

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

VICTOR HUGO JANGADA

REMOÇÃO DE *Cryptosporidium* spp. NO TRATAMENTO DE
ÁGUAS POR FILTRAÇÃO EM MARGEM: SIMULAÇÃO COM
COLUNAS DE SEDIMENTO E MICROESFERAS DE
POLIESTIRENO

Florianópolis
2014

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Jangada, Victor Hugo
REMOÇÃO DE *Cryptosporidium* spp. NO TRATAMENTO DE ÁGUAS
POR FILTRAÇÃO EM MARGEM: SIMULAÇÃO COM COLUNAS DE
SEDIMENTO E MICROESFERAS DE POLIESTIRENO / Victor Hugo
Jangada ; orientador, Mauricio Luiz Sens - Florianópolis,
SC, 2014.
105 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Ambiental.

Inclui referências

1. Engenharia Ambiental. 2. Tratamento de água. 3.
Filtração em margem. 4. Microesferas de poliestireno. 5.
Cryptosporidium spp. I. Sens, Mauricio Luiz. II.
Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-
Graduação em Engenharia Ambiental. III. Título.

VICTOR HUGO JANGADA

REMOÇÃO DE *Cryptosporidium* spp. NO TRATAMENTO DE
ÁGUAS POR FILTRAÇÃO EM MARGEM: SIMULAÇÃO COM
COLUNAS DE SEDIMENTO E MICROESFERAS DE
POLIESTIRENO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina, como requisito parcial para a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Maurício Luiz Sens

Florianópolis
2014

“Bran thought about it. 'Can a man still be brave if he's afraid?' 'That is the only time a man can be brave,' his father told him.”

(George R. R. Martin, 1996)

RESUMO

Com a crescente preocupação a respeito da poluição hídrica e as possíveis doenças que possam ser causadas através da contaminação com protozoários, surge a filtração em margem como uma das possíveis soluções para o problema, já que pode remover através de filtração os organismos que são resistentes a desinfecção química e algumas vezes podem acabar atingindo as redes de distribuição. Sendo assim, este trabalho objetivou avaliar a eficiência da filtração em margem em colunas de sedimento para remoção de *Cryptosporidium spp.* através do uso microesferas de poliestireno para simulação deste protozoário. Para consecução desta pesquisa, foi realizado um estudo contendo 5 colunas filtrantes a fim de simular os primeiros metros da filtração em margem, onde foram aplicadas as microesferas simuladoras do protozoário *Cryptosporidium spp.* Previamente a aplicação das microesferas, procurou-se identificar a quantidade de tempo necessária para que o sistema piloto fosse considerado aclimatado. O controle da qualidade da água produzida pela filtração em margem foi realizado através do monitoramento dos seguintes os parâmetros: carbono orgânico total, coliformes totais, condutividade, cor aparente, cor verdadeira, *E. Coli*, oxigênio dissolvido, pH, sólidos dissolvidos totais, temperatura e turbidez. A análise das microesferas de poliestireno foi realizada em microscópio de fluorescência. Com base nos resultados obtidos, considera-se aclimatado o sistema piloto após 45 dias de operação, pois nessa altura já é possível alcançar resultados suficientemente bons para se enquadrarem na Portaria nº 2914/2011. Foi também possível concluir que a filtração em margem mostrou-se efetiva na remoção de microesferas de poliestireno a partir de 3 m de leito filtrante. No que diz respeito a turbidez como indicador da presença de *Cryptosporidium spp.*, considera-se que este não corresponde a um indicador confiável, pois houve a presença das microesferas de poliestireno até mesmo quando a turbidez alcançava valores menores que 0,5 uT, como recomenda a legislação brasileira.

Palavras-Chave: Tratamento de água. Filtração em margem. Microesferas de poliestireno. *Cryptosporidium spp.*

ABSTRACT

With the increasing concern about water pollution and possible diseases that may be caused by contamination with protozoa, rises the bank filtration as a possible solution to the problem, since it can remove by filtration, organisms that are resistant to chemical disinfection and can sometimes end up reaching the distribution networks. Thus, this study aimed to evaluate the efficiency of bank filtration by sediment columns for the removal of *Cryptosporidium spp.* through the use of microspheres for simulation of this protozoan. To achieve this research, was performed a study containing 5 filter columns to simulate the first few meters of bank filtration, where the microspheres simulating the protozoan *Cryptosporidium spp.* was applied. Previously the application of microspheres, sought to identify the amount of time required for the pilot system to be considered acclimated. The control of the water quality produced by bank filtration was performed by monitoring the following parameters: total organic carbon, total coliform, conductivity, apparent color, true color, *E. Coli*, dissolved oxygen, pH, total solids dissolved, temperature and turbidity. The analysis of polystyrene microspheres was performed with a fluorescence microscope. Based on the results obtained, it is considered acclimated the pilot system after 45 days of operation, because then it is possible to achieve results good enough to fit the Brazilian legislation. It was also concluded that the bank filtration proved to be effective in the removal of polystyrene microspheres from 3 m filter bed. Regarding the turbidity as an indication of the presence of *Cryptosporidium spp.*, it is considered that this does not correspond to a reliable indicator because there was the presence of polystyrene microspheres even when the turbidity reached values lower than 0,5 NTU, as recommended in Brazilian legislation.

