<i>Diatomáceas: especialmente Cyclotella e Tabellaria</i> <i>Crisofíceas: especialmente Dinobryon e Mallomonas.</i> <i>Chlorococcales: Oocystis</i>	<i>Algumas espécies de Asterionella, Melosira e Dinobryon. Outras Crisofíceas, tais como Synura, Uroglena.</i>
<i>Oligotrófico</i>	Neutra a ligeiramente alcalina; geralmente pobre em nutrientes; comum em lagos pouco profundos do Ártico.	<i>Dinoflagelados: Peridinium e Ceratium</i>	<i>Pequenas Crisofíceas, Criptofíceas e Diatomáceas.</i>
<i>Mesotrófico</i>	Neutra a ligeiramente alcalina	<i>Dinoflagelados: Peridinium e Ceratium</i>	<i>Glenodinium</i>
<i>Eutrófico</i>	Alcalina; rica em nutrientes.	<i>Diatomáceas: especialmente Asterionella, Fragilaria, Synedra, Stephanodiscus e Melosira.</i>	<i>Muitas algas verdes e azuis durante os períodos quentes do ano</i>
<i>Eutrófico</i>	Usualmente alcalina; rica em nutrientes; comum em lagos temperados em períodos quentes ou em lagos tropicais enriquecidos.	<i>Algas azuis: especialmente Anacystis, Aphanizomenon, Anabaena.</i>	<i>Outras algas azuis; Euglenofitas.</i>

Fonte: DI BERNARDO, (1995).

Tabela 04 - Algas que comumente obstruem filtros por gravidade e lentos

GRUPO	ESPÉCIE
Algas Azuis (<i>Myxophyceae</i>)	<i>Anabaena flos-aquae, Anacystis dimidiata (Chroococcus turgidus), Rivularia dura, Gloeotrichia achinulata, Oscilatória amphibia, Oscilatória chalybea, Oscilatória ornata, Oscilatória princeps, Oscilatória pseudogeminata, Oscilatória rubescens, Oscilatória splendida.</i>
	<i>Chlorella pyrenoidosa, Cladophora aegagropila, Closterium</i>

Algas Verdes (não móveis Chlorophyceae, etc)	<i>moniliferum, palmella mucosa, Dichotomosiphon tuberosus, Dictyosphaerim pulchellum, Hydrodictyon reticulatum, Mougeotia sphaerocarpa, Spirogyra porticalis, Tribonema bombycinum, Ulothrix variabilis, Zygnema insigne.</i>
Diatomáceas (Bacilariophyceae)	<i>Asterionella formosa, Cyclotella meneghiniana, Cymbella ventricosa, Diatoma vulgare, Frangilaria crotonensis, Melosira granulata, Melosira varians, Navicula graciloides, Navicula lanceolata, Nitzschia palea, Stephanodiscus.</i>
Flagelados pigmentados (Chrysophyceae)	<i>Dinobryon sertularia, Peridinium wisconsinense, Trachelomas crebea.</i>

Fonte: DI BERNARDO (1995).

Tabela 05. Problemas adicionais causados por algas na água de abastecimento

Problemas e algas	Grupo	Problemas e algas	Grupo
Algas que produzem lodo	algal	Algas persistentes no sist. de distrib.	Algal
<i>Anacystis (Aphanocapsa, Gloecapsa)</i>	Azul	<i>Anacystis</i>	Azul
<i>Batrachoespermum</i>	Vermelha	<i>Asterionella</i>	Diatomácea
<i>Chaetophora</i>	Verde	<i>Chlorella</i>	Verde
<i>Cymbella</i>	Diatomácea	<i>Chlorococcum</i>	Verde
<i>Euglena sanguinea var furcata</i>	Flagelado	<i>Closterium</i>	Verde
<i>Gloeotrichia</i>	Azul	<i>Coelastrum</i>	Verde
<i>Gomphonema</i>	Diatomácea	<i>Cosmarium</i>	Verde
<i>Oscillatoria</i>	Azul	<i>Cyclotella</i>	Diatomácea
<i>Palmell</i>	Verde	<i>Dinobryon</i>	Flagelado
<i>Phormidium</i>	Azul	<i>Elakatothrix gelatinosa</i>	Verde
<i>Spirogyra</i>	Verde	<i>Epithemia</i>	Diatomácea
<i>Tetraspora</i>	Verde	<i>Euglena</i>	Flagelado
Algas que causam coloração na água		<i>Gomphosphaeria aponina</i>	Azul
<i>Anacystis</i>	Azul	<i>Scenedesmus</i>	Verde
<i>Ceratium</i>	Flagelado	<i>Synedra</i>	Diatomácea
<i>Chamydomonas</i>	Flagelado	Algas tóxicas de água doce	
<i>Chlorella</i>	Verde	<i>Anabaena</i>	Azul
<i>Cosmarium</i>	Verde	<i>Anabaena circinalis</i>	Azul
<i>Euglena orientalis</i>	Flagelado	<i>Anabaena flos-aquae</i>	Azul
<i>Euglena rubra</i>	Flagelado	<i>Anabaena lemmermanni</i>	Azul
<i>Euglena sanguinea</i>	Flagelado	<i>Anacystis (Microcystis)</i>	Azul
<i>Oscillatoria prolifica</i>	Azul	<i>Anacystis cyanea (Microcystis aerug.)</i>	Azul
<i>Oscilatória rubescens</i>	Azul	<i>Anacystis cyanea (microcystis flos-aquae)</i>	Azul
Algas que causa corrosão do concreto		<i>Aphanizomenon flos-aquae</i>	Azul
<i>Anacystis (Chroococcus)</i>	Azul	<i>Gloeotrichia echinulata</i>	Azul
<i>Chaetophora</i>	Verde	<i>Gloeotrichia pisum</i>	Azul
<i>Diatoma</i>	Diatomácea	<i>Gomphosphaeria lacustris</i>	Azul
<i>Euglena</i>	Flagelado	<i>(Coelosphaerium kuetzinglanum)</i>	Azul
<i>Phormidium</i>	Azul	<i>Lynbva contorta</i>	Azul
<i>Phytoconis (Protococcus)</i>	Verde	<i>Nodularia spumigena</i>	Azul

Algas que interferem na coagulação		<i>Rivularia fluitans</i>	Azul
<i>Anabaena</i>	Azul	Algas que diminuem a dureza da água	
<i>Asterionella</i>	Diatomácea	<i>Anabaema</i>	Azul
<i>Euglena</i>	Flagelado	<i>Aphanizomenon</i>	Azul
<i>Gomphosphaeria</i>	Azul	<i>Cosmarium</i>	Verde
<i>Synedra</i>	Diatomácea	<i>Scenedesmus</i>	Verde
Alga que causa corrosão do aço		Algas aquáticas parasitas	
<i>Oscillatoria</i>	Cianoficea	<i>Oodinium ocellatum</i>	Dinoflagelado
		<i>Oodinium limneticum</i>	Dinoflagelado

Fonte: DI BERNARDO, (1995).

Tabela 06 . **Odores, gostos e sensações associadas com algas presentes na água**

Gênero das algas	Grupo algal	Odor quanto à quantidade		Gosto	Sensação
		Moderada	Abundante		
<i>Actinastrum</i>	Verde		Capim, bolor.		
<i>Anabaena</i>	Azul	Campim, nastúcio, bolor.	Séptico		
<i>Anabaenopsis</i>	Azul		Capim		
<i>Anacystis</i>	Azul	Capim	Séptico	Doce	
<i>Aphanizomenon</i>	Azul	Capim, nastúcio, bolor.	Séptico	Doce	Seco
<i>Asterionella</i>	Diatomácea	Gerânio, picante.	Peixe		
<i>Ceratium</i>	Flagelado	Peixe	Séptico	Amargo	
<i>Chara</i>	Verde	Gambá, alho.	Deteriorado, alho.		
<i>Chlamydomonas</i>	Flagelado	Bolor, capim.	Peixe, séptico.	Doce	Viscoso
<i>Chlorella</i>	Verde		Bolor		
<i>Chrysophaerella</i>	Flagelado		Peixe		
<i>Cladophora</i>	Verde		Séptico		
<i>(Clathrocystis)</i>	Ver anacystis				
<i>Closterium</i>	Verde		Capim		
<i>(Coelusphaerium)</i>	Gomphosphaeria				
<i>Cosmarium</i>	Verde		Capim		
<i>Cryptomonas</i>	Flagelado	Violeta	Violeta	Doce	
<i>Cyclotella</i>	Diatomácea	Gerânio	Peixe		
<i>Cylindrospermum</i>	Azul	Capim	Séptico		
<i>Diatoma</i>	Diatomácea		Aromático		
<i>Dictyosphaerium</i>	Verde	Capim, nastúcio.	Peixe		
<i>Dinobryon</i>	Flagelado	Violeta	Peixe		Viscoso
<i>Eudorina</i>	Flagelado		Peixe		
<i>Euglena</i>	Flagelado		Peixe	Doce	
<i>Fragilaria</i>	Diatomácea	Gerânio	Bolor		
<i>Glenodinium</i>	Flagelado		Peixe		Viscoso
<i>(Gloeocapsa)</i>	Ver Anacystis				
<i>Gloeocystis</i>	Verde		Séptico		
<i>Gloeotrichia</i>	Azul		Capim		
<i>Gomphosphaeria</i>	Azul	Capim	Capim	Doce	
<i>Gonium</i>	Flagelado		Peixe		
<i>Hydrodictyon</i>	Verde		Séptico		
<i>Mallomonas</i>	Flagelado	Violeta	Peixe		
<i>Melosira</i>	Diatomácea	Gerânio	Bolor		Viscoso
<i>Meridion</i>	Diatomácea		Picante		
<i>(Microcystis)</i>	Ver Anacystis				
<i>Nitella</i>	Verde	Capim	Capim, séptico.	Amargo	
<i>Nostoc</i>	Azul	Bolor	Séptico		
<i>Oscillatoria</i>	Azul	Capim	Bolor, picante.		
<i>Pandorina</i>	Flagelado		Peixe		
<i>Pediastrum</i>	Verde		Capim		
<i>Peridinium</i>	Flagelado	Pepino	Peixe		
<i>Pleurosigma</i>	Diatomácea		Peixe		

<i>Rivularia</i>	Azul	Capim	Bolor		
<i>Scenedesmus</i>	Verde		Capim		
<i>Spirogyra</i>	Verde		Capim		
<i>Staurastrum</i>	Verde		Capim		
<i>Stephanodiscus</i>	Diatomácea	Gerânio	Peixe		Viscoso
<i>Synedra</i>	Diatomácea	Capim	Bolor		Viscoso
<i>Synura</i>	Flagelado	Pepino, picante.	Peixe	Amargo	Seco, met. e viscoso
<i>Tabellaria</i>	Diatomácea	Gerânio	Peixe		
<i>Tribonema</i>	Verde		Peixe		
<i>(Uroglena)</i>	Ver uroglenopsis				
<i>Uroglenopsis</i>	Flagelado	Pepino	Peixe		Viscoso
<i>Ulothrix</i>	Verde		Capim		
<i>Volvox</i>	Flagelado	Peixe	Peixe		

Fonte: DI BERNARDO, (1995).

3.9. Algas produtoras de toxinas

Segundo Garcia *apud* Di Bernardo (2002) a fotossíntese é a principal forma de obtenção de energia para o metabolismo. Sua organização celular demonstra que esses microrganismos são procariontes e, portanto, muito semelhantes na bioquímica e estrutura das bactérias.

A origem das *cianobactérias* foi estimada em cerca de 3,5 bilhões de anos pela descoberta de fósseis desses microrganismos em rochas sedimentares encontradas no noroeste da Austrália. As *cianobactérias* estão, portanto, entre os organismos pioneiros na terra, sendo provavelmente os primeiros produtores primários de matéria orgânica a liberarem oxigênio elementar na atmosfera primitiva. Várias espécies vivem em solos e rochas onde desempenham um importante papel nos processos funcionais do ecossistema e na ciclagem de nutrientes. Entretanto, ambientes de água doce são os mais importantes para o crescimento de *cianobactérias*, visto que a maioria das espécies apresenta um melhor crescimento em águas neutro-alcálicas (pH 6-9), temperatura entre 15 a 30°C e alta concentração de nutrientes, principalmente nitrogênio e fósforo. Vários gêneros e espécies de *cianobactérias* que formam florações produzem toxinas (CARMICHAEL, 1992).

As toxinas de Cianobactérias, que são conhecidas como Cianotoxinas, constituem uma grande fonte de produtos naturais tóxicos produzidos por esses microrganismos e, embora ainda não estejam devidamente esclarecidas as causas da produção dessas toxinas, supõe-se que esses compostos tenham função protetora contra herbívora, como acontece com alguns metabólicos de plantas vasculares. As toxinas produzidas pelas cianobactérias têm como função aumentar as defesas contra espécies

zooplancônicas, seus predadores primários, à semelhança do que fazem as plantas vasculares ao produzirem taninos, fenóis, esteróides e alcalóides para se protegerem da predação, porque de modo geral os microrganismos do zooplâncton, não ingerem as cianobactérias a menos que não exista outro alimento disponível. Contudo, elas têm a característica de produzir toxinas, que podem ser neurotóxicas, hepatotóxicas ou irritantes ao contato. Embora as condições para esta característica ainda se encontrem mal esclarecidas, sabe-se que ela está presente particularmente nos períodos em que ocorre o colapso das florescências (por causa do esgotamento dos nutrientes, da diminuição da temperatura ou da intensidade luminosa).

Algumas dessas toxinas são caracterizadas por sua ação rápida, causando a morte por parada respiratória após poucos minutos de exposição, e têm sido identificadas com alcalóides ou organosfosforados neurotóxicos. Outras atuam menos rapidamente e são identificadas como peptídeos ou alcalóides hepatotóxicos. Estes são os dois principais grupos de cianotoxinas até agora caracterizados: Neurotoxinas e hepatotoxinas.

A intoxicação humana por cianotoxinas ocorre pelo contato direto com a pele e mucosas, pela ingestão e pela inalação de água contendo células.

3.9.1. Neurotoxinas

São produzidas por espécies e cepas incluídas nos seguintes gêneros: *Anabaena*, (Carmichael et al., 1990), *Aphanizomenom*, (Mahamood & Carmichael, 1986), *Lyngbya*, *Oscillatoria* e *Cylindrospermopsis* e já são conhecidas cinco neurotoxinas produzidas a partir de espécies desses gêneros.

As principais neurotoxinas conhecidas englobam as anatoxinas-a, homoanatoxinas-a, anatoxinas-a(s), as PSP “Paralitic Selfish Poison” (saxitoxinas, neosaxitoxinas).

A anotoxina-a foi a primeira toxina de cianobactéria a ser quimicamente e funcionalmente definida e trata-se de uma amina secundária com peso molecular de 165g. São produzidas por espécies e cepas incluídas nos seguintes gêneros: *Anabaena*, *Aphanizomenom* e *Oscillatoria*.

Em condições fisiológicas a acetilcolina liga-se aos seus receptores provocando a abertura dos canais de sódio, o que leva ao movimento iônico que induz a contração muscular, entretanto a acetilcolinesterase degrada a acetilcolina prevendo uma super estimulação das células musculares.

A anatoxina-a, um alcalóide neurotóxico, por não ser degradada pela acetilcolinesterase, liga-se irreversivelmente aos receptores de acetilcolina, tornando-se assim um potente bloqueador neuromuscular pós sináptico de receptores nicotínicos e colinérgicos, provocando a superestimulação muscular seguida de fadiga e paralisia que pode ser fatal, caso os músculos respiratórios sejam afetados.

A Homoanotoxina-a é uma anatoxina homóloga isolada na espécie *Oscillatoria formosa*. A DL_{50} intraperitoneal em camundongos, para a toxina purificada, é de 200 a 250 mg/Kg de peso corpóreo, semelhante a anatoxina-a.

A Anatoxinas-a (S) é um organofosfato natural produzido pelas cianobactérias *Anabaena flos-aquae* e *Anabaena lemmermannii*.

Esta neurotoxina tem um mecanismo de ação semelhante a anatoxina-a, pois inibe a ação da acetilcolinesterase, impedindo a degradação da acetilcolina ligada aos receptores. Estruturalmente, ela é caracterizada como uma N-hidroxiguanidina fosfato de metila.

Apresenta os mesmos sinais de intoxicação da anatoxina-a acrescidos de uma intensa salivação.

As saxitoxinas e neosaxitoxinas são grupos de alcalóides neurotóxicos carbamatados, não-sulfatados (saxitoxina), isoladamente sulfatados (gonyautoxina) ou duplamente sulfatados (Toxinas-C). Das várias toxinas causadoras de PSP, apenas as saxitoxinas têm sido estudadas em detalhes quanto aos seus efeitos farmacológicos, porque geralmente a quantidade isolada das outras toxinas nunca é o suficiente para maiores estudos.

Neurotoxinas da classe das “PSP” que foram primeiramente isoladas de dinoflagelados marinhos, responsáveis pelas marés vermelhas, já foram também isoladas de cepas de cianobactérias, dos gêneros *Anabaena*, *Aphanozomenom*, *Lyngbya* e *Cylindrospermopsis* (Carmichael, 1994; Lagos et al.).

O grupo das saxitoxinas produz o veneno paralisante de molusco (PSP) em pessoas. Várias espécies de dinoflagelados também produzem toxinas do PSP, que se

acumulam nos moluscos que se alimentam filtrando estes metabólitos dos dinoflagelados.

As saxitoxinas produzidas pelos dinoflagelados marinhos nas “marés vermelhas” estão propensas a bioacumular nos vertebrados e invertebrados marinhos. Quando um ser humano ou algum animal consome estes, as conseqüências são desastrosas.

Os sinais e sintomas do PSP nos humanos podem variar desde um leve formigamento nos lábios ou nas pontas dos dedos até paralisia completa dos músculos, com morte por insuficiência respiratória. Mais de 1.000 casos de PSP foram registrados desde o começo do século nas Américas do Norte e Central, resultando em 109 mortes, porém, todas ligadas ao consumo de moluscos e relacionadas às saxitoxinas produzidas por dinoflagelados.

3.9.2. Hepatotoxinas

As intoxicações mais freqüentes provocadas por cianobactérias são devido às hepatotoxinas, que são peptídios constituídos por sete aminoácidos, no caso das microcistinas ou cinco aminoácidos, no caso das nodularinas.

Nos eventos resultantes em envenenamento humano e de animais, causados por cianobactérias em água doce, a microcistina é a cianotoxina mais comumente encontrada. Existem mais de 60 tipos estruturais de microcistina. O nome deriva de uma espécie do gênero *Microcysti*, de onde foi primeiramente isolada, porém, essa cianotoxina já foi caracterizada para diversos gêneros como: *Anabaena*, *Microcysti*, *Oscillatorira*, *Nostoc* e *Anabaenopsis*.

As microcistinas promovem uma desorganização do citoesqueleto dos hepatócitos, onde chegam por meio de receptores dos ácidos biliares, o que provoca uma retração dos mesmos com conseqüente aumento dos espaços intercelulares. Também as células dos capilares sinusoidais se retraem, passando o sangue a fluir dos capilares para os espaços intercelulares formados, o que provoca lesões tecidulares e muitas vezes, choque hipovolêmico.

Recentemente, provou-se que as microcistinas são potentes inibidores das fosfatases proteicas no fígado, enzimas que em conjunto com as cinases proteicas regulam o mecanismo de fosforilação e desfosforilação das proteínas, desempenhando

um papel importante na divisão celular. A inibição das fosfatases desregula o equilíbrio da fosforilação-desfosforilação, levando a um aumento da proliferação celular. Deste modo surge a possibilidade de que na exposição a doses não letais, as hepatotoxinas causariam câncer.

Para as microcistinas a principal via de acesso à células é o condutor dos ácidos biliares, que se encontra nas células hepáticas e também no epitélio intestinal, mas em menor grau. Uma dose letal de microcistina causa necrose hepática, que causa a morte em poucas horas ou dias. Estudos demonstraram que a toxicidade da microcistina é acumulativa e isso pode se dever à ligação covalente irreversível da microcistina com a fosfatase proteica e subsequente dano potencial da estrutura celular. Dependendo da gravidade e quantidade de tecido afetado, o fígado pode se recuperar pela renovação celular.

Existem dois aspectos de dano hepático crônico produzido por microscistinas. Um se dá por lesão progressiva do fígado e o outro, um potencial para gerar o crescimento de tumores, mas não há provas de que sejam cancerígenos. Estudos sobre o mecanismo de toxicidade celular mostram que a microcistina interfere com a estrutura e mitose celular, o que permite explicar a atividade geradora de tumores.

3.9.3. Citotoxinas

De acordo com Chorus e Bartran, existe ainda um outro grupo intermediário de cianotoxinas, que apresenta a estrutura química de alcalóide, como as neurotoxinas e sintomatologia de hepatotoxinas, sendo este grupo classificado como citotoxinas.