Keywords: Water treatment. Bank filtration. Polystyrene microspheres. *Cryptosporidium spp.*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Esquema ilustrativo de um sistema de filtração em margem.....	39
Figura 2. Processos de remoção que influenciam na qualidade da água durante a filtração em margem.	43
Figura 3. Eficiências de remoção para resíduos de pesticidas por recarga artificial de águas subterrâneas.....	46
Figura 4. Lagoa do Peri situada na Ilha de Santa Catarina.....	56
Figura 5. Coluna filtrante utilizada no experimento.	58
Figura 6. Sistema piloto completo.....	60
Figura 7. Acompanhamento diário da turbidez no sistema piloto.	67
Figura 8. Evolução do parâmetro cor aparente no sistema piloto.	68
Figura 9. Resultados para o parâmetro COT no período de aclimação.	69
Figura 10. Box plot de múltiplas variáveis na avaliação de COT.	72
Figura 11. Box plot de múltiplas variáveis para avaliação da turbidez.....	73
Figura 12. Box plot de múltiplas variáveis para o parâmetro cor aparente.	74
Figura 13. Box plot de múltiplas variáveis na avaliação da cor verdadeira.....	75
Figura 14. Box plot de múltiplas variáveis do parâmetro condutividade.	77

Figura 15. Box plot de múltiplas variáveis para sólidos dissolvidos totais. 77

Figura 16. Box plot de múltiplas variáveis na análise de coliformes totais. 78

Figura 17. Box plot de múltiplas variáveis para coliformes fecais (*E.coli*). 79

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Espécies de <i>Cryptosporidium</i> associados a seus principais hospedeiros.....	28
Quadro 2. Ocorrências de oocistos de <i>Cryptosporidium</i>	31
Quadro 3. Padrão de turbidez para água pós-filtração ou pré-desinfecção	34
Quadro 4. Propriedades da bomba dosadora.....	59
Quadro 5. Parâmetros, frequências e equipamentos durante o período de aclimação.....	62

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Remoção de Metais Pesados por filtração em margem no Rio Reno, Alemanha.	44
Tabela 2. Eficiência de remoção para micropoluentes orgânicos e parâmetros de qualidade da água no Rio Reno.	47
Tabela 3. Remoção de contaminantes biológicos por filtração em margem de lago de piscicultura, Ituporanga - SC.	50
Tabela 4. Parâmetros de projeto utilizado nas colunas filtrantes.	61
Tabela 5. Parâmetros, métodos analíticos e equipamentos utilizados.	65
Tabela 6. Média e desvio padrão de parâmetros monitorados durante o período de aclimação.	70
Tabela 7. Dados de temperatura, OD e pH na pós-aclimação do sistema piloto.	80
Tabela 8. Primeira passagem das microesferas no sistema piloto.	82
Tabela 9. Segunda passagem das microesferas no sistema piloto.	83
Tabela 10. Terceira passagem das microesferas no sistema piloto.	84
Tabela 11. Quarta passagem das microesferas no sistema piloto.	85
Tabela 12. Quinta passagem das microesferas no sistema piloto.	86
Tabela 13. Quantidade de amostragens e presença das microesferas.	88

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- AOS - Enxofre orgânico adsorvível
- AOX - Organo-halogenados adsorvíveis
- BPA - Bisfenol A
- CASAN - Companhia Catarinense de Águas e Saneamento
- COD - Carbono orgânico dissolvido
- COT - Carbono orgânico total
- EDTA - Ácido etilenodiamino tetracético
- HAAs - Ácidos haloacéticos
- LALP - Laboratório de Águas da Lagoa do Peri
- LAPOÁ – Laboratório de Potabilização de Águas
- MON - Matéria orgânica natural
- MTBE - Éter metil terc-butílico
- NTA - Ácido nitrilotriacético
- PFTAMs - Precursores de formação trialometanos
- RPM – Rotações por minuto
- SDT - Sólidos Dissolvidos Totais
- TCA - Ácido tricloroacético
- TAMs - Trialometanos
- TNBP - Tri-(N-butil)-fosfato
- USEPA - Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos
- UV-254 nm - Coeficiente de absorção espectral em 254 nm

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA	23
2. OBJETIVOS	26
2.1. OBJETIVO GERAL	26
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	26
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	27
3.1 <i>CRYPTOSPORIDIUM</i> E SAÚDE PÚBLICA	27
3.1.1. Principais surtos e ocorrências de oocistos de <i>Cryptosporidium</i>	30
3.1.2. Correlação entre turbidez e oocistos de <i>Cryptosporidium</i>	33
3.1.3. Microesferas de poliestireno na simulação de oocistos de <i>Cryptosporidium spp.</i>	35
3.2. TRATAMENTO DE ÁGUA POR FILTRAÇÃO EM MARGEM	37
3.2.1. A técnica de filtração em margem	38
3.2.2. Histórico	39
3.2.3. Benefícios e Limitações	41
3.3. MECANISMOS DE REMOÇÃO PRESENTES NA FILTRAÇÃO EM MARGEM.....	42
3.3.1. Remoção de contaminantes inorgânicos.....	43
3.3.2. Remoção de contaminantes orgânicos	45
3.3.3. Remoção de contaminantes biológicos	49
3.3.3.1. Remoção do protozoário <i>Cryptosporidium spp.</i>	51
3.3.4. Remoção de turbidez	54
4. MATERIAIS E MÉTODOS	55
4.1. ÁGUA DE ESTUDO	55
4.2 ENSAIOS PRELIMINARES	57

4.3. SISTEMA EXPERIMENTAL	58
4.3.1. Sistema piloto.....	58
4.3.2. Parâmetros de projeto	61
4.3.3. Operação do sistema piloto	62
4.3.3.1. Aclimação do sistema piloto	62
4.4. APLICAÇÃO DE MICROESFERAS NAS COLUNAS DE SEDIMENTO	63
4.4.1. Coleta e análise de microesferas nas águas filtradas.....	63
4.5. MONITORAMENTO DA EFICIÊNCIA DE TRATAMENTO DO SISTEMA PILOTO:	64
4.5.1- Análises físico-químicas:	64
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	66
5.1. Aclimação do sistema piloto	66
5.2. QUALIDADE DA ÁGUA PRODUZIDA PELO SISTEMA PILOTO APÓS O PERÍODO DE ACLIMATAÇÃO	71
5.2.1. Carbono orgânico total e turbidez.....	71
5.2.2. Cor verdadeira e cor aparente.....	73
5.2.3. Condutividade e sólidos dissolvidos totais	76
5.2.4. Coliformes totais e fecais (<i>E. Coli</i>).....	78
5.2.5. Oxigênio dissolvido, pH e temperatura.....	80
5.3. REMOÇÃO DE MICROESFERAS ATRAVÉS DA FILTRAÇÃO EM MARGEM	81
5.4. TURBIDEZ COMO INDICADOR DA PRESENÇA DE <i>CRYPTOSPORIDIUM SPP</i>	89
6. CONCLUSÕES	91
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	93
APÊNDICE A. Ensaio granulométrico.	104
APÊNDICE B. Ensaio de diluição.	105

1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

As grandes deficiências observadas no setor de saneamento básico possuem implicações diretamente refletidas na saúde pública da população brasileira, estas implicações são agravadas ainda mais quando o elevado crescimento populacional e a industrialização desenfreada dos grandes centros urbanos estão presentes. Estes atuais problemas urbanos podem vir a causar a deterioração dos recursos hídricos, aumentando o risco de doenças que possam ser originadas através de veiculação hídrica.

Dentre as várias doenças que possuem origem relacionada com a água, algumas vêm ganhando maior destaque da parte dos pesquisadores nos últimos anos, como é o caso da Criptosporidiose, uma infecção causada no trato intestinal de seres humanos e animais através do protozoário *Cryptosporidium spp.* Este protozoário é comumente encontrado no ambiente na forma de oocisto, a qual possui forma esférica e apresenta proteção através de uma grossa parede que lhes garante maior resistência contra as rigorosas perturbações externas, incluindo até mesmo a resistência contra a desinfecção química por cloro, justificando assim, o maior interesse dos pesquisadores (NASCIMENTO, 2009).

A situação emergente deste microrganismo não se atribui ao fato de ser recém-descoberto, mas sim ao fato de que há recentes surtos da doença ocorrendo em outros países.

A principal forma de contaminação por *Cryptosporidium spp.* se dá através da água, podendo ocorrer através de águas superficiais não tratadas, por contaminação na rede distribuidora ou por insuficiência qualitativa do tratamento aplicado. Como este protozoário é capaz de sobreviver a estresses ambientais, é resistente a desinfecção por cloro, e seu tamanho é pequeno o suficiente para facilitar a passagem através dos tratamentos físicos da água, deve-se aplicar uma forma de tratamento que não envolva apenas uma tecnologia, mas sim mais de uma, sendo que quanto mais unidades de tratamento forem aplicadas, maior será a chance de remoção do organismo patogênico desde a captação no manancial até o ponto de uso final da água (NASCIMENTO, 2009).

A antiga Portaria Nº 518 do Ministério da Saúde do Brasil tomou as primeiras providências sobre o assunto e recomendou a realização de pesquisas na área e propôs atingir como meta o padrão de ausência destes organismos patogênicos na água potável, associando sua eficiência de remoção à obtenção de efluentes filtrados com valores de turbidez menores que 0,5 uT, pois, acredita-se que partir do bom desempenho da etapa de filtração na remoção de partículas suspensas ocorra também a remoção deste protozoário (BRASIL, 2004).

Em vista disso, com o intuito de assegurar a qualidade da água e reduzir ainda mais o risco à saúde, a atual Portaria Nº 2914 do Ministério da Saúde fez as devidas modificações no que se refere ao valor máximo permitido de turbidez. O antigo valor permitido de 1 uT na pré-desinfecção por tratamento convencional, tornou-se mais rigoroso e estabeleceu-se em 0,5 uT para a mesma etapa do tratamento. Houve também redução no valor máximo permitido para filtração lenta e para águas subterrâneas, ocorrendo a mudança de 2 uT para 1 uT (BRASIL, 2011).

Apesar das mudanças ocorridas na Portaria Nº 2914, ainda é necessário realizar uma melhor avaliação da correlação existente entre a remoção do parâmetro físico turbidez e a remoção do protozoário *Cryptosporidium spp.*, a fim de garantir que a turbidez seja um indicador físico confiável na remoção deste microrganismo, e que as mudanças propostas pela nova portaria possuam razão científica para ser implementada.