As Cilindrospermopsinas foram primeiramente isoladas de uma cultura de *Cylindrospermopsis raciborskii*, obtida de um reservatório de água para consumo no nordeste australiano. Outros gêneros produtores de cilindrospermopsinas descobertos são *Aphanizomenon* e *Umezakia* (Carmichael & Gorham, 1991).

Este alcalóide inibe a síntese da glutathiona e proteica em geral, ocasionando danos renais e hepáticos.

Os sintomas clínicos se manifestam vários dias depois da exposição e por isso fica difícil se relacionar causa e efeito. Extratos puros de toxina podem ainda causar danos nos pulmões, glândulas supra-renais e intestinais.

3.9.4. Dermatoxinas

São compostos por alcalóides dermatotóxicos, produzidos por espécies como *Lyngbya*, *Oscilatória* e *Schizothrix*, e causam dermatite de contato.

A atividade inflamatória da *Lyngbya* é causada por aplisiatoxinas e debroaplisiatoxina com formação de tumores e ativação da proteína cinase C. Já a espécie *Lyngbya majuscula* tem causado, além de dermatite, inflamação gastrointestinal por ingestão.

Debromoaplisiatoxina, com outros compostos, tem sido isolada de Oscillatoriaceae, como *Schizothrix calcicola* e *Oscillatoria nigroviridis*.

3.9.5. Evidência de contaminação em seres humanos

As intoxicações de populações humanas pelo consumo oral de água contaminada por cepas tóxicas de cianobactérias já foram descritas em países como Austrália, Inglaterra, China e África do Sul.

Em nosso país, o trabalho de Teixeira et al. (1993) descreve uma forte evidência de correlação entre a ocorrência de florações de cianobactérias, no reservatório de Itaparica (Bahia) e a morte de 88 pessoas, entre as 200 intoxicadas, pelo consumo d'água do reservatório, entre março e abril de 1988.

No início de 1996, 123 pacientes renais crônicos, após terem sido submetidos a sessões de hemodiálise em uma clínica da cidade de Caruaru (PE), passaram a apresentar um quadro clínico compatível com uma grave hepatotoxicose. Destes, 56 morreram.

As análises feitas no laboratório com ajuda do professor Carmichael confirmaram a presença de microcistina no carvão ativado utilizado no sistema de purificação de água da clínica, bem como em amostras de sangue e fígado dos pacientes intoxicados.

3.9.6. Remoção de produtos metabólicos das Algas

Algumas espécies de algas azuis produzem produtos metabólicos que conferem sabor e odor à água. Elas podem ser tóxicas ao ser humano e ser precursoras da formação de compostos organoclorados. Além da geosmina há outros compostos que conferem sabor e odor de terra e mofo à água, desta forma segundo DI BERNARDO (1995), os métodos mais utilizados de remoção, além de adsorção em carvão ativado em pó, é a oxidação. LALEZARY *et al.*, apud DI BERNARDO (1995), a partir de observações de outros trabalhos, realizaram estudos adicionais de oxidação empregando Cloro, Dióxido de Cloro, Permanganato de Potássio e Ozônio, nos quais foi verificado que:

- ◆ **Cloro** – Os odores causados por diferentes espécies de algas dos gêneros *Synura*, *Synedra*, *Dinobryon*, *Asterionella*, *Anabaena*, *Ceratium* e *Anacystis* foram controlados por meio de pré-cloração com residuais de 1 a 5 mg/L de cloro livre.
- ◆ **Dióxido de Cloro** – efetivo no controle de odores de terra, peixes e outros associados aos gêneros *Mallomonas*, *Anabaena*, *Asterionella*, *Symura* e *Vorticella*, assim como actinomicetos e fontes de geosmina; para os cinco compostos listados na tabela 3, a remoção foi satisfatória, com dosagem da ordem de 4 mg Cl₂/L.
- ◆ **Permanganato de potássio** – tem sido considerado efetivo para remoção de sabor e odor, e é também usado com algicida e bactericida, na faixa de pH de 3,5 a 11,0, na produção de precipitado MnO₂, que absorve grande parte dos compostos orgânicos presentes na água.
- ◆ **Ozônio** – o ozônio tem sido efetivo na redução de odor e sabor de terra e mofo em água bruta, assim como de geosmina, com dosagem de cerca de 4 mg O₃/L e tempo de contato de 10 min.

Dentre os quatro oxidantes, o dióxido de cloro revelou ser o mais eficiente, e o permanganato de potássio, o menos eficiente.

3.10. Características orgânicas e inorgânicas

3.10.1. Componentes físicos, químicos e microbiológicos

A portaria nº 1469 do Ministério da Saúde, de 29 de dezembro de 2000 estabelece os procedimentos e responsabilidades relativas ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, classificando os componentes em químicos, físicos e microbiológicos que apresentam riscos à saúde, tais como:

I- Físicos e Organolépticos.

II- Químicos

- a) Componentes Inorgânicos que apresentam risco à saúde;
- b) Componentes orgânicos que apresentam risco à saúde;
- c) Componentes agroquímicos que apresentam risco à saúde;
- d) Cianotoxinas;
- e) Desinfetantes e produtos secundários da desinfecção;

III- Microbiológicos

Para alguns dos componentes, descreve-se o seu significado sanitário, como:

Sabor/Odor: Odor e sabor são os meios primários pelos quais se determina o uso ou a aceitabilidade da água. Embora não possam ser diretamente correlacionados com a segurança da água, sua presença pode levar o consumidor a procurar outras fontes de abastecimento, muitas vezes menos segura, pois se espera que a água, saindo da canalização, seja agradável para beber. As fontes naturais de odor e sabor podem ser classificadas em duas categorias:

- a) Naturais: são todas aquelas substâncias produtoras de odor e sabor que se produzem ao chegar à água por causas naturais, tais como algas, vegetação em decomposição, bactérias, fungos e compostos inorgânicos (gás sulfídrico, sulfatos e cloretos);
- b) Artificiais: são aquelas provenientes de águas residuárias domésticas ou industriais, produtos da atividade do homem.

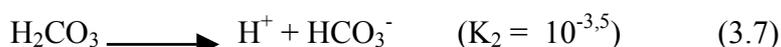
Neste último grupo podem-se citar os fenóis, cresóis, mercaptanas e certas minas. Em geral, são substâncias orgânicas, com exceção do gás sulfídrico e alguns poucos compostos. De todos os contaminantes industriais, é dos fenóis que se fala mais freqüentemente. Na realidade, os fenóis somente produzirão sabor e odor perceptível

por si só, a uma concentração de 1 mg/L. Todavia, ao ser efetuada a cloração numa água que possui fenóis, formar-se-ão o 2-4 clorofenol, 2-4diclorofenol e 2-6 diclorofenol que produzem sabor e odor. O 2-4-6 triclorofenol não tem importância nas concentrações abaixo de 1,0 mg/L. A velocidade com que estes compostos são produzidos depende de uma série de fatores, tais como: concentração das espécies reagente, pH, temperatura, presença do amoníaco e, em função do tempo de contato variam as espécies predominantes. Assim, conforme as condições existentes, o sabor e odor podem aparecer tanto na estação de tratamento como ao longo do sistema de distribuição.

Também conforme as condições, pode ocorrer na estação de tratamento, durante a cloração, o tricloreto de nitrogênio, que é capaz de produzir odor e uma concentração de 0,02 mg/L, bem como dicloraminas, em que há uma concentração superior a 0,8 mg/L e podem desenvolver sabores desagradáveis. As fontes biológicas de substâncias produtoras de sabor e odor são os actinomicetos e certas espécies de estreptomicetos (GARCIA *apud* BATALHA, 2002). Sabe-se que não existe um tratamento que corrija todos os problemas possíveis de sabor e odor.

pH: pode ser considerado como um fator de medida de intensidade de condições ácidas e básicas de uma solução. A sua medida é de grande interesse em plantas de estações de tratamento de água pra controle coagulação, desinfecção e corrosão. O pH em abastecimento de água é significativo, porque afeta o processo de tratamento de água (GARCIA *apud* RICHTER & AZEVEDO NETTO, 2002). Também pode contribuir para a corrosão das estruturas das instalações hidráulicas e dos sistema de distribuição, o que pode adicionar constituintes para água, tais como: ferro, cobre, chumbo, zinco, e cádmio.

Alcalinidade: A alcalinidade pode ser entendida como a capacidade da água em neutralizar ácidos, e a acidez como a de neutralizar bases. A alcalinidade e a acidez de soluções aquosas baseiam-se, geralmente, no sistema do ácido carbônico, que é um ácido diprótico fraco e que possui três pontos de equivalência, sendo que suas principais reações com $t = 25^{\circ}\text{C}$, são:



A alcalinidade é importante porque influi consideravelmente na coagulação química, sendo que os principais coagulantes primários são doadores de prótons em solução. Logo, se a alcalinidade da água for baixa, a coagulação eficiente poderá ocorrer com a adição de um alcalinizante para ajuste do pH mas, se a alcalinidade e o pH forem relativamente altos, o sulfato de alumínio não será indicado.

Acidez: A acidez depende do pH, pois é devida ao CO_2 , que estará presente somente para valores de pH inferiores a 8,3 e superiores a 4,4 pois, abaixo desse valor, a acidez decorre da existência de ácidos fortes, que não costumam estar presentes nas águas.

A água pode apresentar uma ou várias faixas de valores de pH, para as quais ocorre uma coagulação-floculação eficiente, ocasionando a remoção de cor e turbidez.

Dureza: a dureza é a soma de cátions polivalentes na água e expressa em termos de quantidade equivalente de CaCO_3 , evidenciando-se os cátions de cálcio, magnésio, estrôncio, íons de ferro e de manganês. A dureza pode ser classificada em função dos cátions (cálcio e magnésio), ou dos ânions (carbonatos e não carbonatos).

Cloretos e Sulfatos: Sais dissolvidos, como cloretos e outros em menor quantidade caracterizam os sólidos totais dissolvidos. Eles podem interferir na coagulação. A presença de cloretos também pode indicar alguma forma de poluição, sendo que no Brasil, nas regiões próximas ao litoral as águas apresentam por vezes excessiva quantidade de cloretos, sem que essa contaminação seja provocada pelo ser humano. Teores elevados de sulfatos causam efeitos laxativos mais acentuados que outros sais.

Condutividade: é a medida da habilidade da água em conduzir a corrente elétrica e é expressa em Siemens e ou em MHO/cm. Esta habilidade é dependente da presença de íons, da sua concentração e da valência na sua temperatura de mensuramento (GARCIA *apud* AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, 2002). Sua determinação permite obter uma estimativa rápida do conteúdo de sólidos presente.

Cor (aparente): na água, a cor pode ser de origem mineral ou vegetal, causada por substâncias metálicas como o ferro, manganês, matérias húmicas, taninos, algas, plantas aquáticas, protozoários, resíduos orgânicos ou inorgânicos de indústrias, tais como: de mineração, refinarias, de explosivos, de polpa de papel, químicas e outras (GARCIA *apud* BATALHA, 2002). A cor em sistemas públicos de abastecimento de

água é esteticamente indesejável para o consumidor, também devido às substâncias orgânicas serem precursoras da formação de THMs, sendo a desinfecção executada com cloro livre (GARCIA *apud* DI BERNARDO, 2002).

Turbidez: a turbidez da água é atribuída principalmente às partículas sólidas em suspensão, variando de suspensões grosseira aos colóides dependendo do grau de turbulência. A presença dessas partículas provoca dispersão ou absorção da luz, que diminui a claridade e reduz a transmissão da luz no meio (GARCIA *apud* RICHTER & AZEVEDO NETTO, 2002). Pode também ser ocasionada por plâncton, algas, detritos orgânicos e outras substâncias, tais como, zinco, ferro, composto de manganês e areia, resultantes do processo natural de erosão ou adição de despejos domésticos ou industriais. A turbidez pode reduzir a eficiência da cloração, pela proteção dos microorganismos do contato direto com os desinfetantes.

Estudos mais recentes têm associado a presença da turbidez em mananciais que recebem despejos de esgotos domésticos com a presença de organismos patogênicos. A turbidez, até então sob o enfoque estético, torna-se um requisito sanitário de qualidade.

STD (sólidos totais dissolvidos): o conjunto de sais normalmente dissolvidos na água, formado pelos bicarbonatos, cloretos, sulfatos e, em menor concentração outros sais, podem conferir à água sabor salino e uma propriedade laxativa. Quantidades excessivas de substâncias nas águas podem torná-las inadequadas ao consumo humano. Recomenda-se que o teor de sólidos totais dissolvidos seja menor que 500 mg/L, com um limite máximo aceitável de 1000 mg/L (GARCIA *apud* RICHTER & AZEVEDO NETTO, 2002).

Alumínio: o alumínio é o terceiro elemento químico mais abundante no solo. Aparece nas frutas e vegetais em concentrações superiores a 3,7 mg/Kg e em alguns cereais em quantidade maiores que 15 mg/Kg. O total de alumínio na dieta normal tem sido estimado de 10 a 100 mg/dia.

Ferro: a ocorrência de ferro em estado reduzido (Fe^{++}) é muito mais freqüente nas águas subterrâneas do que nas águas superficiais, visto que a presença do oxigênio nas águas superficiais resulta na sua oxidação para óxido de ferro hidratado, que é muito menos solúvel. O ferro nos sistemas públicos de abastecimento de água provoca sabor e favorece o crescimento da bactéria *Chrenotrix*, pois possui a propriedade de aderir aos acessórios das canalizações, acumulando depósitos no sistema de distribuição e a de

provocar manchas nas roupas lavadas. A necessidade de se fixar um padrão prende-se muito mais a razões estéticas do que de ordem sanitária (GARCIA *apud* DI BERNARDO, 2002).

Manganês: a ocorrência de manganês no estado reduzido (Mn^{++}) é mais freqüente nas águas subterrâneas do que nas águas superficiais. A causa disto é o fato de o oxigênio estar presente nas águas superficiais na forma de óxido de manganês hidratado, menos solúvel. Existem duas razões para limitar a concentração do manganês nas águas de consumo humano:

- Prevenir os prejuízos de ordem estética e econômica;
- Evitar efeitos fisiológicos adversos devido ao seu consumo excessivo.

Do ponto de vista sanitário, não há nenhuma informação que indique que níveis de manganês são perigosos, quando ingerido. O principal efeito tóxico que se tem registrado resulta da inalação de poeira ou vapores contendo manganês (GARCIA *apud* LARINI, 2002).

3.10.2. Componentes microbiológicos

A pesquisa de microorganismos patogênicos na água requer procedimentos complexos e um longo tempo para obtenção de resultados, o que inviabiliza sua aplicação em rotinas. Além disso, esses microorganismos normalmente ocorrem em número reduzido e sua chegada a água é intermitente. Uma série de doenças podem ser associadas à água, seja em decorrência de sua contaminação por excretas humanas ou de animais, seja pela presença de substâncias químicas nocivas a saúde humana. Segundo a CETESB (1992), as doenças são agrupadas em:

- a) Doenças de transmissão hídrica: são aquelas em que a água atua como veículo do agente infeccioso. Essas doenças podem ser causadas por bactérias, vírus, protozoários e Helminthos.
- b) Doenças de origem hídrica: são aquelas causadas por determinadas substâncias químicas, orgânicas ou inorgânicas presentes na água em concentrações inadequadas, em geral superiores ao especificado nos padrões para água de consumo humano. Essas substâncias podem estar naturalmente presentes no manancial ou podem ser provenientes de poluição. São exemplos o saturnismo,

metemoglobinemia em crianças, decorrentes de ingestão de concentração excessiva de nitrato e outras doenças de efeitos a curto e longo prazo.

A contagem padrão em placas é utilizada para estimar a população de bactérias heterotróficas aeróbias e anaeróbias facultativas presentes na água, que têm a capacidade de se desenvolver nas condições de nutrição, temperatura e tempo de incubação definidos para o teste. Os organismos predominantes presentes na água potável refletem a população microbiana encontrada nos filtros e que são introduzidas pela água bruta. Tais organismos incluem mais freqüentemente *Pseudomonas*, *Flavobacterium*, *Achromobacte*, *Proteus*, *Klebsiella*, *Bacillues*, *Spirillum*, *Corynebacterium*, *Arthobacter*, etc. Populações substanciais de tais organismos, ocorrendo em suprimentos de água potável, podem apresentar riscos à saúde, pois, embora a maioria deles não seja considerada patogênica, tais microorganismos podem atuar como invasores secundários, evidenciando, assim, a necessidade do controle da população microbiana geral em água potável (CETESB, 1986). Os microorganismos presentes na água, quando em grande número, além de representarem um risco a saúde, pode ocasionar outros problemas, tais como: deterioração da qualidade da água, com desenvolvimento de odores e sabores desagradáveis e, ainda, produção de limos ou películas.

Os coliformes são bactérias que habitam os intestinos dos animais superiores. A sua presença indica a possibilidade de contaminação da água por esgotos domésticos. Contudo, toda água que contenha coliformes é contaminada e, como tal, pode veicular doenças de transmissão hídrica. O número de coliformes é expresso pelo número mais provável (NMP); representa a quantidade mais provável de coliformes existente em 100ml de água da amostra (GARCIA *apud* RICHTER & AZEVEDO NETTO, 2002).

O exame de coliformes é empregado para o controle de sistemas de abastecimento de água, e assim determina a eficiência do tratamento. Atualmente, são conhecidas quatro categorias de *E. coli*, reconhecidas como agentes etiológicos da diarreia humana: *E. coli*, enteropatogênica clássica (ETEC) e *E. coli* enterohemorrágica (EHEC). Cada uma dessas categorias apresenta características distintas em relação à patogenicidade, síndrome clínica e epidemiológica, bem como está associada a grupos específicos de antígenos somáticos e flagelares. As *E. coli* enteroinvasoras causam uma

doença localizada principalmente no cólon, que se manifesta com febre e diarreia mucóide e, muitas vezes, sanguinolenta.

3.11. Desinfecção

Para que seja assegurada a qualidade microbiológica da água é necessária a sua desinfecção, de modo que ocorra inativação superior a 99,9% de cistos de *Giardia lamblia* e de 99,9% de vírus e que seja detectado o residual do desinfetante em pelo menos 95% das amostras coletadas no sistema de distribuição. Para que sejam alcançados aqueles graus de inativação de microrganismos é necessário que haja um tempo mínimo de contato entre o desinfetante e a água a ser desinfetada. Por exemplo, o valor de CT para cloraminas é da ordem de duas vezes o correspondente ao cloro livre. Na tabela 04 são apresentados valores de CT de diferentes desinfetantes requeridos para inativação de *E. coli*, poliovírus, rotavírus, cistos de *Giardia lamblia*, *Giardia muris* e *Cryptosporidium parvum*.

A desinfecção é realmente necessária, devendo-se, em primeiro lugar, garantir a produção de água com qualidade microbiológica que não afete o ser humano e, posteriormente, eliminar os precursores da formação de subprodutos da desinfecção.

Tabela 07. Valores de CT de diferentes desinfetantes para inativação de microrganismos

Microrganismo	Cloro livre (pH=6 a 7)	Cloramina (pH= 8 a 9)	Dióxido de cloro (pH= 6 a 7)	Ozônio PH= 6 a 7
<i>E. coli</i>	0,034-0,05	95-180	0,4-0,75	0,02
Poliovírus I	1,1-2,5	768-3740	0,2-6,7	0,1-0,2
Rotavírus	0,01-0,05	3806-6476	0,2-2,1	0,006-0,06
Cisto de <i>Giardia lamblia</i>	47-150	2200 ^a	26 ^a	0,5-0,6
Cisto de <i>Giardia muris</i>	30-630	1400	7,2-18,5	1,8-2,0
<i>Cryptosporidium Parvum</i>	7200 ^b	7200 ^c	78 ^d	5-10 ^e

Fonte: DI BERNARDO (1995)

a – inativação de 99,9% (pH de 6 a 9)

b – inativação de 99% (pH= 7 e temp. = 25°C)

c – inativação de 90% (pH= 7 e temp. = 25°C)

d – inativação de 90% (pH= 7 e temp. = 25°C)

e – inativação de 99% (pH= 7 e temp. = 25°C)

3.11.1. Subprodutos da desinfecção

Quando a desinfecção é realizada com cloro livre, a seguinte equação pode ser escrita sobre a formação de THM (trihalometanos) e outros SPD (subprodutos da desinfecção) halogenados quando há presença de matéria orgânica natural – MON e brometos:



Os principais subprodutos da desinfecção identificados na água são os seguintes:

Trihalometanos (THM_s): clorofórmio, bromodiclorometano, dibromoclorometano, bromofórmio.

Ácidos Haloacéticos (AHA_s): ácido monocloacético, ácido dicloroacético, ácido tricloroacético, ácido monobromoacético, ácido dibromoacético, ácido tribromoacético, ácido bromocloroacético, bromodicloroacético, ácido dibromocloroacético.