Neste contexto, apesar das tecnologias na área de desinfecção alcançarem alguma remoção de *Cryptosporidium*, é necessária uma maior garantia na inativação desses organismos devido aos possíveis danos que possam ser causados através de sua contaminação. As tecnologias físico-químicas tradicionais continuam sendo usadas para a remoção destes patógenos, porém, devem ser usadas também as tecnologias não convencionais de tratamento de água, pois assim abre-se o leque de opções para os tomadores de decisão, opções que muitas vezes podem conter escolhas de menores custos de implantação e operação.

Dentre as possíveis tecnologias não convencionais que possam atender aos novos padrões de qualidade da água, surge a filtração em margem como opção a este problema. Esta técnica de tratamento de água já vem sendo utilizada a mais de um

século na Europa, e tem provado através de diversos estudos a sua capacidade de remoção de contaminantes orgânicos, inorgânicos e biológicos.

Nessa técnica, utiliza-se o próprio sedimento do leito e da margem de rio ou lago como material filtrante por onde a água do manancial será infiltrada, sendo retirada por um poço de captação instalada a alguns metros de distância da margem. Durante o tempo em que a água encontra-se no percurso de infiltração, ocorrem de forma simultânea os processos químicos, físicos e biológicos responsáveis pela remoção de contaminantes presentes no corpo d'água (ARANHA, 2010).

Com o emprego da filtração em margem, é possível apontar algumas vantagens deste tipo de tecnologia, tais como: o relativo baixo custo de implantação e operação, a possibilidade de usar esta técnica como uma forma de pré-tratamento de água, beneficiando as etapas posteriores com o aumento qualitativo da água produzida, a diminuição do consumo de produtos químicos na coagulação e na desinfecção, aproveitando as ações naturais de purificação das águas (CAMPOS, 2012; SENS *et al.*, 2006).

Visando alcançar uma melhor qualidade da água destinada ao consumo humano, diminuir os riscos de contaminação, e melhorar a saúde pública, este trabalho estudará a aplicação da tecnologia de filtração em margem para remoção de microesferas de poliestireno, usadas para simular o protozoário *Cryptosporidium spp.*

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Avaliar a eficiência da filtração em margem em colunas de sedimento para remoção de *Cryptosporidium spp.* através do uso microesferas de poliestireno para simulação deste protozoário.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para desenvolver o estudo de filtração em margem, o presente trabalho teve como objetivos específicos:

- Avaliar um sistema piloto de filtração em margem visando identificar o período de tempo necessário para que o sistema esteja aclimatado.
- Avaliar através dos padrões da legislação brasileira a qualidade da água produzida pela filtração em margem.
- Avaliar a eficiência da remoção de microesferas simuladoras de *Cryptosporidium spp.* em função da distância percorrida pela água no sedimento.
- Avaliar a existência de correlação entre o parâmetro turbidez com a presença de microesferas de poliestireno simuladoras de *Cryptosporidium spp.*

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 *CRYPTOSPORIDIUM* E SAÚDE PÚBLICA

Nas últimas duas décadas, um dos microrganismos que vem se destacando devido ao grande interesse de estudo é o protozoário *Cryptosporidium*, o qual é responsável por ser o causador de uma doença parasitária chamada criptosporidiose, considerada desde o ano de 2004 pela Organização Mundial da Saúde (OMS) como uma doença emergente (SAVIOLI *et al.*, 2006). O termo doença emergente, segundo Rebouças (2010), diz respeito à doença em que se observa um relevante acréscimo no número de ocorrências em seres humanos com relação aos últimos vinte anos. São doenças que podem se espalhar rapidamente em uma determinada área, ocasionando graves problemas de saúde pública.

O microrganismo *Cryptosporidium* é um protozoário pertencente ao filo Apicomplexa, sendo um coccídeo da família Cryptosporidiidae. Atualmente são conhecidas 21 espécies para o gênero *Cryptosporidium*, que apresenta uma diversidade de 40 genótipos entre suas espécies (PEREIRA, 2009). O Quadro 1 apresenta espécies conhecidas deste protozoário e seus principais hospedeiros, já que devido a grande variedade observada nesse parasita, diversos tipos de animais encontram-se como alvo para se tornar portador da doença, a infecção pode atingir animais mamíferos, aves, répteis, peixes e anfíbios.

Das espécies que constituem o Quadro 1, sete foram encontradas parasitando seres humanos (*C. canis*, *C. felis*, *C. hominis*, *C. meleagridis*, *C. muris*, *C. parvum* e *C. suis*). Dentre estas, as espécies que são responsáveis pela maioria das ocorrências em relação à infecção humana são o *C. hominis* e *C. parvum*, sendo que suas prevalências podem variar ao redor do mundo (XIAO & FAYER, 2008).

Quadro 1. Espécies de *Cryptosporidium* associados a seus principais hospedeiros.

Espécie de <i>Cryptosporidium</i>	Principal hospedeiro
<i>C. andersoni</i>	Bovinos e camelos
<i>C. baileyi</i>	Aves
<i>C. bovis</i>	Bovinos
<i>C. canis</i>	Cães
<i>C. fayeri</i>	Canguru vermelho
<i>C. fragile</i>	Anfíbios
<i>C. felis</i>	Gatos
<i>C. galli</i>	Aves
<i>C. hominis</i>	Humanos e macacos
<i>C. macropodum</i>	Canguru cinza
<i>C. meleagridis</i>	Humanos e Perus
<i>C. molnari</i>	Peixes
<i>C. muris</i>	Roedores
<i>C. parvum</i>	Humanos e animais ruminantes
<i>C. ryanae</i>	Bovinos
<i>C. scophthalmi</i>	Peixes
<i>C. serpentis</i>	Serpentes e lagartos
<i>C. suis</i>	Suínos
<i>C. varanii</i>	Lagartos
<i>C. xiaoi</i>	Ovinos
<i>C. wrairi</i>	Porquinho-da-Índia
Fonte: Pereira (2009); Funada (2009); Fagnani (2010); Greca (2010).	

A infecção de *Cryptosporidium spp.* em seres humanos vem sendo evidenciada mundialmente tanto em populações urbanas quanto em populações rurais, em países desenvolvidos e em desenvolvimento, ao longo de todos os continentes, representando uma ameaça a saúde populacional (MEINHARDT, CASEMORE & MILLER, 1996).

Facilmente pode-se deduzir que os níveis de ocorrência de *Cryptosporidium spp.* nos países em desenvolvimento são maiores do que os observados nos países desenvolvidos. O'Donoghue (1995) justifica este fato através da ausência de saneamento nestes países, da quantidade de fontes de águas

contaminadas, superpopulação crescente e do maior contato com animais infectados.

Cabe ressaltar que a criptosporidiose é reconhecida como uma zoonose, que segundo a definição proposta pela Organização Mundial de Saúde corresponde a: “doença ou infecção naturalmente transmissível entre animais vertebrados e seres humanos”. Vale destacar também que dentre as principais fontes de contaminação hídrica pelo protozoário *Cryptosporidium spp.*, estão presentes os despejos de esgoto sanitário e os dejetos/efluentes de agropecuárias. Devido a isso, é de se esperar que a ocorrência de *Cryptosporidium spp.* em águas superficiais seja maior em zonas rurais, onde apresenta contaminação acentuada de dejetos humanos e animais (HELLER *et al.*, 2004; WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2008).

A transmissão de *Cryptosporidium spp.* acontece através da propagação fecal-oral de oocistos desse protozoário. Pode ocorrer por meio de contato direto com pessoas ou animais infectados, ou de forma indireta através da ingestão de alimentos e/ou água contaminada (O'DONOGHUE, 1995).

Greca (2010) diz que os alimentos vegetais podem servir como fonte de contaminação quando:

- São cultivados com adubo a base de fezes animais ou humanas;
- Possuem sistema de irrigação abastecido com água já contaminada;
- São manipulados de forma inadequada por agricultores e/ou cozinheiros;
- São embalados, estocados, vendidos ou preparados em superfície contaminada;

3.1.1. Principais surtos e ocorrências de oocistos de *Cryptosporidium*

O primeiro surto registrado do protozoário *Cryptosporidium spp.* através de veiculação hídrica ocorreu no ano de 1984, em Braun Station, no estado de Texas, Estados Unidos. Neste primeiro cenário, foram registrados 47 casos da doença após serem confirmados através dos exames de fezes e sorológicos realizados nas pessoas infectadas. Outro surto da doença foi registrado em 1987 no município de Carrollton, Georgia, na qual infectou cerca de 13.000 pessoas dos 64.900 residentes expostos. Neste caso, os oocistos foram detectados em água tratada proveniente da estação de tratamento de água, redes de distribuição e rios localizados a montante da estação (CARDOSO, 2002; FAYER, MORGAN & UPTON, 2000).

Porém, o maior surto já evidenciado de infecção por *Cryptosporidium spp.* foi relatado por MacKenzie (1994), o ocorrido foi no ano de 1993 na cidade norte americana chamada Milwaukee, onde mais de 403.000 pessoas foram afetadas devido ao surto, causando aproximadamente 4.000 hospitalizações e 100 óbitos. Devido a esse e outros casos, o protozoário *Cryptosporidium* ganhou maior atenção e foi adotado como um dos patógenos mais difíceis de controlar.

Os surtos observados da doença criptosporidiose vêm sendo associados a contaminações hídricas por evidenciarem oocistos de *Cryptosporidium spp.* em fontes como águas de poços, águas superficiais tais como córregos, rios e reservatórios, também em efluentes de esgoto tratado e não tratado, em águas de piscina filtrada, e o mais preocupante, em águas potáveis de diversas regiões como América do Norte, América do Sul, Reino Unido, Europa e na antiga URSS (GRECA, 2010).

A contaminação por oocistos de *Cryptosporidium spp.* em águas tratadas apresenta sua incidência devido a sua natureza recalcitrante e ao fato que os métodos tradicionais de análise microbiológica da água (bactérias do grupo coliforme) não detectam esses organismos, deixando brechas para que este protozoário possa estar presente na água de consumo.

No Quadro 2 são apresentadas as informações referentes às últimas ocorrências registradas de *Cryptosporidium spp.*

Quadro 2. Ocorrências de oocistos de *Cryptosporidium*.