Haloacetoneitrilas (HAN_s): dicloroacetoneitrila, tricloroacetoneitrila, tribromoacetoneitrila, bromocloroacetoneitrila.

Haletos Cianogênicos (HC): cloreto cianogênico, brometo cianogênico.

Haloacetona (HA): 1,1-dicloropropanona, 1,1,-tricloropropanona, 1,1-dicloro-2-butanona, 3,3-dicloro-2-butanona, 1,1,1-tricloro-2-butanona.

Halopicrinas (HP): cloropicrina, bromopicrina.

Haloaldeídos (HAD): dicloroacetaldeído, tricloroacetaldeído.

Halofenóis (HF): 2-clorofenol, 2,4-diclorofenol, 2,2,6-triclorofenol.

Como indicado na eq.01, a matéria orgânica natural (MON) é o principal precursor com a qual os halogênios reagem para formar esses subprodutos. Na ausência de brometos, somente SBD clorados são formados, enquanto na presença destes, o ácido hipocloroso os oxida rapidamente a ácidos hipobromosos que, juntamente com o residual de ácido hipocloroso, formam os compostos que possuem cloro e bromo. Os principais fatores que influenciam a formação de SPD são: pH, tempo de contato, temperatura, natureza e concentração da matéria orgânica natural, dosagem de cloro aplicada, residual de cloro livre e brometo (DI BERNARDI, 1995).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Sistemas com micropeneira para o pré-tratamento na remoção de algas seguido de filtração direta descendente

Os estudos foram realizados utilizando-se uma instalação piloto, na Estação de Tratamento de Água localizado na Lagoa do Peri. A Lagoa do Peri é o manancial utilizado pela estação de tratamento de água da Companhia Catarinense de Águas e Saneamento – CASAN, que abastece o Sul e a Costa Leste da ilha de Florianópolis. No experimento foram avaliados dois sistemas de tratamento, ora denominados Sistema 01 e Sistema 02.

O filtro piloto AMIAD foi alimentado pela água do poço de sucção através de um motor com vazão de $20\text{m}^3/\text{h}$, passando por um medidor de vazão.

Dois manômetros foram instalados na entrada e saída do filtro piloto AMIAD com a micropeneira para medição da perda de pressão.

A água pré-filtrada foi submetida a coagulação com dosagem de 15mg/L de sulfato de alumínio e correção de pH com $0,8\text{ mg/L}$ de hidróxido de cálcio, em seguida a água passou pelo processo de filtração descendente de dupla camada, areia e antracito, com taxa de $200\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{dia}$, com duração de carreiras médias variadas.

As medições de perda de pressão e perda de carga eram registradas de 30 em 30 minutos, e eram também coletadas amostras de água bruta, filtrada da micropeneira AMIAD e filtrada do filtro piloto descendente, para avaliação do pH, cor e turbidez, no laboratório instalado na Lagoa do Peri, e as amostras para análises de algas e clorofila “a” eram preservadas e enviadas para os laboratórios da CASAN e no Laboratório Integrado do Meio Ambiente (LIMA) da UFSC.

4.1.1. Sistema de tratamento 01

Foi constituído de um equipamento piloto de filtração em micropeneiras autolimpantes de malhas 25 e 50 µm, seguido de filtração direta descendente.

Quanto ao equipamento de filtração em micropeneiras autolimpante AMIAD SAF, representado na Fig. 08, utilizado para retirada de algas:

- Como filtro de tela automático para água que contenham grandes quantidades de algas;
- O filtro contém um coletor operado eletricamente com uma mangueira de sucção que assegura uma operação livre de dificuldade;
- Possui aplicações industriais, aplicações de irrigação e reuso de água.

Seu sistema auto-limpante é operado eletricamente e é constituído de:

Um sistema de sucção para limpar a tela;

Um motor elétrico um eixo central com rosca o qual permite a limpeza do sistema de filtração;

Uma bomba de reforço que cria um fluxo na água de alta velocidade, pulverizando a água na superfície da tela para ajudar na limpeza de áreas saturadas;

Um PCL – Controlador Lógico Programável

O processo de limpeza é rápido e eficiente, economiza água e deixa a tela limpa. A água bruta entra no filtro e é pré-filtrada por uma tela de malha grossa. A água então atravessa uma tela de multi-camadas de aço inoxidável e é filtrada. As partículas em suspensão constroem gradualmente uma torta dentro da tela do filtro criando um diferencial de pressão no filtro. Em um nível normalmente de 0-5 bar, o filtro ativa seu sistema auto-limpante, com um ciclo de enxágüe, abrindo uma válvula de enxágüe para um dreno. Desde o dreno, que está em pressão atmosférica, com a pressão dentro do motor hidráulico na câmara de gotas como também no tubo coletor cria-se um refluxo o qual succiona o material retido na tela externa drenado pelo coletor e esvazia as válvulas. Simultaneamente, o motor elétrico com o equipamento de rosca sem fim cria um movimento helicoidal no coletor com a sucção para cobrir a superfície da tela inteira e a bomba de reforço cria um spray de alta velocidade de água pelos bicos pulverizadores para ajudar na limpeza da tela. O PCL controla o processo e ativa a intensidade dos ciclos e o esvaziamento, quando necessário.

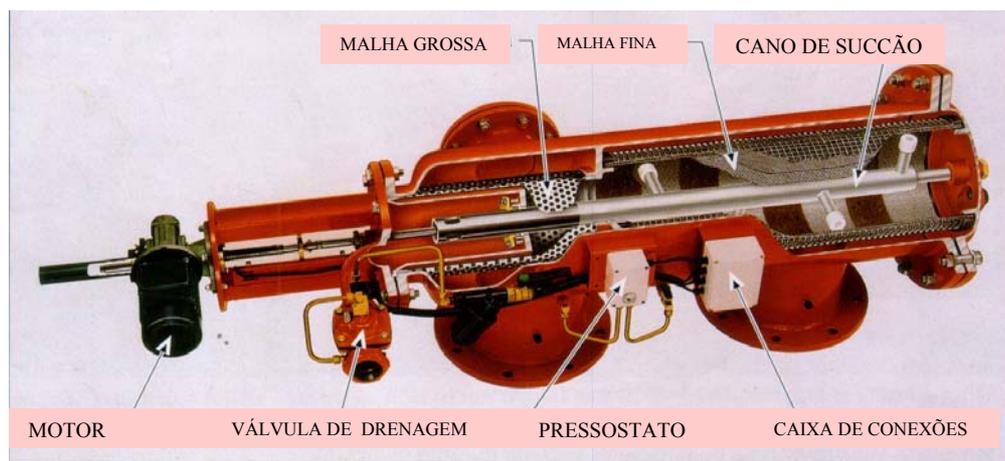


Figura 08. Filtro SAF 3000 autolimpante.

O equipamento é fornecido com conexões flangeadas, para facilitar sua instalação. O filtro possui 100 micro camadas protetoras de poliéster extra durável aplicado eletrostaticamente e curado em forno com uma camada de fosfato de zinco para maximizar a proteção anti-corrosão, com as seguintes especificações técnicas, conforme mostra as tabelas 08, 09 e 10.

Tabela 08– Dados gerais do filtro Amiad

Modelo do Filtro	SAF – 3000
Vazão Máxima (m ³ /h)	150
Pressão Mínima de Trabalho (bar)	1,5
Pressão Máxima de Trabalho (bar)	10
Área do Filtro (cm ²)	3000
Diâmetro de Entrada e Saída (mm)	80,100 e 150
Peso (kg)	80 mm = 105

Fonte- Amiad Filtration Systems Ltd.

Tabela 09 – Dados do sistema de lavagem filtro Amiad.

DADOS DE LAVAGEM	
Válvula de Lavagem (mm)	50
Tempo de Lavagem (s)	20
Perda de Água por Lavagem (L)	64
Vazão Mínima de Lavagem (m ³ /h)	11

Fonte- Amiad Filtration Systems Ltd.

Tabela 10 – Dados de controle e consumo elétrico do equipamento.

CONTROLE E CONSUMO	
Motor Elétrico (HP)	
Voltagem (V)	24 AC
Tensão de Operação e Voltagens	220 e 380 V / 50 e 60 Hz
Consumo de Corrente (A)	0,6

Fonte- Amiad Filtration Systems Ltda.

4.1.2. Sistema de tratamento 02

Constituído de um equipamento piloto de filtração em micropeneiras de malhas 25 e 50 μm com limpeza manual, seguido por uma unidade piloto de filtração direta descendente de dupla camada (antracito e areia), recalcando o microfiltrado com uma taxa de filtração similar à taxa aplicada no filtro descendente na ETA ($200 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{dia}$).



Figura 09. Foto da unidade piloto de filtração direta descendente.

Neste sistema, foram realizados testes com micropeneiras de 25 e 50 μm , onde foram avaliadas a eficiência de remoção de algas da água da lagoa e a eficiência na carreira de filtração direta descendente com e sem a utilização das micropeneiras. A Fig. 09 mostra a unidade piloto de filtração direta descendente utilizado no sistema 02; as Fig. 10 e 11 representam o fluxograma dos sistemas 01 e 02, respectivamente, e os pontos de coleta de amostras para análises dos parâmetros físicos, químicos e hidrobiológicos.

4.1.3. Fluxogramas dos sistemas 01 e 02

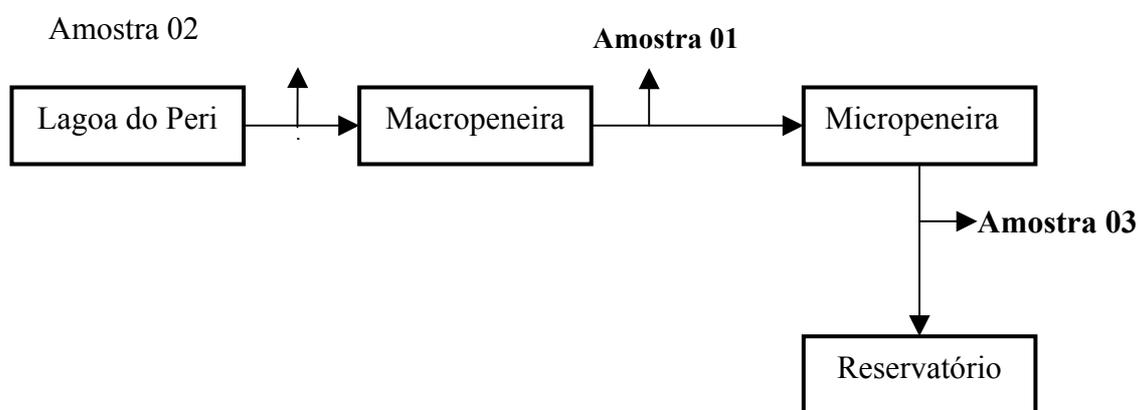


Figura 10. Fluxograma do sistema 01.

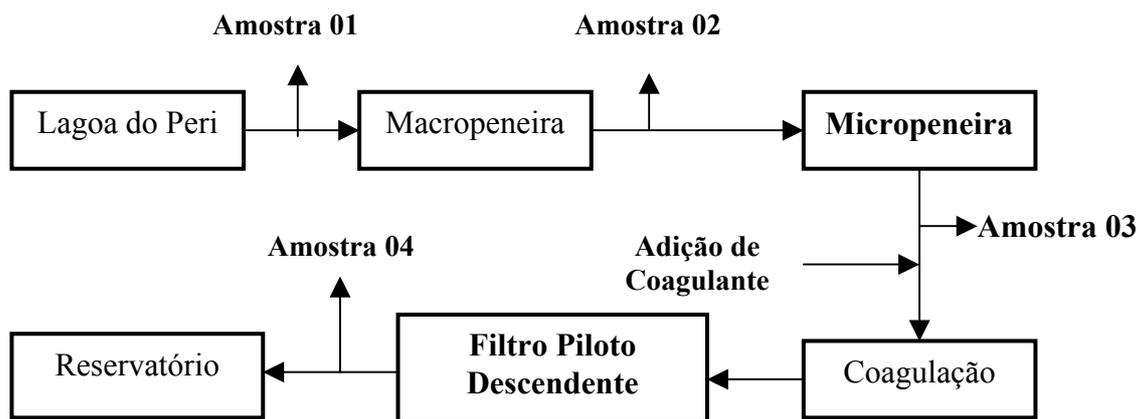


Figura 11. Fluxograma do sistema 02.

As Fig. 10 e 11 mostram o fluxograma da seqüência experimental para cada sistema.

O Sistema 01 foi constituído de uma unidade de filtração piloto com micropeneiras instalado sobre o poço de captação de água bruta do sistema de tratamento “ETA – Lagoa do Peri” conforme demonstra a Fig. 12. A adução foi realizada por um conjunto de moto-bomba com vazão $10,8 \text{ m}^3/\text{h}$. A água captada é aduzida para a unidade piloto de filtração com micropeneiras e, em seguida, o efluente micropeneirado passa pelo filtro piloto descendente instalado junto à ETA Lagoa do Peri.



Figura 12. Foto do filtro piloto modelo SAF 3000 autolimpante

O Sistema 02 foi constituído de uma unidade de filtração piloto com micropeneiras, representada pelas Fig. 13 e 14, e foi instalado sobre o poço de captação de água bruta do sistema de tratamento “ETA – Lagoa do Peri”. A vazão foi de $10,8 \text{ m}^3/\text{h}$, a água captada foi aduzida para a unidade piloto com micropeneiras de 25 e $50 \mu\text{m}$.

O equipamento constituiu-se de um sistema de limpeza manual. Foram feitos ensaios de Jart Test para encontrar a dosagem ótima de sulfato de alumínio a ser aplicado. Após a passagem pela micropeneira, foi aplicado $15,0 \text{ mg/L}$ de sulfato de alumínio no efluente micropeneirado e, em seguida, o efluente coagulado foi recalcado para o piloto de filtração direta descendente.

O piloto de filtração direta descendente constituía-se de um filtro de dupla camada (areia e carvão antracitoso); a taxa de filtração aplicada foi de $200 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$ e a vazão aplicada nos testes foi de $0,318 \text{ m}^3/\text{h}$. As espessuras das camadas do piloto são mostradas na tabela 11.

Tabela 11 – Camadas do filtro piloto.

Camadas	Espessura	Tamanho Efetivo
Camada suporte	35 cm	1,6 a 19 mm
Areia	30 cm	0,5 mm
Carvão	90 cm	1,08 mm



Figura 13. Foto do filtro piloto modelo 2'' T-S Figura14. Foto interior do filtro 2'' T-S

4.2. Metodologia operacional

Utilizando o equipamento CLOGGING POTENTIAL METER determinou-se as melhores taxas e o tempo gasto para atingir a pressão máxima da micropeneira para as malhas de 10, 25 e 50 μm , para as vazões 60 e 600 L/h, com uma superfície circular de 19,63 cm^2 .

O equipamento de micropeneira no sistema 01 possui um sistema automático de limpeza, o qual efetuava lavagens sistemáticas das peneiras toda vez que o filtro atingia uma pressão de 3,0 Kg/cm^2 . Para os testes, o filtro foi programado para fazer a auto-limpeza a cada 30 minutos de operação, para as peneiras de 50 μm e de 25 μm , com uma superfície de 3000 cm^2 , onde a Fig. 15 mostra o modelo de peneira utilizado.



Figura 15. Foto da micropeneira de 50 μm do piloto.

Foram coletadas amostras a cada cinco minutos durante oito ciclos de filtração, cada filtração com uma duração média de 30 minutos, e os ensaios físicos e químicos foram realizados segundo o Standards Methods for the Examination of Water and Wastewater, 19th Edition, APHA,1995. Os resultados foram tratados estatisticamente .

O equipamento de micropeneira no sistema 02 possuía um sistema de limpeza manual, onde era efetuada a limpeza quando o mesmo atingia uma perda de carga de aproximadamente 3,0 Kg/cm², indicada por uma válvula no equipamento e com uma área de filtração de 72,34 cm².

Os ensaios físicos, hidrobiológicos e organolépticos foram amostrados no início da carreira filtrante a cada hora até o final da carreira filtrante, para os sistemas de filtração, e tratados estatisticamente. Procederam-se os ensaios segundo o Standards Methods for the Examination of Water and Wastewater, 19th Edition, APHA,1995.

4.3. Período experimental

Os experimentos foram realizados em dois períodos distintos:

- os testes e ensaios físicos e organolépticos no sistema 01 foram realizados de janeiro a fevereiro de 2002;
- os testes e ensaios físicos e organolépticos no sistema 02 foram realizados de novembro a dezembro de 2002.;
- as análises hidrobiológicas do sistema 01 foram realizadas no mês de fevereiro de 2002 e as do sistema 02, no mês de março de 2003, nas mesmas condições.

4.4. Análises e medidas.

4.4.1. Parâmetros físicos e organolépticos

a) Temperatura: Para determinação deste ensaio, utilizou-se a técnica (2550 B), recomendada pelo Standards Methods for the Examination of Water and Wastewater, 19th Edition, APHA,1995.

b) pH: Para leitura do pH foi utilizado pHmetro de marca HANNA, (HI 8014} e utilizou-se a Técnica (4500 B), recomendada pelo Standards Methods for the Examination of Water and Wastewater, 19th Edition, APHA,1995.

c) Cor (aparente): Para determinação deste ensaio, foi utilizado espectrofotômetro de marca HACH-2010 P, e utilizou-se a Técnica (2120 B), recomendada pelo Standards Methods for the Examination of Water and Wastewater, 19th Edition, APHA,1995.

d) Turbidez: Para determinação deste ensaio, foi utilizado um turbidímetro de marca HACH-2100 P e utilizou-se Técnica (2130 B), recomendada pelo Standards Methods for the Examination of Water and Wastewater, 19th Edition, APHA,1995.

e) Perda de pressão: A perda de pressão no piloto de filtração em micropeneiras foi medida através de manômetros, instalados na entrada e saída dos filtros e no filtro piloto granular de areia e antracito, através de piezômetros em coluna de água instalados conforme a altura do meio filtrante.

f) Vazão: A vazão foi medida através de equipamentos eletrônicos de ultrassom instalados na entrada e saída dos filtros.

4.4.2 Ensaios hidrobiológicos

Os ensaios hidrobiológicos foram realizados com base na contagem das algas em câmara de S.R. – Sedgwick-Rafter, de acordo com as chaves de identificação de algas contidas no método utilizado na CETESB (1989) e recomendado na Técnica pelo Standards Methods for the Examination of Water and Wastewater (10900 C), 19th Edition, APHA, 1995.

a) Contagem e identificação de Algas: Para a determinação destes ensaios foram fixadas as amostras em lugol 4%, utilizando-se microscópio binocular da OLYMPUS – BX 40, com analisador de imagem através de computador, modelo BX 40, do laboratório integrado de Meio Ambiente (LIMA) do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina.

O método consiste em concentrar em 500 vezes o conteúdo algal em rede de plâncton de 10 micra e comparou-se a quantidade de algas da entrada e saída do filtro piloto. A identificação dos organismos aquáticos procedeu-se de acordo com as chaves de identificação de algas contidas na Técnica recomendada pelo Standards Methods for the Examination of Water and Wastewater (10900 C), 19th Edition, APHA, 1995.

O método utilizado na CETESB (1989) e recomendado pelo Standard Methods (1995) é a câmara de S.R. – Sedgwick-Rafter, que é comumente usada na contagem de protozoários e filamentos. Tem capacidade de 1 ml, com dimensões de 50 mm x 20 mm. Utilizando-se uma pipeta introduz-se a amostra por um lado da câmara, de forma a permitir que o ar possa sair pelo outro lado. Antes do início da contagem, deixa-se a amostra decantar por 5 minutos.