Pesquisador	Fonte	Local	Descrição
Hashimoto <i>et al.</i> (2002)	Água superficial	Japão	Foi identificado oocistos de <i>Cryptosporidium</i> em todas as amostras de água bruta, e em 35% das amostras de água filtrada.
Heller (2004)	Água superficial	Minas Gerais	Concentração de oocistos na faixa de 2-510 ooc/L.
Carmena <i>et al.</i> (2006)	Água superficial	Espanha	Das 284 amostras de água que foram coletadas, os oocistos estavam presentes em 63,5% das amostras de rio, 33,3% das amostras de reservatório, 15,4% em amostras de água bruta, 22,6% em água bruta de pequenas instalações, 30,8% em amostras de água tratada e 26,8% nas amostras de água de torneira.
Luna <i>et al.</i> (2002)	Água superficial	Costa Rica	Foi encontrado <i>Cryptosporidium</i> em 6 das 7 amostras de água não tratada, e em 4 das 7 amostras de água tratada não clorada.
Karanis <i>et al.</i> (2006)	Água superficial, tratada, engarrafada, poço, nascente e águas residuárias	Rússia e Bulgária	Analisou-se 166 amostras e em 30 foram encontrados oocistos de <i>Cryptosporidium</i> . Ocorreu presença em amostras de água de torneira, superficial, poço e águas residuárias.

Quadro 2 (continuação). Ocorrências de oocistos de *Cryptosporidium*.

Chaidez <i>et al.</i> (2005)	Água de irrigação	México	Dentre as amostras coletadas de águas superficiais, 48% estavam contaminadas com oocistos.
Montemayor <i>et al.</i> (2004)	Esgoto bruto e água superficial	Espanha	Foram analisadas 46 amostras de esgoto bruto e 33 amostras de água bruta e em todas foram encontrados oocistos de <i>Cryptosporidium</i> .
Farias <i>et al.</i> (2002)	Esgoto bruto e água superficial	São Paulo	As concentrações encontradas no esgoto bruto foram na faixa de 80-912 ooc/L. Na água contaminada com esgoto a concentração foi de 65-760 ooc/L.
Heller <i>et al.</i> (2004)	Esgoto	Minas Gerais	Concentração de oocistos entre 10^2 - 10^4 ooc/L.
Robertson <i>et al.</i> (2006)	Esgoto bruto	Noruega	Entre 40 amostras de esgoto bruto, houve oocistos de <i>Cryptosporidium</i> em 80% das análises.
Cardoso <i>et al.</i> (2003)	Esgoto tratado	Rio Grande do Sul	Densidade média encontrada de oocistos foi de 10,42 ooc/L.
Graczyk <i>et al.</i> (2008)	Lodo de esgoto	Polônia	O estudo evidenciou altos valores de <i>Cryptosporidium</i> potencialmente viáveis no lodo de esgoto. A concentração média de oocistos foi de 14 ooc/g.

Fonte: Nascimento (2009); Covre (2009).

3.1.2. Correlação entre turbidez e oocistos de *Cryptosporidium*

O monitoramento dos parâmetros físico-químicos de qualidade da água está presente na rotina de estações de tratamento porque possui a função de ajudar a entender melhor como o sistema está operando e auxiliar a controlar determinados imprevistos. Dentre os diversos parâmetros existentes, a turbidez vem sendo utilizada como instrumento para prever a presença de oocistos de *Cryptosporidium spp.* em meio aquático.

O parâmetro turbidez vem sendo correlacionado com a presença deste protozoário pelo fato de que águas mais turvas possam proporcionar abrigo a estes microrganismos, já que estes oocistos possuem certa facilidade à aderência em compostos orgânicos e inorgânicos. Portanto, é considerado que a presença dos microrganismos está diretamente ligada ao grau de turbidez da água, de forma que quanto maior a medida de turbidez, maior a possibilidade de se encontrar o patógeno tanto em águas tratadas quanto em águas não tratadas (LIMA & STAMFORD, 2003).

No Brasil, a legislação vigente já correlaciona o parâmetro turbidez com a presença de oocistos de *Cryptosporidium spp.* De acordo com a Portaria nº 2914 de 2011 do Ministério da Saúde, o artigo 30 dispõe que para se garantir a qualidade microbiológica da água, deve-se obter para turbidez o valor máximo de 0,5 uT em 95% das amostras analisadas após o processo de filtração rápida por tratamento convencional ou filtração direta (BRASIL, 2011).

A mesma legislação torna-se ainda mais rigorosa em determinadas situações, como é possível observar no artigo 31 § 2º, onde diz que quando a média aritmética da concentração de oocistos de *Cryptosporidium spp.* for maior ou igual a 3 oocistos/L no(s) ponto(s) de captação da água, recomenda-se a obtenção de efluente em filtração rápida com valor de turbidez menor ou igual a 0,3 uT em 95% das amostras mensais ou uso de processo de desinfecção que comprovadamente alcance a mesma eficiência de inativação de oocistos de *Cryptosporidium spp.* (BRASIL, 2011).

O Quadro 3 mostra os novos limites impostos pela Portaria nº 2914 a respeito do parâmetro turbidez.

Quadro 3. Padrão de turbidez para água pós-filtração ou pré-desinfecção

Tratamento de água	Valor máximo permitido
Desinfecção (águas subterrâneas)	1,0 uT em 95% das amostras
Filtração rápida (tratamento completo ou filtração direta)	0,5 uT em 95% das amostras
Filtração lenta	1,0 uT em 95% das amostras

Fonte: Brasil, 2011.

Segundo o trabalho realizado por Lopes (2008), no qual avaliou a turbidez e a remoção de partículas como parâmetros indicadores de remoção de *Cryptosporidium spp.* na etapa de clarificação do tratamento convencional de água, houve indícios de que a remoção da turbidez seja mais efetivo do que a contagem de partículas como indicador de remoção de oocistos de *Cryptosporidium spp.* e que a remoção de turbidez esteja diretamente relacionada com a remoção de partículas com tamanho variando entre 2 – 7 µm. Nos resultados encontrados não foi possível indicar com certeza as associações numéricas dos valores de turbidez com os valores de remoção de oocistos, porém, o autor diz haver indícios de que a produção de água filtrada trata-se de uma medida preventiva.