A contagem pode ser efetuada tanto por campos, cada um correspondendo à área do retículo de Whipple, quanto por faixas, tendo a faixa de 50 mm de comprimento e a largura do retículo. Realiza-se a contagem por campos quando a amostra tem uma densidade elevada de microrganismos (dez ou mais por campo). Os campos são escolhidos aleatoriamente, distando de 5 mm a 7 mm das bordas.

$$N^{\circ}/ml = \frac{C \times 1000 \text{ mm}^3/ml}{A \times D \times F}$$

Onde:

C = número de organismos contados

A = área de um campo (área da imagem do retículo de Whipple), mm²

D = profundidade de um campo (profundidade da câmara de Sedgwick-Rafter)

F = número de campos contados

O valor resultante ainda precisa ser ajustado, multiplicando-se pelo fator de diluição ou dividindo-se pelo fator de concentração. A contagem por faixas é efetuada quando a concentração de microrganismos é baixa. O número de organismos por mililitro é obtido a partir da seguinte fórmula:

$$N^{\circ}/ml = \frac{C \times 1000 \text{ mm}^3/ml}{L \times D \times W \times S}$$

Onde:

C = número de organismos contados

L = comprimento de cada faixa (comprimento de cada câmara de S. Rafter), mm

D = profundidade de uma faixa (câmara de Sedgwick-Rafter), mm

W = largura de uma faixa (largura da imagem do retículo de Whipple), mm

S = número de faixas contadas

Igualmente, o resultado da fórmula será ainda multiplicado pela diluição ou dividido pela concentração da amostra. Para se obter uma melhor qualidade de resultados, é recomendável a utilização das seguintes condições:

- Usar o mesmo microscópio e o mesmo aumento para todas as contagens de uma amostra de mesma origem;
- Definir o mesmo número de faixas ou campos a serem contados, para todas as contagens de amostras de mesma origem;
- Definir uma faixa de diluição adequada para o tipo de amostra analisada. Sugere-se também que, se necessário variar a diluição definida, isso seja feito pelo fator de dois para concentrar ou diluir; por exemplo:

*Diluição definida – 1:10

*Diluição mínima – 1:5

*Diluição máxima – 1:20

- A amostra deve ser bem homogeneizada antes de se retirar à alíquota para diluição e para análise.

b) **Clorofila-a:** Neste ensaio, as concentrações de clorofila-a foram obtidas através da filtração de 500 ml da amostra em pré-filtros de fibra de vidro GF/C e a aplicação do método de NUCH (1980).

Procedimento:

- Retirar o papel-filtro do freezer (com o filtrado) no máximo 24 horas antes da determinação (mínimo 12 horas), deixando-os na geladeira.
- Colocar o filtrado em tubos de centrífuga encapados com papel alumínio, colocando 10 ml de etanol a 80%. Levar os tubos de centrífuga tampados ao banho-maria, a uma temperatura de 75°C, durante 5 minutos;
- Em seguida, resfria-se em água corrente (para melhor extração, dá-se choque térmico com gelo), guardando-se na geladeira de 6 a 24 horas no escuro;
- Fazer as leituras no espectrofotômetro a 665 nm e 750 nm, em cubeta de 1 cm (Caso necessário, se a amostra estiver turva, centrifugue a 5000 rpm por 10 minutos antes da leitura);
- Transferir a solução para cubeta e fazer a leitura (665 nm e 750 nm);
- Acrescentar à solução um volume de HCl 0,4 N que seja suficiente para baixar o pH entre 2,6 e 2,8 (aproximadamente 0,05 ml);
- Faz-se novamente a leitura a 665 e 750 nm para a determinação da clorofila-a.

CÁLCULO:

$$\text{Clorofila-a } (\mu\text{g/L}^{-1}) = 27,9 \cdot [(E_{665} - E_{750}) - (e_{665} - e_{750})] \cdot v/V \cdot \lambda \quad (4.10)$$

Onde:

E = amostra não acidificada

e = amostra acidificada

v = volume do extrato (ml)

V = volume da amostra filtrada (L)

λ = comprimento da cubeta.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1. Teste para determinar o tipo de malha a ser utilizada no estudo

Para otimizar a avaliação da pré-filtração mecânica por micropeneiras, foi realizado um teste com equipamento CLOGGING POTENTIAL METER, a fim de se prever qual o tipo de malha a ser utilizada no estudo para a melhor carreira de filtração. O teste consiste em passar a água bruta da Lagoa do Peri por filtro de área circular de $19,63 \text{ cm}^2$ e variar as telas de malhas de $10 \text{ }\mu\text{m}$, $25 \text{ }\mu\text{m}$ e $50 \text{ }\mu\text{m}$. Primeiro realizou-se o teste com uma vazão de 60 L/h com taxa de filtração de $0,3 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$ e depois realizou-se o teste com uma vazão de 600 L/h com taxa de filtração de $3,0 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$. O teste demonstrou que os melhores tempos de carreira de filtração para uma perda de carga máxima de $3,0 \text{ Kg/cm}^2$ foram com as malhas de $25 \text{ }\mu\text{m}$ e $50 \text{ }\mu\text{m}$ com vazão de 60L/h , conforme demonstra a Fig. 16.

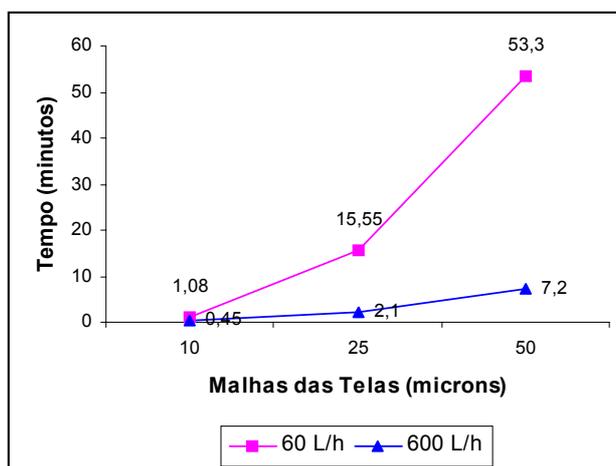


Figura 16. Carreira de filtração para vazões de 60 e 600 L/h em função das malhas de 10, 25 e 50 μm .

5.2. Variação da vazão e carreira de filtração na micropeneira (Sistema 01)

Este ensaio foi desenvolvido para verificar a estabilidade da vazão durante o processo de micropeneiramento, e qual tempo de filtração para atingir a pressão de 3,0 Kg/cm² (pressão indicada para proceder a retrolavagem da micropeneira).

Observa-se na Fig. 17 que houve uma boa variação da vazão à medida que colmatava a micropeneira. A vazão iniciou-se em torno de 20 m³/h e terminou após 35 horas de operação em 12,7 m³/h, quando então atingiu a pressão de 3,0 Kg/cm² para peneira de 50 µm.

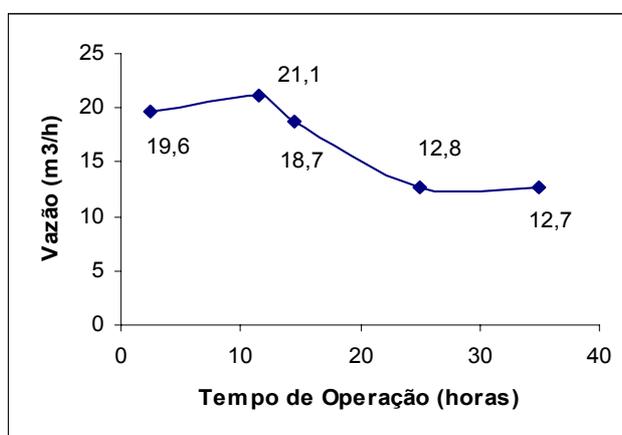


Figura 17. Carreira de filtração (micropeneiras autolimpantes 50 µm) para uma pressão máxima de 3,0 kg/cm².

5.2.1. Variação dos parâmetros físicos e químicos da micropeneira de 50 µm

Iniciou-se o processo de micropeneiramento com uma vazão média de 19,6 m³/h e estabilizou em 12,7 m³/h após 25 horas de operação conforme demonstra a Fig.17, teste este realizado em 8 ciclos de peneiramento com peneira de limpeza automática. Na tela de filtração de malha de 50 µm, os resultados nas propriedades físicas e químicas não foram os esperados, conforme apresenta as Fig. 18, 19 e 20, onde denotaram inexpressiva remoção de cor, turbidez e pH.

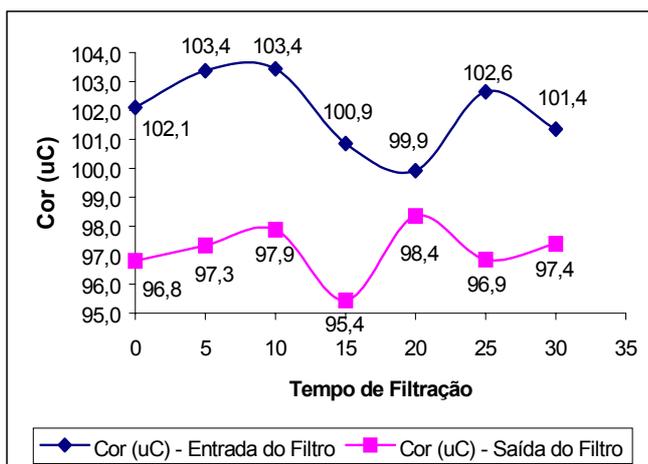


Figura 18. Variação da cor em função do tempo de filtração com micropeneira de 50 µm

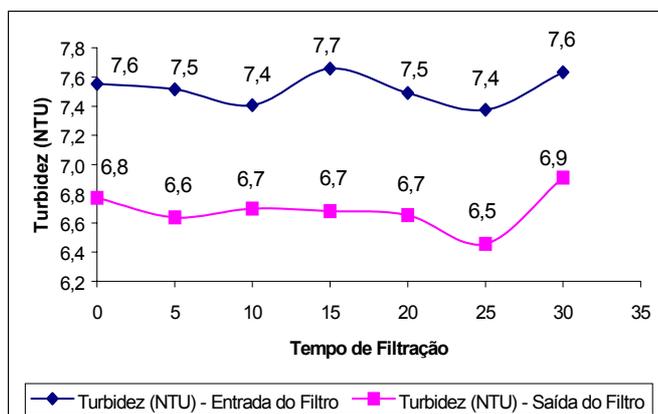


Figura 19. Variação da turbidez em função do tempo de operação com micropeneira de 50 µm

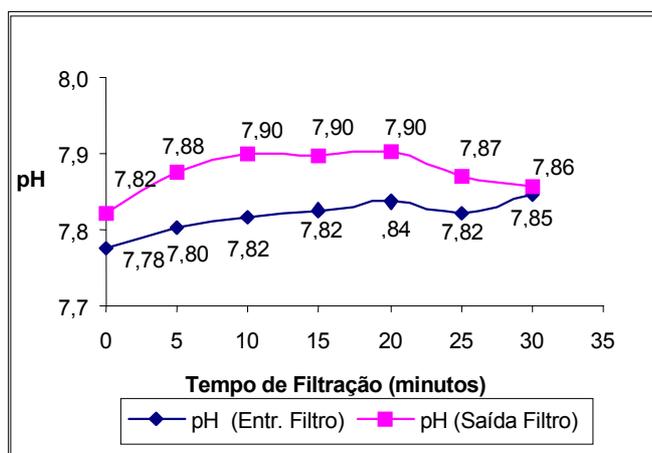


Figura 20. Variação de pH em função do tempo de operação com micropeneira de 50 µm.

5.2.2. Espécies de algas presentes na água bruta e na água de retrolavagem

Em amostras de rede de plâncton concentrado 500 vezes, obteve-se para a Lagoa do Peri o percentual médio de ocorrência de algas representada pela Fig. 21.

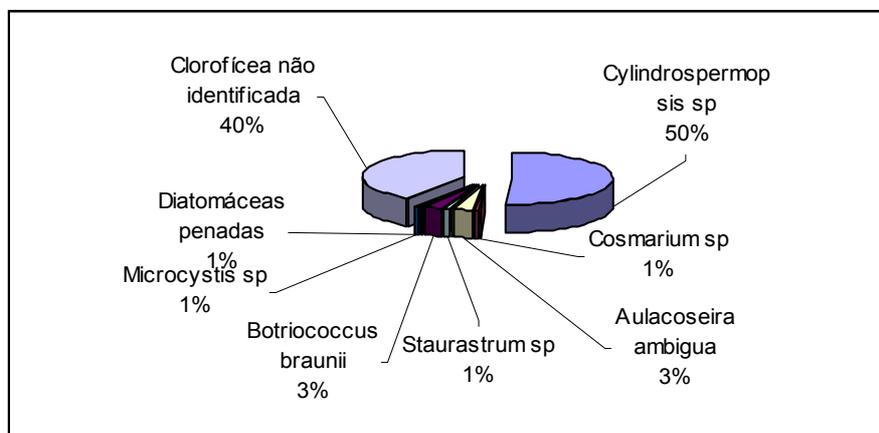


Figura 21. Quantidade de algas por espécie na água bruta (sistema 01)

A cada ciclo de filtração, com uma quantidade de algas na entrada do piloto com a peneira de 50 μm , quantificou-se 238.270 ind./ml⁻¹, onde obtiveram-se os seguintes percentuais de espécies algais na água de retrolavagem, o que fica demonstrado pela Fig. 22., em que as espécies de maior quantidade na água foram a Botriococcus braunii com 46%, Cylindrospermopsis sp 41% e as de menores retenção, as microcystis sp 0%, Cosmarium sp 0% e a Staurastrum sp 1%.

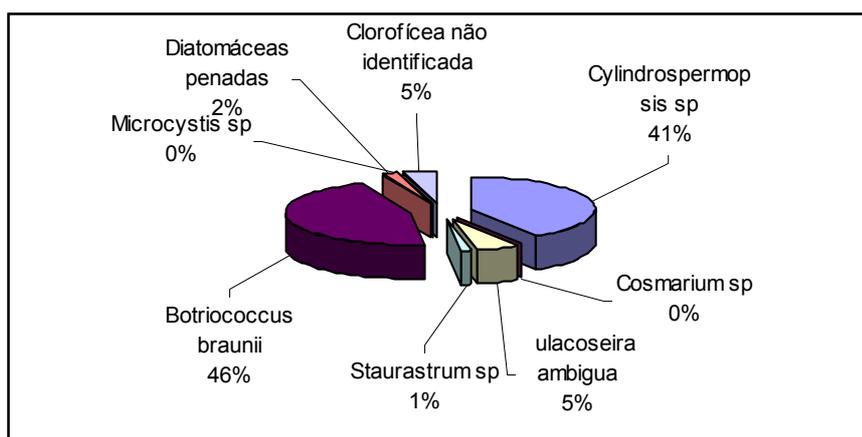


Figura 22. Quantidade de algas por espécie na água de retrolavagem do piloto AMIAD com peneira de 50 μm

5.2.3. Quantidade de algas presentes no filtrado da micropeneira com malha de 50 μm após 15 e 30 minutos de filtração

Quantificou-se o conteúdo algal médio presente no filtrado durante o ciclo de filtração de 15 e 30 minutos, obtendo os dados representados pelas Fig. 22, 23 e 24, os quais foram comparados com a entrada do sistema de filtração.

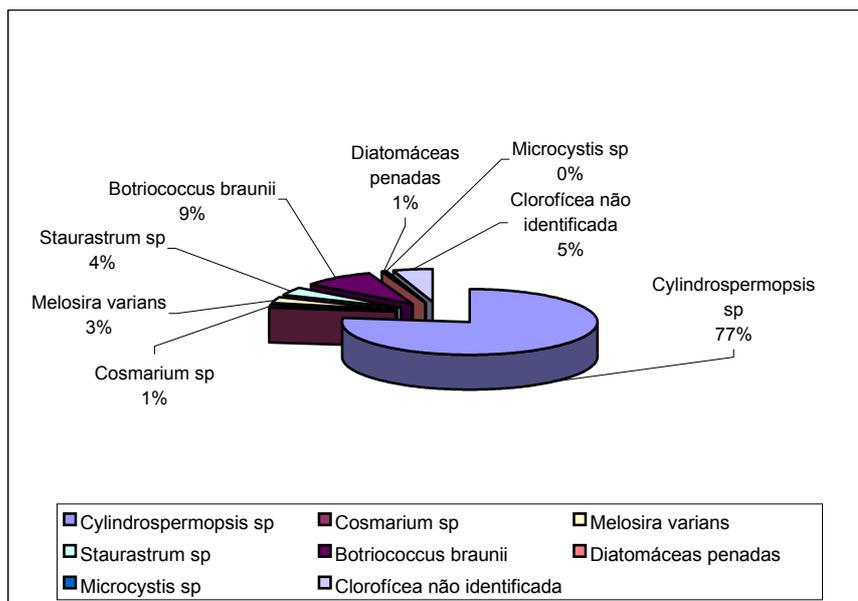


Figura 23. Quantidade de algas no filtrado após 15 minutos de filtração com peneira de 50 μm

Comparando a Fig. 23 do filtrado em micropeneira de 50 μm em 15 minutos de filtração com a Fig.24, no final da carreira filtrante, pode-se observar que, aos 15 minutos, obteve-se uma maior presença de 77 % de Cylindrospermopsis sp em relação as demais, considerando-se somente a sua ocorrência no filtrado. Aos 30 minutos obteve-se uma presença de 85 % de Cylindrospermopsis sp em relação às demais espécies no filtrado, levando-nos a considerar que a tela de malha 50 μm está permitindo a passagem de maior quantidade de Cylindrospermopsis sp do que as demais espécies.

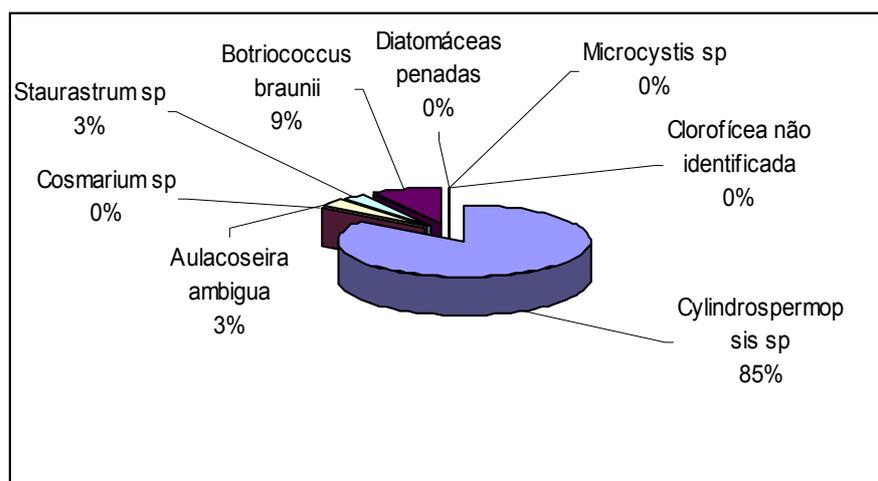


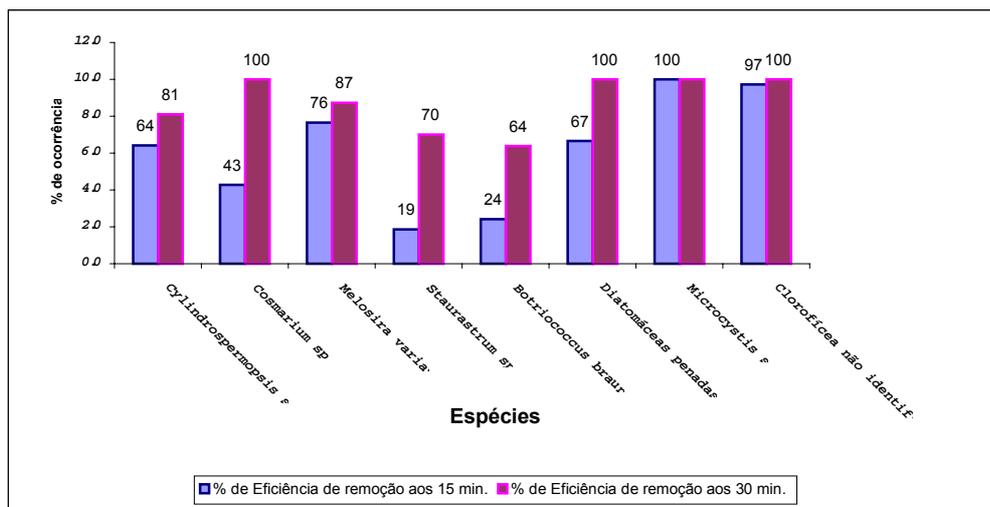
Figura 24. Quantidade de algas no filtrado após 30 minutos de filtração em peneira de 50µm

5.2.4. – Eficiência na remoção de algas no piloto de micropeneira de 50 µm

Comparando as espécies algais presentes na entrada do sistema e no final do ciclo filtrante, obtém-se um percentual de 76 % de remoção aos 15 minutos e 89 % de remoção aos 30 minutos, ou seja, ao final da carreira filtrante, demonstrada pela Fig. 25, de acordo com a tabela 12, onde foram quantificadas as espécies presentes.

Tabela 12. Comparação dos quantitativos de algas na água bruta e filtrada

Espécie Algal	Água Bruta (ind.ml ⁻¹)	Contagem (ind.ml ⁻¹)		% de Remoção		Contagem (ind.ml ⁻¹) Água de Retrolavagem
		Água Filtrada		Água Filtrada		
		15 min.	30min.	15 min.	30 min.	
Cylindrospermopsis sp	121.100	43.467	22.967	64%	81%	226.000
Cosmarium sp	1.400	800	0	43%	100%	0
Aulacoseira ambígua	7.067	1.667	890	76%	87%	30.000
Staurastrum sp	2.667	2.167	800	19%	70%	6.660
Botriococcus braunii	6.800	5.167	2.467	24%	64%	248.330
Diatomáceas penadas	1.200	400	0	67%	100%	10.000
Microcystis sp	1.733	0	0	10%		0
Clorofícea não identificada	96.300	2.800	0	97%	100%	25.000
TOTAL	238.267	56.457	27.123	76%	89%	545.990



Figuras 25. Percentual de eficiência de remoção de algas no filtrado aos 15 e 30 minutos.

À medida que aumenta a perda de carga, a *Cylandrospermopsis* sp atravessa a tela de 50 μ m, o que fica claro analisando-se o percentual de sua presença nos filtrados de acordo com Tabela 12, que nos apresenta uma diferença de percentual de 64% aos 15 minutos para 81% ao final da carreira. A *Aulacoseira ambigua* variou de 76% para 87,4% no final da carreira, e a *Microcystis* sp ficou retida aos 15 minutos.

Isso que nos leva a considerar que a tela de malha 50 microns está permitindo a passagem do conteúdo Algal, especificamente *Botryococcus braunii*, *Staurastrum* sp, *Aulacoseira ambigua* e *Cylandrospermopsis* sp, pois o total de Fitoplâncton retido na tela foi de 76% aos 15 minutos e 89% aos 30 minutos, quando é atingida a pressão máxima, conforme descreve a Fig. 25. Observa-se que, apesar da grande remoção de fitoplâncton na ordem de 89 %, o filtro ainda permite a passagem de Cianofíceas.

5.2.5. Filtração direta descendente do filtrado das micropeneiras de 50 μ m

No piloto de filtração direta descendente na Lagoa do Peri, comparou-se as carreiras de filtrações utilizando a água da Lagoa do Peri com e sem o pré tratamento da filtração com a peneira de 50 μ m em 3 seqüências, obtendo-se os seguintes resultados, representado pela tabela 13.

Tabela 13. Comparação das carreiras de filtração em fluxo descendente

Careira filtrante	Filtração sem o piloto SAF 3000	Filtração com o piloto SAF 3000	Incremento
Seqüência	Duração (h)	Duração (h)	(%)
Seqüência 01	5,3	8,0	+ 50,9
Seqüência 02	6,0	7,3	+ 21,6
Seqüência 03	5,8	7,9	+ 36,2
Média	5,7	7,7	+ 35,0

Pode-se observar um incremento médio da carreira filtrante em 35,0 %, o que fica demonstrado pela tabela 13. Isto acarretaria hoje numa economia de 35,0 % de água na operação de lavagem dos filtros, no sistema de filtração direta descendente aplicado pela Casan na Lagoa do Peri,

5.3. Micropeneiramento com peneiras de 25 e 50 μm aplicado em piloto de filtração descendente (Sistema 02)

5.3.1. Perda de carga e carreira filtrante

Foram executadas 10 seqüências de filtração, onde mediram-se as perdas de cargas pelo piezômetro P1, localizado na parte superior do piloto para fluxo descendente.

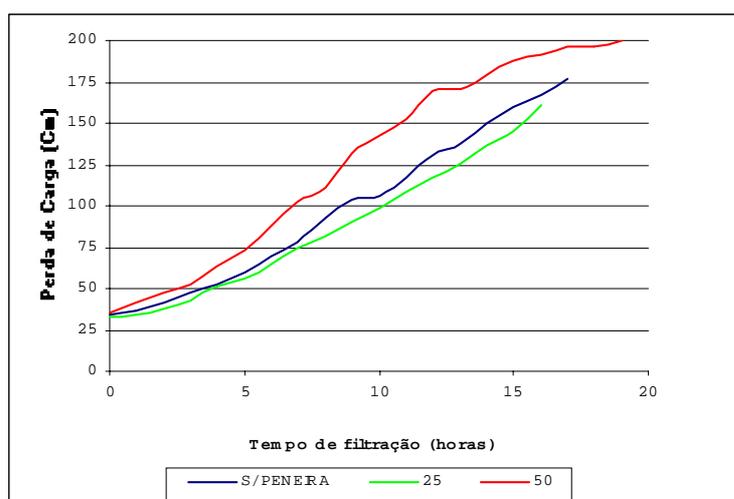


Figura 26. Perda de carga na filtração direta descendente com e sem pré-tratamento (micropeneiras de 25 e 50 μm)

Observa-se na Fig. 26 que a utilização das micropeneiras de 25 e 50 μm , seguida de filtração direta descendente não trouxeram resultados significativos para a carreira média de filtração do piloto de filtração descendente.

5.3.2. Parâmetros físicos e químicos

Comparando os parâmetros físicos e químicos do processo de filtração direta descendente sem micropeneira com a filtração direta descendente seguida de filtração com micropeneiras de 25 e 50 μm (Sistema 02), pode-se observar que as micropeneiras não apresentam remoção significativa de cor e turbidez na água bruta, conforme apresenta as Fig. 27 e 28

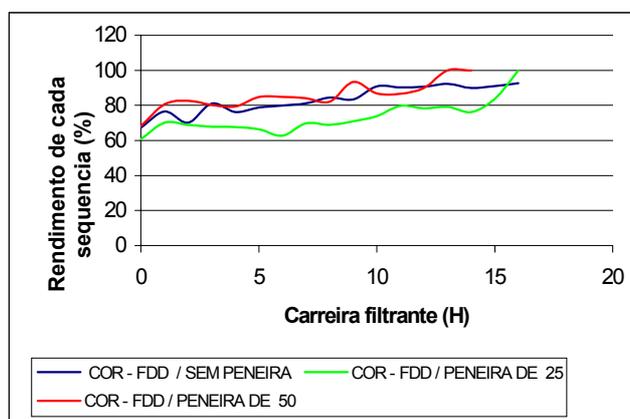


Figura 27 Eficiência de remoção de cor utilizando filtração direta descendente com e sem micropeneiras de 25 e 50 μm

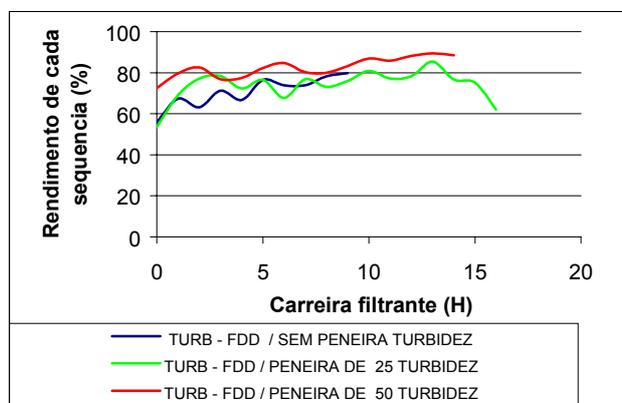


Figura 28 . Eficiência de remoção de turbidez na filtração descendente com e sem pré- tratamento

5.3.3. Remoção de algas

Devido ao fato de o lago ter uma variação muito alta das espécies de algas por período de tempo, pois as mesmas sofrem influências climatológicas externas, os dados de quantidade de espécies de algas foram tratados estatisticamente por média aritmética. A Fig. 29 mostra o percentual de espécies de algas na Lagoa do Peri. As espécies predominantes encontradas na água bruta foram as *Pseudoanabaena sp* com 55% e a *Cylindropermopsis raciborskii* com 37% sendo que as demais espécies apareceram em menor quantidade.

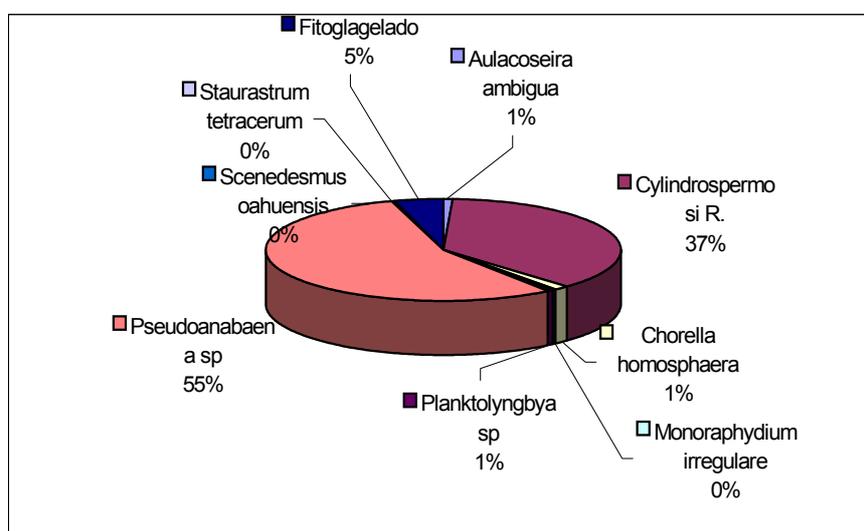


Figura 29. Percentual de algas por espécie na água bruta da Lagoa do Peri

A Fig. 30 mostra o percentual de ocorrência de algas do piloto de filtração direta descendente sem micropeneiramento. Neste ensaio observou-se a ocorrência de 57% da espécie de *Pseudoanabaena sp* e 41% da espécie de *Cylindropermopsis raciborskii*.

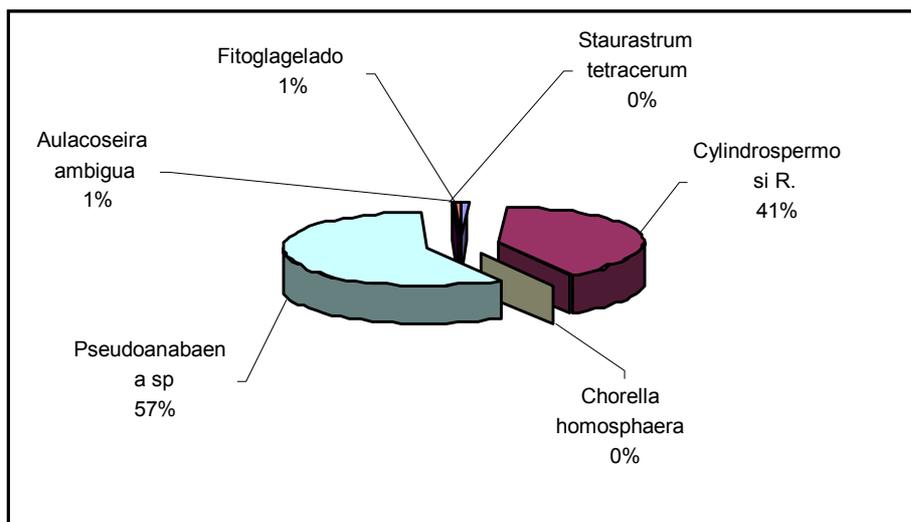


Figura 30. Percentual de ocorrência de algas por espécie no piloto de filtração direta descendente sem micropeneiramento

A Fig. 31 e 32 destacam o percentual de espécies de algas encontradas no filtrado do piloto de filtração direta descendente, que foi pré-tratado em micropeneira de malha de 25 e 50 μm , respectivamente. As espécies predominantes que passaram pelo sistema ficando presentes na água filtrada foram *Pseudoanabaena sp* e *Cyindrospermopsis raciborskii*. Estas espécies, por serem filamentosas, se rompem mais facilmente, não ficando retidas nos filtros.

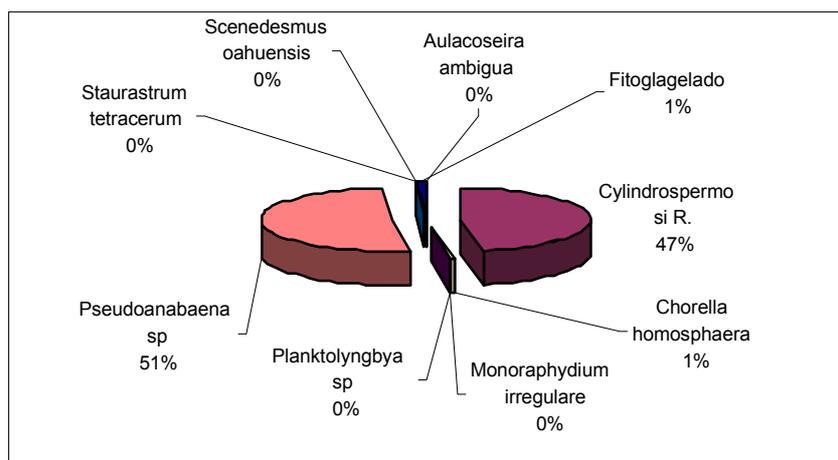


Figura 31. Percentual de ocorrência de algas no filtrado posterior (micropeneira de 25 μm + FDD)

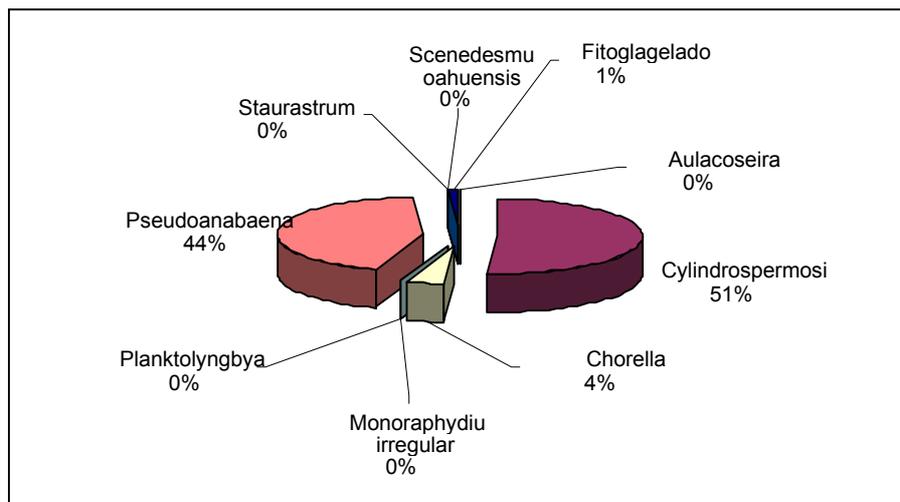


Figura 32. Percentual de ocorrência de algas no filtrado (micropeneira 50 μm + FDD)

No ensaio com micropeneira de 25 μm foram encontrados 47 % de *Cylindropermopsis raciborskii* e 51 % de *Pseudoanabaena sp* e no ensaio com micropeneira de 50 μm foram encontrados 51% de *Cylindropermopsis raciborskii* e 44% de *Pseudoanabaena sp*.

Na Fig. 33 fez-se a comparação entre a retenção de espécies de algas do piloto de FDD com micropeneiramento em malha de 25 μm e FDD, e com micropeneiramento em malha de 50 μm e FDD. Os resultados comprovaram que as espécies predominantes são as que menos ficam retidas nos filtros. Isto deve-se ao fato de estarem em maior quantidade no plâncton do lago e que, por serem espécies filamentosas, rompem-se mais facilmente quando submetidas a altas pressões.

Desta forma, quanto menor a malha da peneira, maior a perda de carga, acentuando as forças de cisalhamento, o que promove a lise das algas, reduzindo a eficiência dos filtros na remoção de cor e turbidez, conforme mostrado nas Fig. 27 e 28.

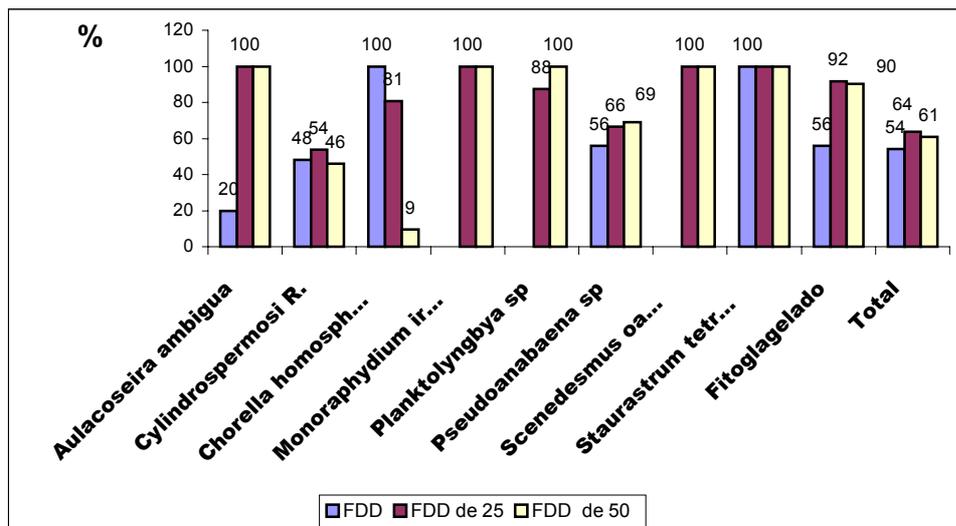


Figura 33. Percentual de remoção de algas em cada ensaio.
(FDD; micropeneira 25 + FDD; micropeneira 50 + FDD).

6. CONCLUSÃO

- Houve um incremento médio de 35% na carreira média dos filtros no sistema 01;
- Tanto o sistema 01 quanto 02 apresentaram uma pequena melhoria da qualidade da água bruta na remoção de cor e turbidez;
- Houve uma redução na quantidade de produtos químicos utilizados;
- As espécies predominantes que atravessaram as micropeneiras e os filtros foram *Cylindrospermopsis raciborski*, *Pseudanabaena sp* e *Botryococcus braunii*;
- Houve um ganho de 1,5 hora na carreira de filtração no sistema 02 com micropeneira de 25 micros;
- No sistema 01, a filtração em micropeneiras de 50 microns apresentou remoção de algas de 76% após 15 minutos, e de 89% após 30 minutos;
- No sistema 02, a filtração direta da água bruta sem micropeneira apresentou uma remoção de algas de 54%;
- A filtração direta da água bruta com micropeneira de 50 microns apresentou uma remoção de algas de 61%;
- A filtração direta da água bruta com micropeneira de 25 microns apresentou uma remoção de algas de 64%

Espécies	Sistema 01	
	15 minutos	30 minutos
<i>Cylindrospermopsis sp</i>	77%	85%
<i>Botryococcus braunii</i>	9%	9%
Demais Espécies	14%	6%

Espécies	Sistema 02		
	25 + FDD	50 + FDD	FDD
<i>Cylindrospermopsis rb.</i>	47%	51%	57%
<i>Pseudanabaena sp</i>	51%	44%	41%
Demais Espécies	2%	5%	2%

6.1. Recomendações

- Realizar ensaios de toxicidade das algas que passam pelas peneiras de 25 e 50 microns;
- Desenvolver o estudo econômico para implantação de um pré-tratamento utilizando micropeneiras;
- Desenvolver estudos utilizando micropeneiras de 50 e 25 microns em série, seguido de filtração direta descendente para remoção de algas;
- Desenvolver os estudos durante todas as estações do ano.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standards Methods for the examination of de water and wastewater**. 19th edition. New York, APHA, 1995.

AMIRTHARAJAH, A. & Milis. K. M. **Rapid-mix Design for Mechanisms of Alum Coagulation**. JAWWA, p: 210-216, vol. 74, n. ° 4, April 1982.

AZEVEDO, M. F. O.S. **Toxinas de Cianobactérias: Causas e conseqüências para a saúde pública**. Núcleo de Pesquisas de Produtos Naturais – CCs – UFRJ, 1998. Medicina On Line, V. 1, Ano 1, n. ° 3.

BATALHA, Bem Hur L. **Controle da qualidade da água para consumo humano: bases conceituais e operacionais**. São Paulo, CETESB, 1997.

_____. **Revista Ciência Hoje**. Vol. 25, n. ° 145. p.28.

BEASLEY, V. R. (org.) et al. **Intoxication in livestock and water fowl. Clinical Toxicology – Veterinary Clinics of North America**. Food Animal Practice, 5: 345-361, 1989.

Bishop, C. T.; Anet, E.F.L.J.; GORHAM, P.R. **Isolation and identification of the past-death factor in Microcystis aeruginosa nrc-1**. Can. J. Biochem. Physiol. 37: 453-471, 1959.

BORGES, J.T.P. **A Cloração e o residual de cloro na água: uma abordagem polêmica.** SEMINÁRIO NACIONAL DE MICROBIOLOGIA APLICADA AO SANEAMENTO – Vitória – ES, 2000.

BRANCO, Samuel Murgel. **Hidrobiologia Aplicada à Engenharia Sanitária.** 3ª ed. São Paulo: CETESB/ASCETESB, 1986. 640P.

BRASIL. **Portaria n.º 1469 de 29 de dezembro de 2000.** Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade de água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e da outras providências. Gabinete do Ministério. Brasília – DF. 2000.

CARMICHAEL, W. W. & NAMIKOSHI. **First report of microcystin from a Brazilian isolate of the cyanobacterium *Microcystis aeruginosa*.** Journal of Applied Phycology, 6: 261-265 – 1994.

_____. & SCHWARTZ, L.D. **Preventing livestock deaths from blue-green algae poisoning.** Farmers Bulletin 2275, Washington, DC: Dept. of Agriculture, 1984.