Nascimento (2009) realizou um trabalho em escala piloto onde estudou a remoção de *Cryptosporidium spp.* por meio da filtração direta ascendente em areia. Neste estudo, o autor avaliou estatisticamente através do teste não-paramétrico de Spearman se há correlação existente entre turbidez e a remoção do microrganismo patogênico, e a partir disso, afirmou que o tratamento estatístico dos dados indicou que na água filtrada não houve correlação significativa entre a concentração oocistos de *Cryptosporidium parvum* e os parâmetros turbidez, coliformes totais e *Escherichia Coli*.

Lopes *et al.* (2010) realizou um estudo no manancial de abastecimento de água da região metropolitana de Belo Horizonte, Minas Gerais. O principal objetivo do estudo foi a

caracterização da ocorrência de oocistos de *Cryptosporidium spp.* e cistos de *Giardia spp.*, assim como avaliar a possível associação entre a presença destes patógenos com a turbidez da água e com as bactérias *Escherichia Coli* e *Enterococcus spp.* Os resultados estatísticos desse estudo apresentaram fracas correlações entre os protozoários, a turbidez e as bactérias.

Nieminski *et al.* (2008) em seu estudo procurou determinar a validade do monitoramento de *Escherichia Coli* a fim de avaliar a vulnerabilidade das fontes de águas para a presença de *Cryptosporidium spp.* Para isto, foram coletados dados de sete estações de tratamento de água localizadas em Utah, Estados Unidos, por um período de sete anos, dentre estes dados, estavam inclusos *Cryptosporidium spp.*, *Escherichia Coli*, turbidez e outros parâmetros de qualidade da água. O resultado das análises estatísticas mostrou pobres correlações entre *Cryptosporidium spp.* e *E. Coli*, assim também como pode ser observado para *Cryptosporidium spp.* e o parâmetro turbidez.

3.1.3. Microesferas de poliestireno na simulação de oocistos de *Cryptosporidium spp.*

Em vista das dificuldades de se trabalhar diretamente com oocistos de *Cryptosporidium spp.*, pesquisadores vem estudando e testando diversos simuladores que possam substituir o uso direto de oocistos. Essa busca por simuladores justifica-se devido ao alto risco de infecção e pela dificuldade em se conseguir esses oocistos, já que são obtidos através das fezes de humanos ou animais infectados.

Um dos possíveis simuladores de *Cryptosporidium spp.* são as microesferas de poliestireno, correspondentes a partículas inorgânicas fabricadas com dimensões e densidade próxima aos oocistos.

Emelko, Huck & Douglas (2003) conduziram estudos em escala piloto para avaliar a remoção de *Cryptosporidium spp.* em filtros de dupla camada, assim como utilizar microesferas de poliestireno para estudar seu potencial como indicador. Esses autores obtiveram 5 logs de remoção (equivalente a 99,999%) tanto para oocistos quanto para microesferas quando avaliados em condições otimizadas, no qual o filtrado alcançava turbidez menor que 0,1 uT. Assim, a remoção de microesferas de

poliestireno através de filtração mostrou-se similar a remoção de oocistos, sugerindo que as microesferas podem representar um indicador útil de *Cryptosporidium spp.*

Li *et al.* (1997) testou o uso de microesferas de poliestireno em sistemas de filtração tipo BAG, também conhecidos por “saco” ou “coador”. Os resultados mostraram uma correlação linear quase perfeita entre os logs de remoção obtidos para oocistos de *Cryptosporidium spp.* e microesferas de poliestireno, concluindo então que as microesferas podem ser utilizadas como indicadores confiáveis de oocistos de *Cryptosporidium spp.* As microesferas utilizadas no estudo englobavam os diâmetros entre 4-6 µm.

Emelko & Huck (2004) realizaram um estudo em que se demonstrou a confiabilidade das microesferas como indicadores de oocistos de *Cryptosporidium spp.* As microesferas com tamanhos de oocistos mostraram-se uma ferramenta útil para se trabalhar como indicador, além de serem mais fáceis, seguros e menos dispendiosos do que se trabalhar com o próprio oocisto.

Amburgey *et al.* (2005) utilizaram microesferas de poliestireno e oocistos de *Cryptosporidium spp.* para comparar a performance de remoção em filtros convencionais e biológicos. Nesse estudo, os dois tipos de filtros mostraram padrões similares de remoção tanto para oocistos quanto para microesferas, apresentando 1,7 e 2,1 logs de remoção, respectivamente.

Emelko & Brown (2009) estudaram a influência de diferentes coagulantes para remoção de oocistos de *Cryptosporidium spp.* e microesferas de poliestireno. Quando utilizado doses ideais de coagulantes, foram alcançados valores similares de remoção para oocistos e microesferas. Porém, fora dos valores ideais de coagulante houve redução de aproximadamente 2 a 3 logs de remoção para microesferas e oocistos. Por fim, os autores concluíram que as microesferas de poliestireno aparentam ser um indicador razoável de oocistos de *Cryptosporidium spp.* quando usado os coagulantes alumínio e FeCl_3 , mas não quando utilizado o coagulante quitosana.