_____. **Cyanobacteria secondary metabolites.** The Cyanotoxins. J. Appl. Bact., 72: 445-459, 1992.

_____. **The toxins of Cyanobacteria.** Scientific American. 270 (1), pp. 78-86, 1994.

_____.; FUJIKI, H. **Inhibition of protein phosphatase by microcystin and nodularin associated with hepatotoxicity.** J. Cancer Res. Clin. Oncol. 116:609-614 – 1990.

CENTRE, International Environmental Technology. **Planejamento e Gerenciamento de Lagos e reservatórios: uma abordagem integrada ao problema da eutrofização.**

CETESB. *Bactérias Heterotróficas*. Contagem – L 201, São Paulo – SP, set/1986.

_____. *Microbiologia Ambiental*, São Paulo, 1992.

DEVLIN, J. P. (Org.) et al. *Anatoxin-a a toxicalkaloid from Anabaena flos-aquae NRC-44 the*. Can. J. Chem. 55: 1367-1371, 1997.

DI BERNARDO, L. *Algas e suas Influências na Qualidade das Águas e nas Tecnologias de Tratamento*. ABES, Rio de Janeiro, 1995. p. 127.

_____. *Método e Técnicas de Tratamento de água*. Vol. I e II. ABES, Rio de Janeiro, 1993. p. 481/498.

FAPEU. *Relatório preliminar. Batimetria da Lagoa do Peri*. CASAN, Florianópolis, 1998.

FONSECA, M. R. M. *Química Geral*. Ed. FTD, São Paulo, 1992.

GARCIA, T. V. *Remoção de algas através da eletroflotação tratamento eletrolítico seguido de filtração diata no tratamento de água de abastecimento*. 97p. Florianópolis, 2002. Dissertação (mestrado em Engenharia Ambiental). Tecnologia de Saneamento, Universidade Federal de Santa Catarina.

HAWSER (org) et al. *A neurotoxic factor associated with the bloom-forming cyanobacterium Tricchodesmium*. Toxicom, 29: 277-278. 1991.

IPUF (Instituto de Planejamento Urbano de Florianópolis). *Plano Diretor do Parque da Lagoa do Peri*. Florianópolis, 1978.

ISOLANI, D. *Filtração de águas de abastecimento com esponjas de poliuretano*. 143p. Florianópolis 2000. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Tecnologia de Saneamento, Universidade de Santa Catarina.

LAPOLLI, E. M. (org) et al. *Carta dos Elementos do Meio Ambiente: Parque da Lagoa do Peri*. Memorial Descritivo – Mapa. LAR/SC (Laboratório Associado de Sensoriamento Remoto de Santa Catarina) 1990. p. 23.

LARINI, L. *Toxicologia*. Ed. Monole Ltda. São Paulo, 1997. p. 301.

MACEDO, H. H. L.; NOGUTI, M.; ABE, Y.H. *Estudos do trihalometanos*. Revista DAE n.º 134, setembro 1983.

MATSUNAGA, S.; MOORE, R.E.; MIEZCZURA, W. P.; CARMICHAEL, W. W. *Anatoxim-a (s), a potent anticholinesterase from Anabaena flosaquae*. Journal of American Chemical Society. 111: 8021-8023, 1989.

MENDES, C. G. N. *Determinação das Dosagens ótimas de produtos Químicos na Filtração direta ascendente*. Dissertação de Mestrado em fase final de redação, sob orientação do prof. Luiz Di Bernardo, 1984.

MIRANDA, G. Jr. *Estudo Hidrológico da Bacia Hidrográfica e Capacidade de Preservação da Lagoa do Peri*. CASAN, Florianópolis, novembro/1998.

NEMAR (Núcleo de Estudos do Mar) – *Diagnóstico ambiental e Programa Monitoramento da Lagoa do Peri*, : UFSC, Florianópolis-SC, Agosto, 1998.

OHATOANI, I. (et al). *Cylindrospermopsis, a potent hepatotoxic from the blue – green algae Cylindrospermopsis raciborski*. J. Am. Chem. Soc. 114:7941. 1992.

POLI, R. (org.). *Levantamento da fauna aquática da Lagoa do Peri*. FAPEU (Fundação de Amparo a Pesquisa e Extensão Universitária), Florianópolis – SC, 1978. p.67.

RICHTER, A. C.; AZEVEDO N. M. J. *Tratamento da água*. Ed. Edgar Blücher Ltda. 1991. P.332.

SILVA (org.) et al. *Análise Ambiental da Bacia do Peri*. Laboratório Associado de Sensoriamento Remoto de Santa Catarina – LARS/SC, Florianópolis, 1989.

SIVONEM, K. (et al). *Preliminary characterization of neurotoxic cyanobacterial blooms and atrains from Finland*. Toxicity Assessment, 4: 339-352. 1989.

SNIZEK, F. N. & CANOZZI, M. P. *Lagoa do Peri: proteção ambiental, tomada de água e repovoamento – Análise preliminar*. IV SIMPÓSIO LATINOAMERICANA DE AQUICULTURA, & SIMPOSIO BRASILEIRO DE AQUICULTURA. Florianópolis, ALA/ABRAQ, 1998.

SOBRINO, P. A. *Estudos do fatores que influem no desempenho do processo de lodos ativados: determinação de parâmetros de projeto para esgotos predominantemente domésticos*. Revista DAE, São Paulo, v. 43, n.º 4.132. p. 49-85, mar/1983.

TAKAHASHI, M. *Aproveitamento de manipueira e de resíduos de processamento da mandioca*. Informe Agropecuário, 13 (145): 83-87, 1987.

VOGEL, A. I. *Química analítica qualitativa*. Ed. Mestre Jou, São Paulo, 1981.

WAGNER, E. G. & HUDSON Jr., H. E. *Low-Dosage High-rate Direct Filtration*. JAWWA, may 1982. V. 74, n. ° 05. P. 256-261.

YUNES, J. S. *A proliferação das algas cianofícias e sua repercussão na qualidade da águas de abastecimento*. UPC (Unidade de Pesquisa em Cianobactéria), SEMINÁRIO INTERNACIONAL DA QUALIDADE DE ÁGUAS DE ABASTECIMENTO. FURG – RS, 1997.

8. ANEXO

ANEXO 01. RESULTADOS DOS ENSAIOS REALIZADOS NO FILTRO AMIAD SAF 3000 COM PENEIRA DE 50 μm (SISTEMA 01)

Tabela 01 – Resultados do teste com equipamento CLOGGIN POTENCIAL METTER para verificar o tempo máximo de operação do equipamento AMIAD SAF 3000 para uma perda de pressão máxima de 3 Kg/cm²

Peneiras	Tempo (horas)	
	Vazão 60 (L/h)	Vazão 600 (L/h)
10 (μm)	1,08	0,45
25 (μm)	15,55	2,1
50 (μm)	53,3	7,2

Tabela 02 – Carreira de filtração da micropeneira autolimpante AMIAD SAF 3000, com peneira de 50 μm , para uma pressão máxima de 3 Kg/cm².

DATA	HORA	TEMPO	TOTAL MACROMEDIDO
28/01/02	12:30	2,5	19,6 m ³ /h
29/01/02	18:30	11,5	19,0 m ³ /h
30/01/02	11:30	14,5	18,7 m ³ /h
04/02/02	18:30	25,0	12,8 m ³ /h
05/02/02	18:30	35,0	12,7 m ³ /h

Tabela 03 – Resultados dos ensaios de cor na entrada do filtro AMIAD SAF 3000 autolimpante com peneira de 50 μm .

TEMPO (minutos)	ENSAIOS COR (uH)								Média
	1	2	3	4	5	6	7	8	
0	105,0	105,7	107,0	96,3	101,0	106,5	99,0	96,3	102,1
5	105,0	105,7	107,0	96,3	103,0	114,0	97,0	99,0	103,4
10	105,0	105,7	107,0	96,3	102,0	114,5	98,0	99,0	103,4
15	105,0	105,7	107,0	96,3	96,5	97,5	98,5	100,3	100,9
20	105,0	105,7	107,0	96,3	99,0	107,5	78,5	100,3	99,9
25	105,0	105,7	107,0	96,3	98,0	107,5	100,0	101,7	102,6
30	105,0	105,7	107,0	96,3	94,5	101,0	98,0	103,3	101,4

Tabela 04 – Resultados dos ensaios de cor na saída do filtro AMIAD SAF 3000 autolimpante com peneira de 50 µm.

TEMPO (minutos)	ENSAIOS COR (uH)								Média
	1	2	3	4	5	6	7	8	
0	98,0	103,7	99,0	88,7	90,5	102,0	98,0	94,7	96,8
5	100,0	102,3	105,0	88,0	85,5	105,0	95,5	97,3	97,3
10	94,0	103,7	104,0	88,7	92,0	104,0	98,0	98,7	97,9
15	91,5	100,7	98,0	91,3	84,0	106,0	94,0	98,0	95,4
20	101,0	99,7	99,0	89,7	91,0	109,5	97,0	100,0	98,4
25	99,0	101,7	102,0	90,3	95,0	92,5	93,0	101,3	96,9
30	103,0	103,0	104,0	91,0	92,5	91,0	95,0	99,7	97,4

Tabela 05 – Resultados dos ensaios de turbidez na entrada do filtro AMIAD SAF 3000 autolimpante com peneira de 50 µm.

TEMPO (minutos)	ENSAIOS TURBIDEZ (NTU)								Média
	1	2	3	4	5	6	7	8	
0	7,9	7,5	7,8	8,4	6,4	8,0	7,2	7,4	7,6
5	7,9	7,5	7,8	8,4	6,0	7,4	7,2	8,0	7,5
10	7,9	7,5	7,8	8,4	6,3	6,4	7,2	7,8	7,4
15	7,9	7,5	7,8	8,4	7,1	7,3	7,2	8,1	7,7
20	7,9	7,5	7,8	8,4	7,5	6,5	6,7	7,7	7,5
25	7,9	7,5	7,8	8,4	6,6	6,6	6,8	7,5	7,4
30	7,9	7,5	7,8	8,4	7,7	6,5	7,6	7,8	7,6

Tabela 06 – Resultados dos ensaios de turbidez na saída do filtro AMIAD SAF 3000 autolimpante com peneira de 50 µm.

TEMPO (minutos)	ENSAIOS TURBIDEZ (NTU)								Média
	1	2	3	4	5	6	7	8	
0	6,1	6,5	7,7	6,8	6,1	7,4	6,8	6,9	6,8
5	5,9	7,4	6,2	6,6	5,8	7,0	6,9	7,4	6,6
10	6,4	7,2	6,3	6,2	6,8	6,7	6,5	7,6	6,7
15	6,6	6,5	7,3	6,3	6,7	6,0	6,6	7,5	6,7
20	7,7	7,2	5,4	6,4	6,6	6,2	6,4	7,4	6,7
25	6,4	6,4	4,9	6,5	7,1	6,0	6,4	8,0	6,5
30	7,1	6,9	7,5	6,5	6,4	6,3	6,9	7,7	6,9

Tabela 07 – Resultados dos ensaios de pH na entrada do filtro AMIAD SAF 3000 autolimpante com peneira de 50 µm.

TEMPO (minutos)	ENSAIOS pH								Média
	1	2	3	4	5	6	7	8	
0	7,4	7,8	8,3	7,3	8,0	8,6	7,4	7,5	7,8
5	7,4	7,8	8,3	7,3	8,2	8,6	7,5	7,5	7,8
10	7,4	7,8	8,3	7,3	8,3	8,6	7,5	7,4	7,8
15	7,4	7,8	8,3	7,3	8,1	8,7	7,5	7,5	7,8
20	7,4	7,8	8,3	7,3	8,3	8,6	7,5	7,5	7,8
25	7,4	7,8	8,3	7,3	8,3	8,6	7,5	7,5	7,8
30	7,4	7,8	8,3	7,3	8,4	8,6	7,6	7,5	7,8

Tabela 08 – Resultados dos ensaios de pH na saída do filtro AMIAD SAF 3000 autolimpante com peneira de 50 µm.

TEMPO (minutos)	ENSAIOS pH								Média
	1	2	3	4	5	6	7	8	
0	7,2	7,8	8,2	7,8	8,1	8,6	7,5	7,5	7,8
5	7,2	7,7	8,2	7,8	8,6	8,6	7,5	7,5	7,9
10	7,2	7,8	8,3	7,9	8,5	8,6	7,5	7,4	7,9
15	7,2	7,7	8,3	7,9	8,4	8,6	7,5	7,5	7,9
20	7,2	7,8	8,4	8,0	8,2	8,6	7,6	7,5	7,9
25	7,3	7,7	8,4	7,8	8,2	8,6	7,5	7,5	7,9
30	7,3	7,7	8,3	7,8	8,1	8,6	7,6	7,5	7,9

Tabela 09 – Resultados da contagem de algas na água bruta da Lagoa do Peri, na água da saída do filtro AMIAD SAF 3000, com peneira de 50 µm, após 15 e 30 minutos de operação e na água de retrolavagem da micropeneira.

Espécie de Algas	Contagem de Algas (indivíduos/ml)			
	Água Bruta	Água Filtrada (AMIAD SAF 3000)		Retrolavagem
		15 minutos	30 minutos	
Cylindrospermopsis sp	12.110	4.347	2.297	22.600
Cosmarium sp	140	80	0	0
Melosira varians	707	167	89	3.000
Staurastrum sp	267	217	80	666
Botriococcus braunii	680	516	247	24.833
Diatomáceas penadas	120	40	0	1.000
Microcystis sp	173	0	0	0
Clorofíceas não identificadas	9.630	280	0	2.500
TOTAL	23.827	5.646	2.712	5.4599

Tabela 10 – Percentual de eficiência de remoção de algas da água na saída do filtro AMIAD SAF 3000, com peneira de 50 µm, após 15 e 30 minutos de operação.

Espécie de Algas	Contagem de Algas (indivíduos/ml)			Eficiência Remoção (%)	
	Água Bruta	Água Filtrada (AMIAD SAF 3000)		Água Filtrada (AMIAD SAF 3000)	
		15 minutos	30 minutos	15 minutos	30 minutos
<i>Cylindrospermopsis</i> sp	12.110	4.347	2.297	64	81
<i>Cosmarium</i> sp	140	80	0	43	100
<i>Melosira varians</i>	707	167	89	76	87
<i>Staurastrum</i> sp	267	217	80	19	70
<i>Botriococcus braunii</i>	680	516	247	24	64
Diatomáceas penadas	120	40	0	67	100
<i>Microcystis</i> sp	173	0	0	100	100
Clorofíceas não identificadas	9.630	280	0	97	100

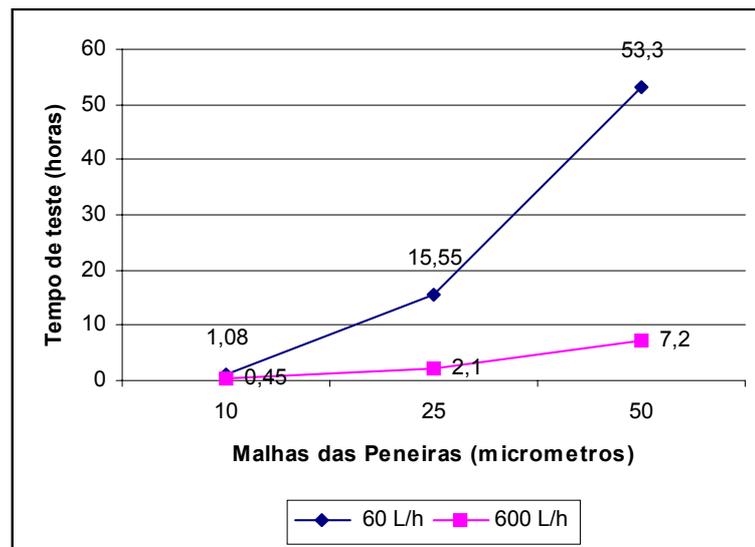


Figura 01 – Tempo máximo de operação do filtro AMIAD SAF 3000, utilizando peneiras de malhas de 10, 25 e 50 μm para vazões de 60 e 600 L/h, para uma perda de pressão máxima de 3 Kg/cm^2 . (Ver Tabela 01)

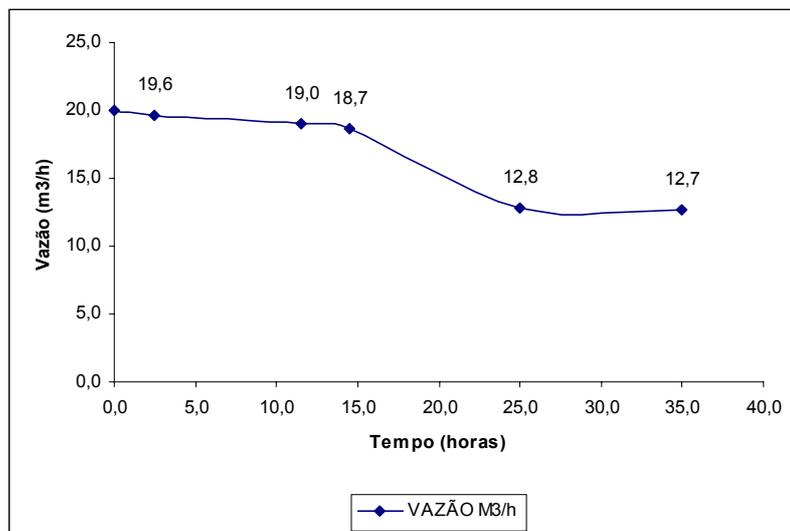


Figura 02 – Carreira de filtração do filtro AMIAD SAF 3000 com micropeneira de 50 μm para uma pressão máxima de 3 Kg/cm^2 . (Ver Tabela 02)

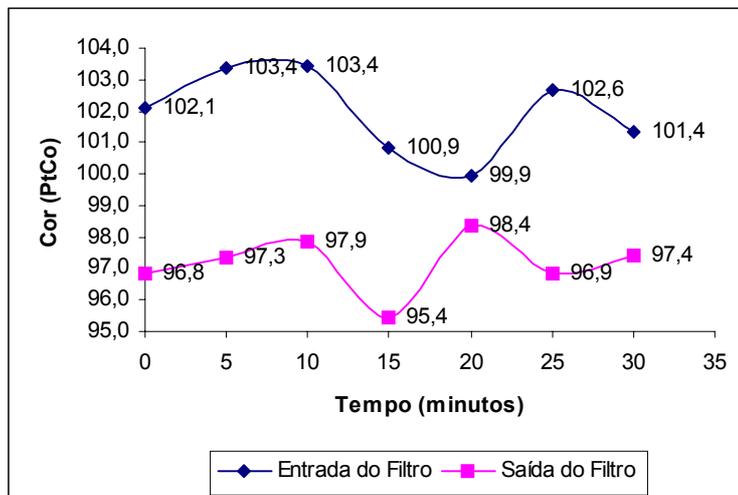


Figura 03 – Variação da cor na entrada e saída do filtro AMIAD SAF 3000, utilizando peneira de malha de 50 μm , após 30 minutos de operação. (Ver Tabela 03 e 04)

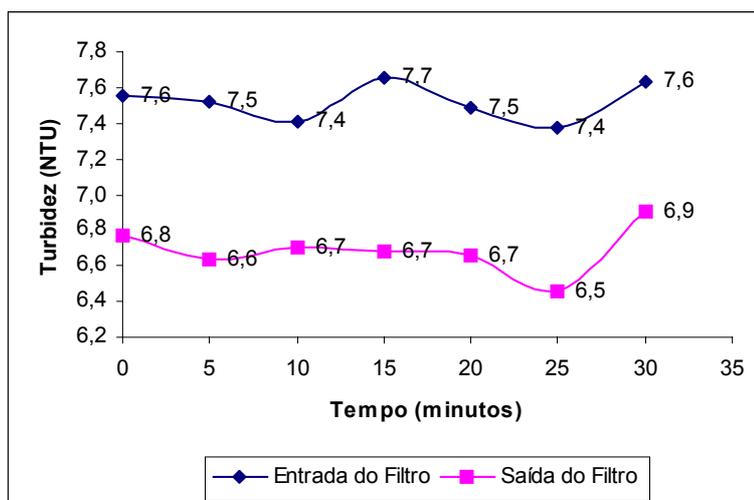


Figura 04 – Variação da turbidez na entrada e saída do filtro AMIAD SAF 3000, utilizando peneira de malha de 50 μm , após 30 minutos de operação. (Ver Tabela 05 e 06)

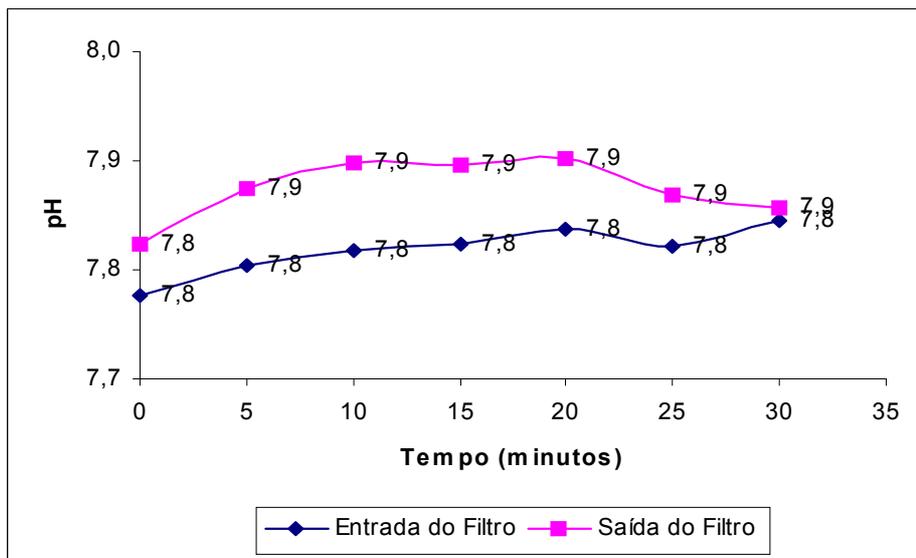


Figura 05 – Variação do pH na entrada e saída do filtro AMIAD SAF 3000, Utilizando peneira de malha de 50 µm, após 30 minutos de operação. (Ver Tabela 07 e 08)

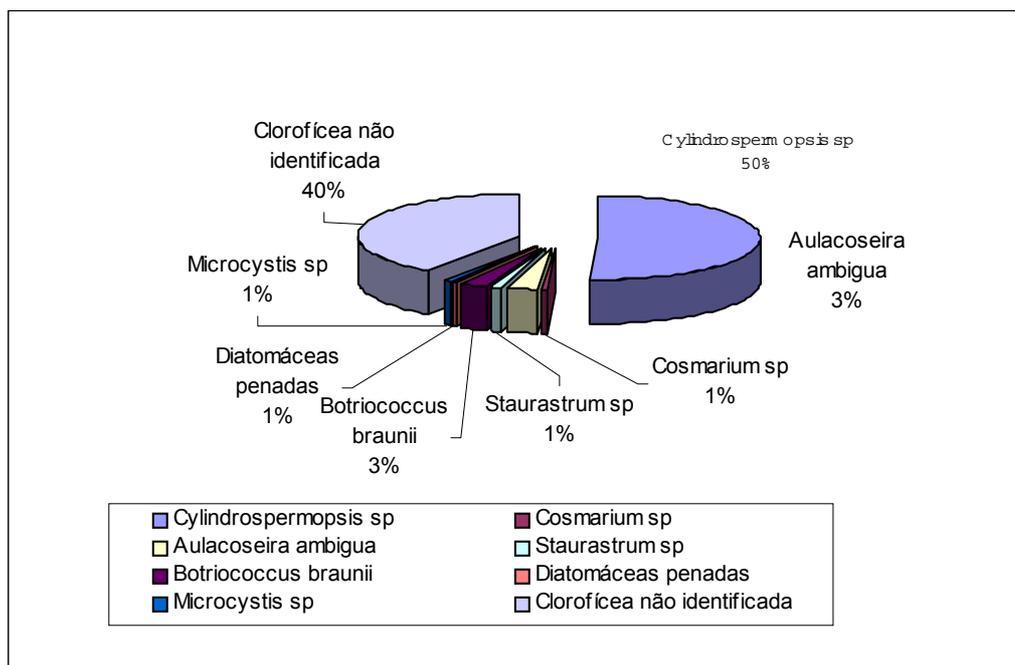


Figura 06 – Percentual de espécies de algas encontradas na água bruta da Lagoa do Peri. (Ver Tabela 09)

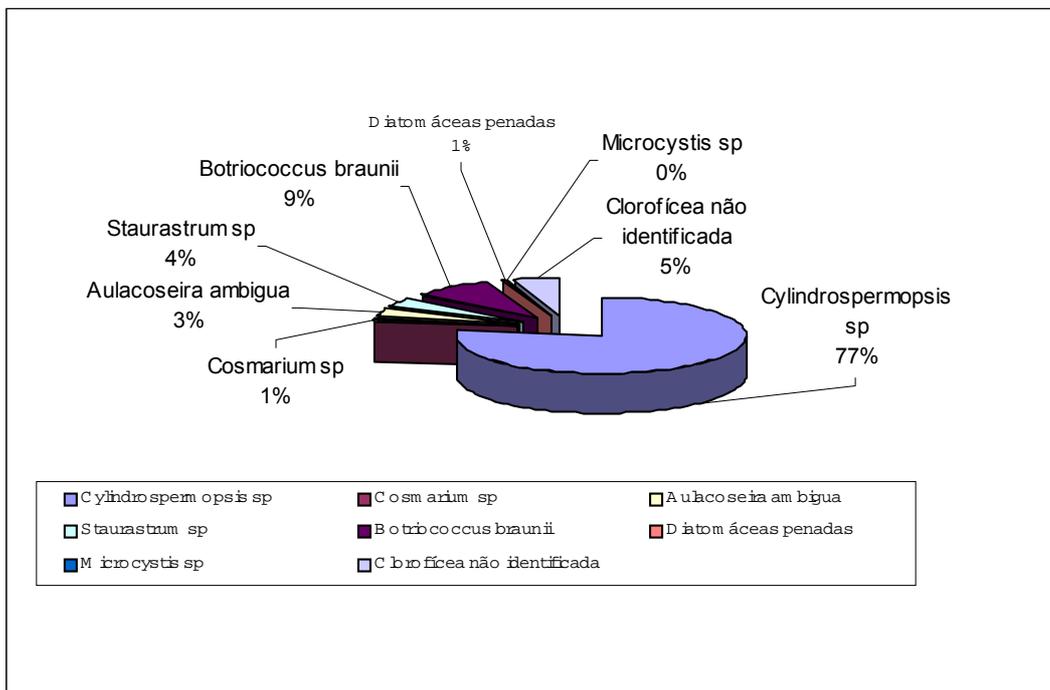


Figura 07 – Percentual de espécies de algas encontradas no filtro AMIAD SAF 3000 após 15 minutos de operação, com peneira de 50 µm . (Ver Tabela 09)

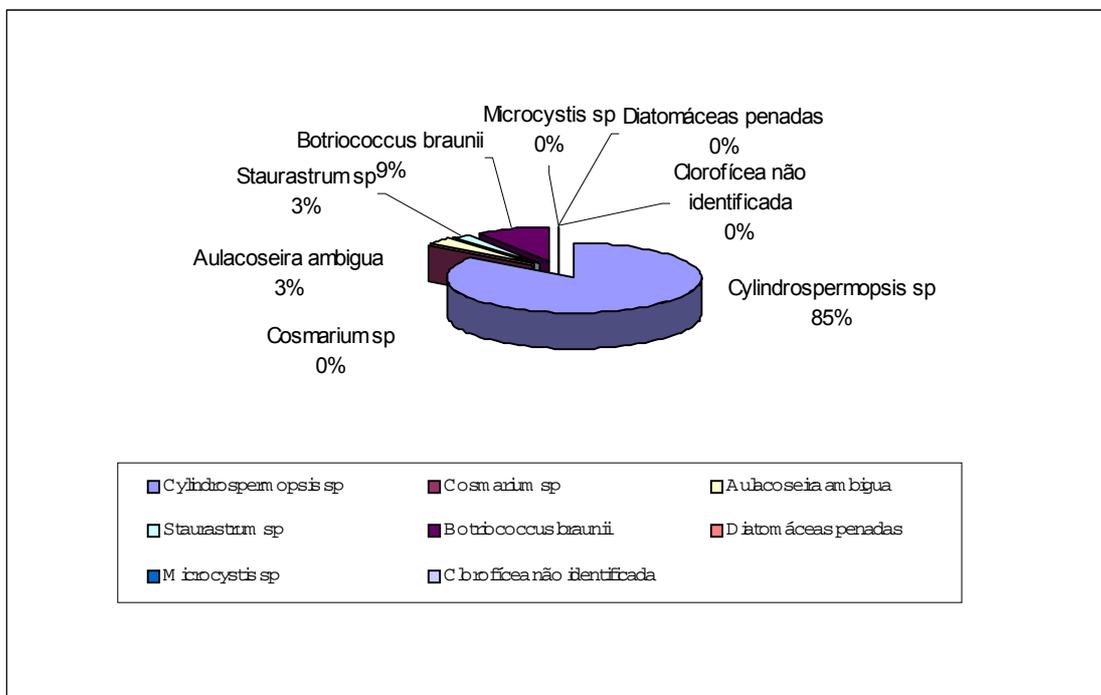


Figura 08 – Percentual de espécies de algas encontradas no filtro AMIAD SAF 3000 após 30 minutos de operação, com peneira de 50 µm . (Ver Tabela 09)

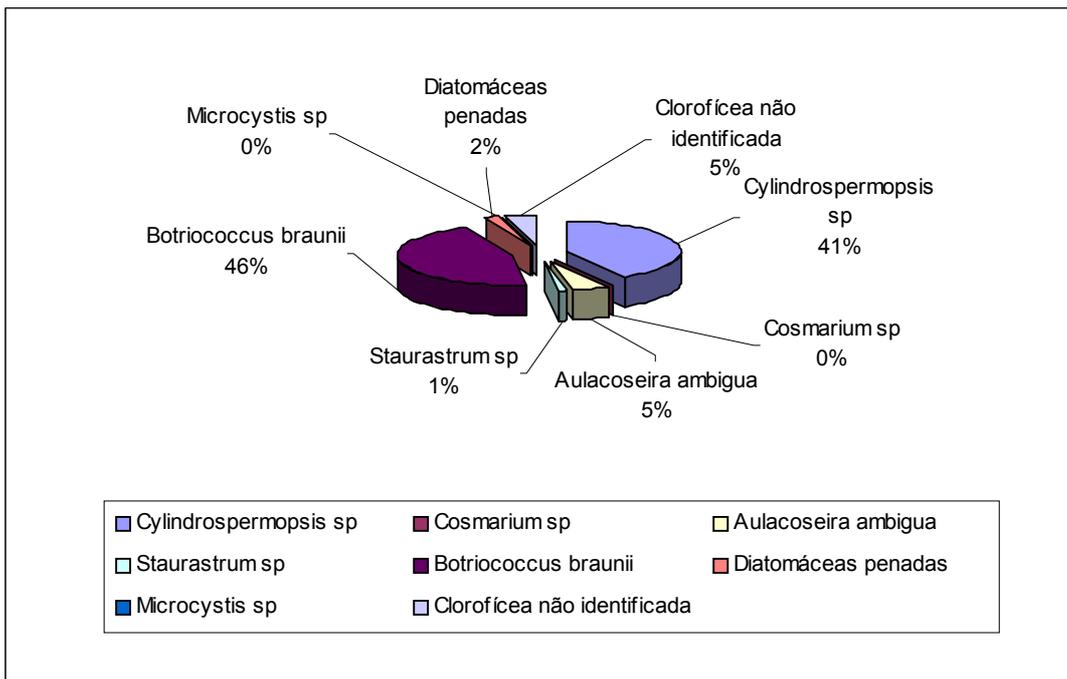


Figura 09 – Percentual de espécies de algas encontradas na água de retrolavagem do filtro AMIAD SAF 3000 com peneira de 50 µm. (Ver Tabela 09)

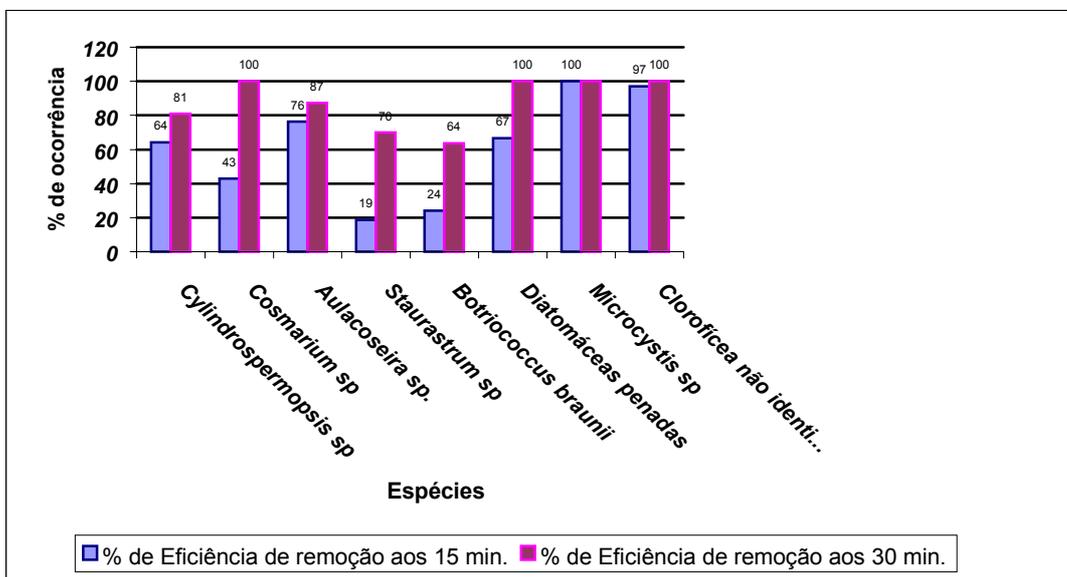


Figura 10 – Percentual de eficiência de remoção de espécies de algas encontradas na água da saída do filtro AMIAD SAF 3000 com peneira de 50 µm. (Ver Tabela 10)

ANEXO 02. RESULTADOS DOS ENSAIOS REALIZADOS NO FILTRO 2” T-S COM PENEIRAS DE 25 E 50 μm , SEGUIDO DO PILOTO DE FILTRAÇÃO DIRETA DESCENDENTE (SISTEMA 02)

Tabela 11 – Resultados do teste com equipamento CLOGGIN POTENCIAL METTER para verificar o tempo máximo de operação do equipamento 2” T-S para um perda de pressão máxima de 3 Kg/cm²

Peneiras	Tempo (horas)	
	Vazão 60 (L/h)	Vazão 600 (L/h)
10 (μm)	1,08	0,45
25 (μm)	15,55	2,1
50 (μm)	53,3	7,2

Tabela 12 – Perda de carga do filtro 2” T-S, com peneira de 25 e 50 μm , e no piloto de filtração direta descendente.

Horas	Perda de Carga (cm)		
	S/ Peneira	Peneira 25	Peneira 50
0	33,6	32,5	35,0
1	37,0	34,6	41,1
2	41,0	37,6	47,0
3	47,1	43,1	52,5
4	52,7	51,5	63,9
5	60,3	56,5	73,8
6	68,9	65,1	88,1
7	77,8	74,5	102,0
8	92,6	81,6	111,2
9	103,7	90,1	132,1
10	105,5	99,3	142,7
11	116,5	109,0	152,1
12	130,3	116,9	169,4
13	137,4	126,0	171,1
14	150,1	136,6	179,8
15	159,5	144,7	187,2
16	167,1	160,4	191,9
17	177,2		195,9
18			196,5
19			200,0

Tabela 13 – Percentual de eficiência na remoção de cor do filtro 2” T-S, com peneira de 25 e 50 μm , e no piloto de filtração direta descendente.

Horas	Eficiência de Remoção de Cor (%)		
	FDD SEM PENEIRA	FDD + PENEIRA DE 25 μm	FDD + PENEIRA DE 50 μm
0	67	61	68
1	77	70	81
2	70	69	83
3	81	68	80
4	76	68	79
5	79	66	85
6	80	63	85
7	81	70	84
8	85	69	82
9	83	71	93
10	91	74	87
11	90	80	87
12	91	78	90
13	92	79	100
14	90	76	100
15	91	84	
16	93	100	

Tabela 14 – Percentual de eficiência na remoção de turbidez do filtro 2” T-S, com peneira de 25 e 50 µm, e no piloto de filtração direta descendente.

Horas	Eficiência de Remoção de Turbidez (%)		
	FDD SEM PENEIRA	FDD + PENEIRA DE 25 µm	FDD + PENEIRA DE 50 µm
		56	53
0	67	69	80
1	63	77	83
2	71	78	77
3	67	72	77
4	76	77	82
5	74	68	85
6	74	77	80
7	78	73	80
8	80	76	83
9		81	87
10		77	86
11		78	88
12		85	89
13		77	89
14		75	
15		62	

Tabela 15 – Quantidade de espécies de algas encontradas na água da saída do piloto de filtração direta descendente e percentual de remoção.

Espécies de Algas	Água Bruta (ind.ml ⁻¹)	FDD (ind.ml ⁻¹)	Remoção (%)
<i>Aulacoseira ambigua</i>	625	500	20
<i>Cylindrospermopsi rarciborsk</i>	47.875	24.875	48
<i>Chorella homosphaera</i>	3.250	0	100
<i>Pseudoanabaena sp</i>	79.250	35.125	56
<i>Staurastrum tetracerum</i>	1.000	0	100
<i>Fitoflagelado</i>	1.125	500	56

Tabela 16 – Quantidade de espécies de algas encontradas na água de saída do filtro 2” T-S, com peneira de 25 µm e no piloto de filtração direta descendente e percentual de remoção.

Espécies de Algas	Água Bruta (ind.ml ⁻¹)	Peneira 25 + FDD (ind.ml ⁻¹)	FDD (ind.ml ⁻¹)	Remoção 25 µm (%)	Remoção FDD (%)
<i>Aulacoseira ambigua</i>	1.325	786	0	41	100
<i>Cylindrospermosi R.</i>	54.406	42.555	25.113	22	54
<i>Chorella homosphaera</i>	2.125	1.036	406	51	81
<i>Monoraphidium irregulare</i>	300	0	0	100	100
<i>Planktolyngbya sp</i>	1.007	464	125	54	88
<i>Pseudoanabaena sp</i>	81.416	53.501	27.316	34	66
<i>Scenedesmus oahuensis</i>	200	0	0	100	100
<i>Staurastrum tetracerum</i>	100	0	0	100	100
<i>Fitoglágelado</i>	6.761	1.279	563	81	92

Tabela 17 – Quantidade de espécies de algas encontradas na água de saída do filtro 2” T-S, com peneira de 50 µm e no piloto de filtração direta descendente e percentual de remoção.

Espécies de Algas	Água Bruta (ind.ml ⁻¹)	Peneira 50 + FDD (ind.ml ⁻¹)	FDD (ind.ml ⁻¹)	Remoção 50 µm (%)	Remoção FDD (%)
<i>Aulacoseira ambigua</i>	1.325	786	0	75	100
<i>Cylindrospermosi R.</i>	54.406	42.555	25.113	19	46
<i>Chorella homosphaera</i>	2.125	1.036	406	0	9
<i>Monoraphidium irregulare</i>	300	0	0	100	100
<i>Planktolyngbya sp</i>	1.007	464	125	100	100
<i>Pseudoanabaena sp</i>	81.416	53.501	27.316	15	69
<i>Scenedesmus oahuensis</i>	200	0	0	100	100
<i>Staurastrum tetracerum</i>	100	0	0	100	100
<i>Fitoglágelado</i>	6.761	1.279	563	79	90

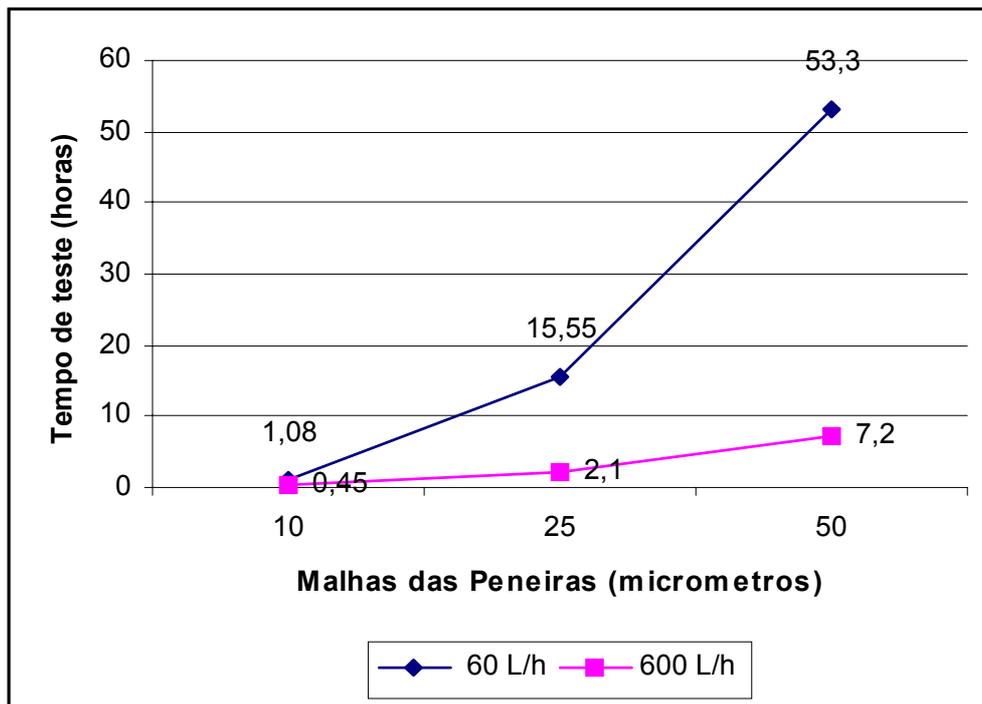


Figura 11 – Tempo máximo de operação do filtro 2” T-S, utilizando peneiras de malhas de 10, 25 e 50 µm para vazões de 60 e 600 L/h, para uma perda de pressão máxima de 3 Kg/cm². (Ver Tabela 11)

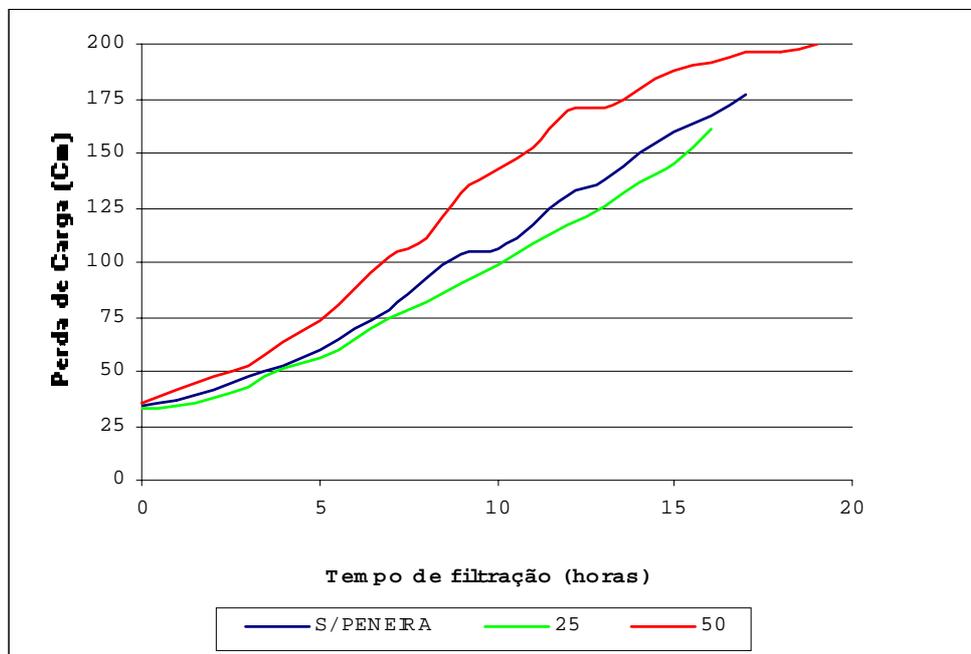


Figura 12 – Perda de Carga do filtro 2” T-S com micropeneira de 25 e 50 µm e no piloto de filtração direta descendente. (Ver Tabela 12)

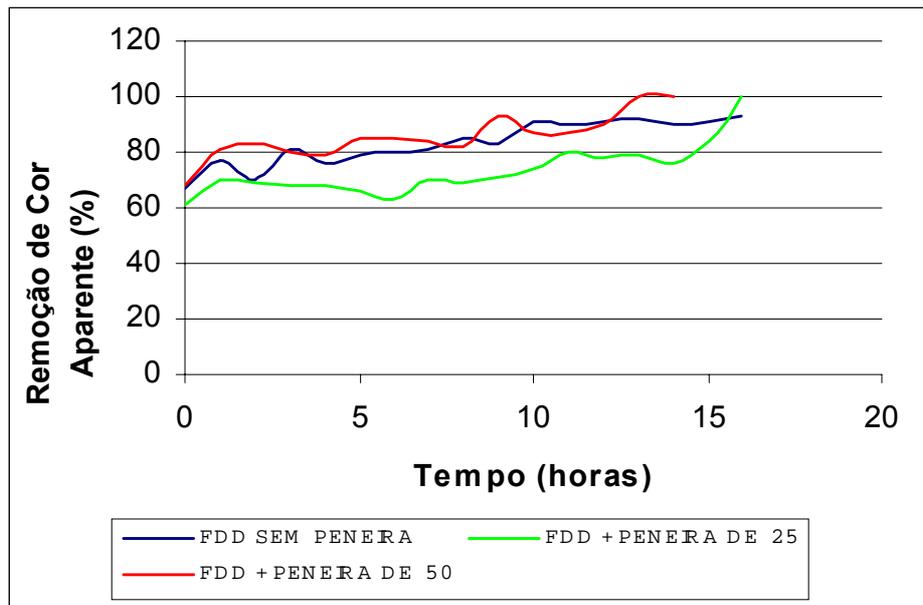


Figura 13 – Percentual de remoção de cor do filtro 2'' T-S, utilizando peneira de malha de 24 e 50 µm, e no piloto de filtração direta descendente. (Ver Tabela 13)

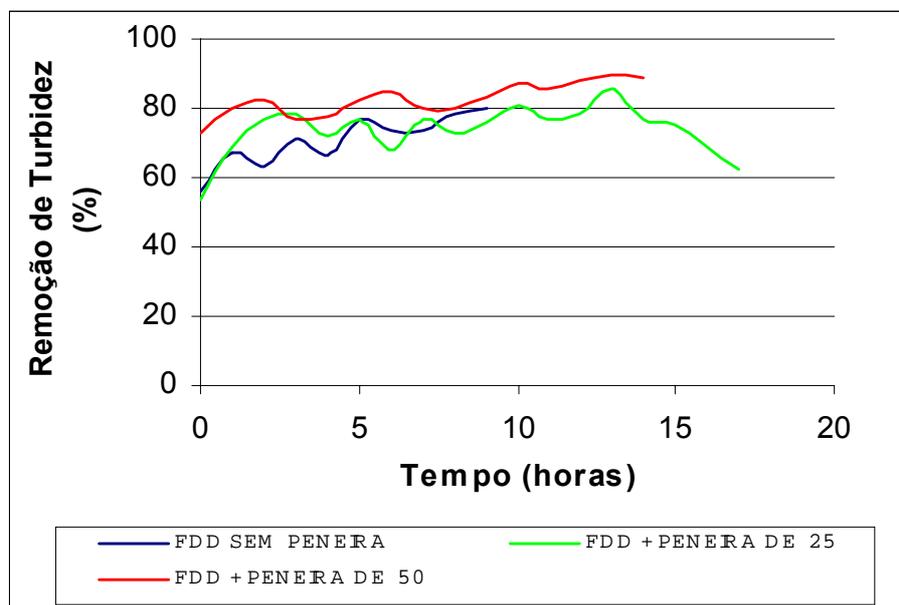


Figura 14 – Percentual de remoção de turbidez do filtro 2'' T-S, utilizando peneira de malha de 24 e 50 µm, e no piloto de filtração direta descendente. (Ver Tabela 14)

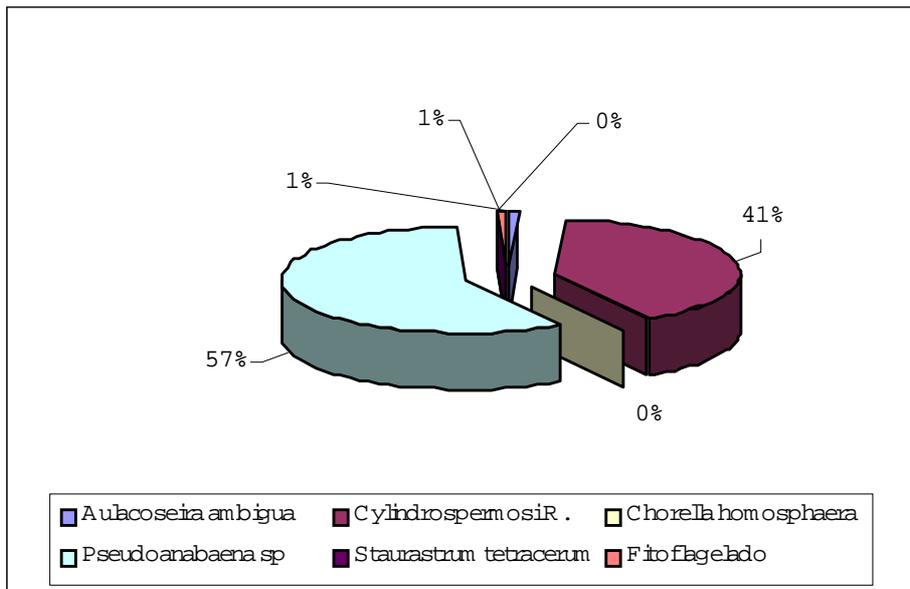


Figura 15 – Percentual de espécies de algas encontradas na água da saída do piloto de filtração direta descendente. (Ver Tabela 15)

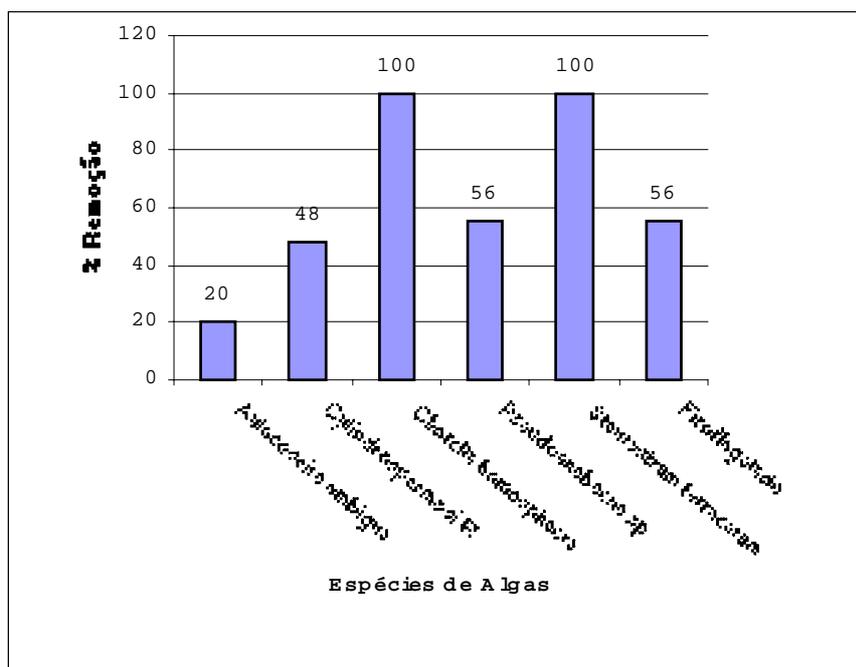


Figura 16 – Percentual remoção de espécies de algas no piloto de filtração direta descendente. (Ver Tabela 15)

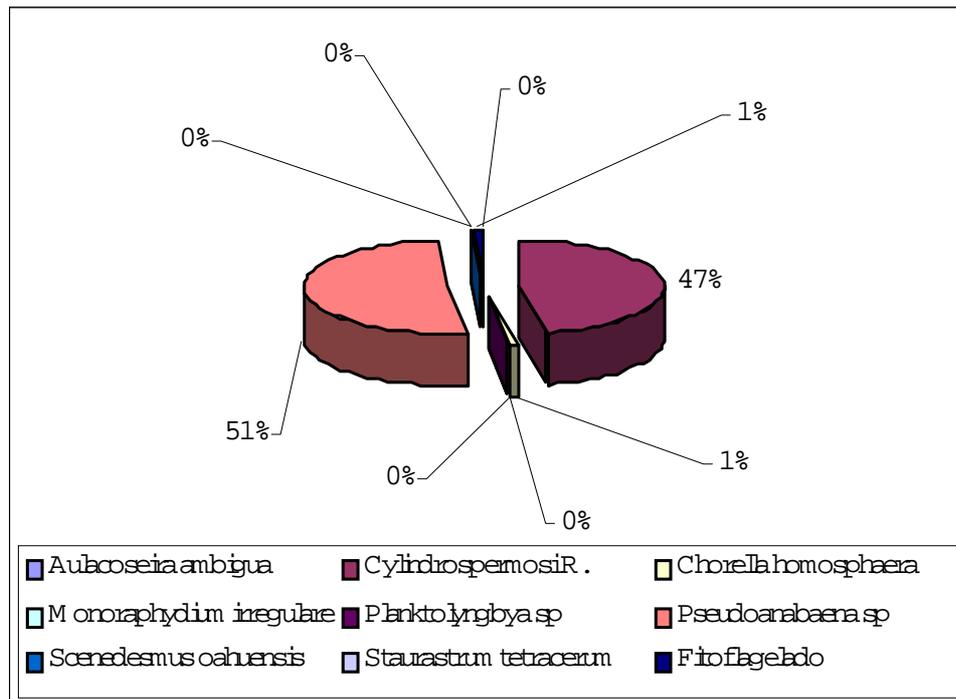


Figura 17 – Percentual de espécies de algas encontradas na água da saída do piloto de filtração direta descendente, após passar pelo filtro 2” T-S com peneira de 25 µm . (Ver Tabela 16)

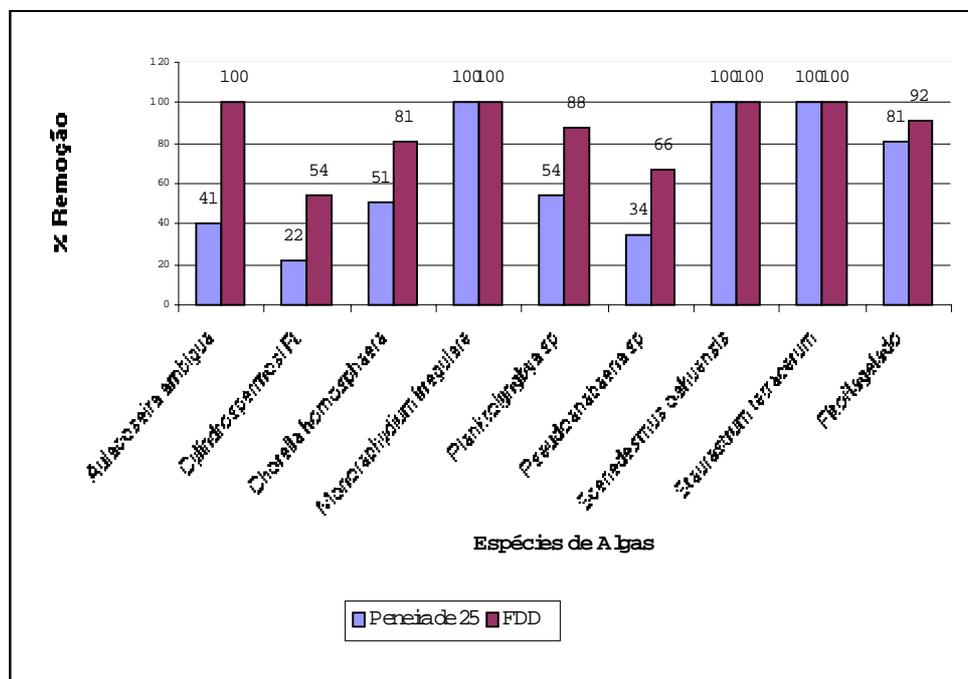


Figura 18 – Percentual de remoção de espécies de algas no filtros 2”T-S com peneira de 25 µm e no piloto de filtração direta descendente . (Ver Tabela 16)

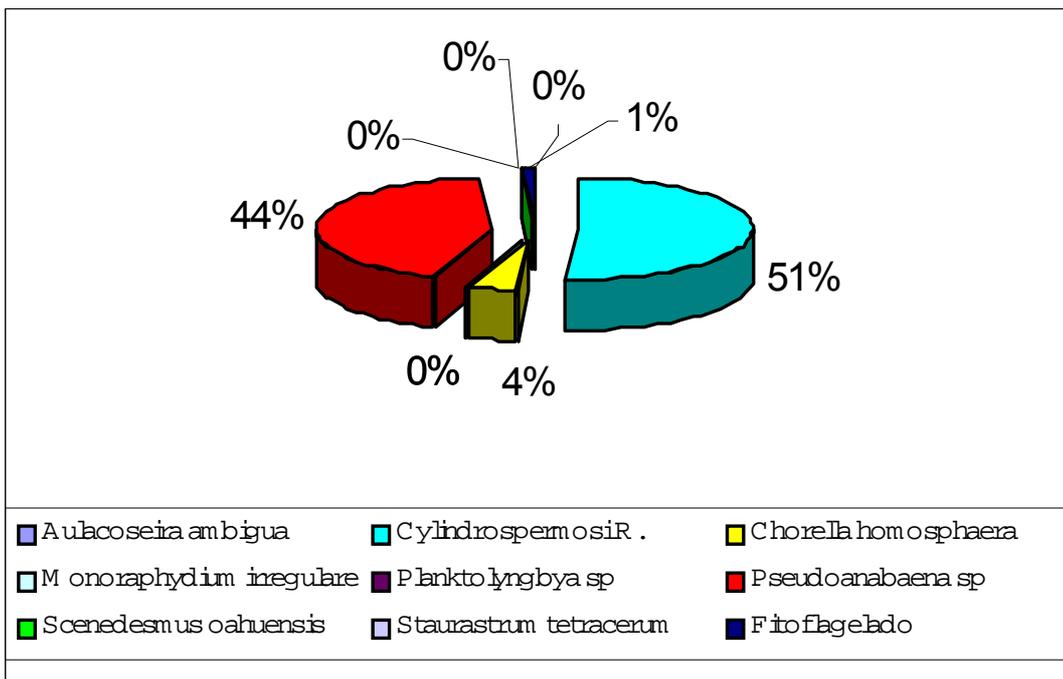


Figura 19 – Percentual de espécies de algas encontradas na água da saída do piloto de filtração direta descendente, após passar pelo filtro 2” T-S com peneira de 50 µm . (Ver Tabela 17)

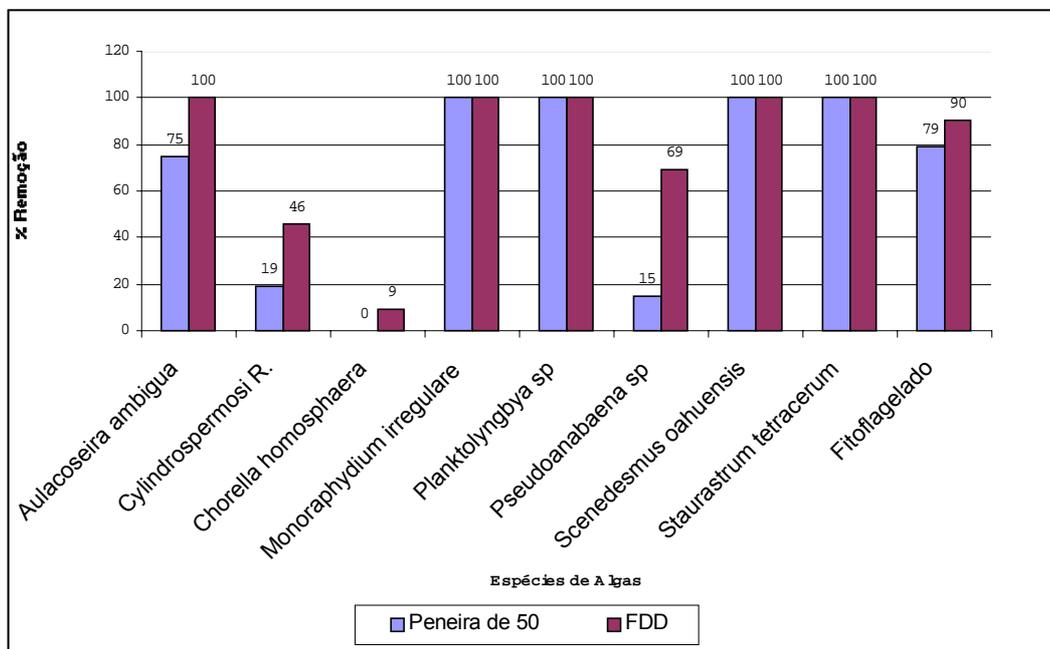


Figura 20 – Percentual de remoção de espécies de algas nos filtros 2”T-S com peneira de 50 µm e no piloto de filtração direta descendente . (Ver Tabela 17)

ANEXO 03. FOTOS DE ALGAS DA ÁGUA BRUTA DA LAGOA DO PERI**Análise Microscópica**

Amostra 1 – Água Bruta da Lagoa do Peri (*Aulacoseira*; *Pseudoanabaena*)



Da esquerda pra direita: aumento: 100x, 400x e 400x.



Todas em aumento de 1000x.



Todas em aumento de 1000x.

Foto: Alessandra Pelizarro Bento