3.2. TRATAMENTO DE ÁGUA POR FILTRAÇÃO EM MARGEM

À medida que ocorrem avanços em relação a crescimento e desenvolvimento no Brasil, há também transformações ocorrendo simultaneamente em nossos ecossistemas. O grande crescimento populacional, o elevado padrão de consumo e o acelerado desenvolvimento agrícola e industrial formam a base destas mudanças, pois são os atuais processos produtivos que contribuem para que a concentração de contaminantes em nosso ar, água e solo venham aumentando cada vez mais, acarretando no comprometimento da qualidade de vida da população.

No que diz respeito às águas superficiais, este fato vem ocasionando diversos problemas principalmente quando se refere a abastecimento de água para consumo humano. Sabe-se que águas superficiais possuem microrganismos patogênicos e inúmeras substâncias químicas tóxicas, que quando ingeridas causam danos e/ou doenças ao ser humano.

Visando a remoção de contaminantes da água para o abastecimento público e a preservação do meio ambiente, a tecnologia de filtração em margem surge como uma alternativa. Este procedimento já vem sendo empregado com sucesso na Europa, notadamente na Alemanha, com a finalidade de remover matéria em suspensão, microrganismos e outros contaminantes químicos. A filtração em margem é utilizada também nos Estados Unidos para remoção de protozoários patogênicos e enterovírus, e na Austrália, para a remoção de cianobactérias e cianotoxinas (SENS *et al*, 2006).

Em virtude do que foi mencionado, a filtração em margem apresenta-se como um tratamento promissor, porém, para que esta técnica possa operar corretamente e com eficiência, deve-se assegurar que o sistema tenha sido corretamente projetado e operado, e também, considerar previamente as condições do manancial (MONDARDO, 2009).

3.2.1. A técnica de filtração em margem

A técnica de filtração em margem consiste no emprego dos materiais sedimentares do fundo e margens de um rio para atuarem como meio filtrante, objetivando a remoção de possíveis contaminantes presentes na água. Para que a técnica seja funcional, devem ser construídos poços de captação nas margens do manancial, a fim de criar uma diferença de nível entre o manancial e o lençol freático, fazendo com que o escoamento da água seja induzido em direção ao poço (SENS *et al.*, 2006).

A filtração em margem ocorre geralmente com a infiltração da água em aquíferos aluvionares, sendo que as características do solo a ser usado como meio filtrante, ajudam a entender o comportamento da água durante o fluxo subterrâneo, e conseqüentemente, determinam a eficiência da técnica.

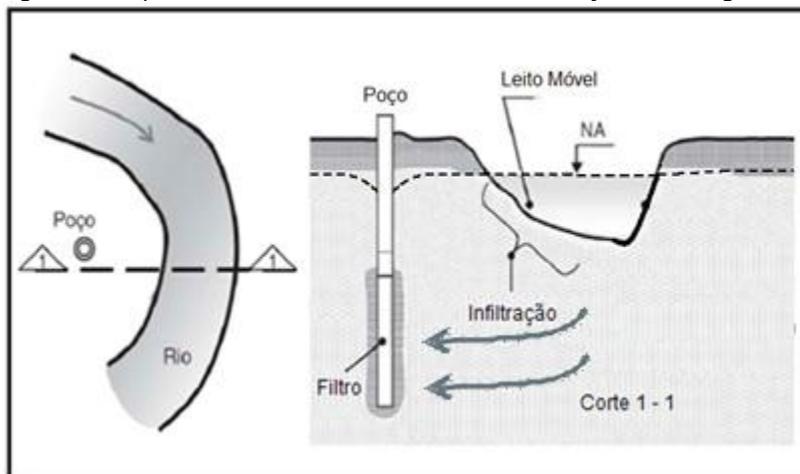
Durante o processo de infiltração no solo, a água a ser tratada passa por uma determinada variedade de processos físicos, químicos e biológicos, tais como adsorção, redução, filtração físico-química e biodegradação. Estes processos ocorrem de forma conjunta, complexa e interativa, de maneira que a compreensão detalhada destes fenômenos necessita ainda ser estudada mais a fundo, a fim de obter o melhor entendimento dos processos como um todo (SOUZA, 2004).

Depois de infiltrada, a captação de água é feita através de poços instalados próximos a margem, que de acordo com a utilização histórica da filtração em margem, distanciam-se das margens dos mananciais de 15 a 50 metros, podendo também ser encontrado poços com distâncias superiores, na faixa de 100 a 150 metros (DILLON *et al.*, 2002).

Entre os poços de captação e o corpo hídrico, deve haver poços de monitoramento instalados para que seja possível acompanhar a qualidade da água gerada neste processo. Após a captação, geralmente é necessário um pós-tratamento simplificado (desinfecção), a fim de atingir as exigências mínimas de qualidade para o abastecimento público (SOUZA, 2004).

A Figura 1 ilustra de maneira simplificada o funcionamento de um sistema de filtração em margem através da utilização de um poço.

Figura 1. Esquema ilustrativo de um sistema de filtração em margem.



Fonte: Adaptado de Sens *et al.* (2006).

3.2.2. Histórico

A primeira utilização relatada de filtração em margem na história foi no ano de 1810, através da Glasgow Waterworks Company, empresa localizada no Reino Unido. Neste cenário, foi construída uma tubulação drenante paralela ao rio Clyde para a captação de água filtrada na margem do rio, tendo como finalidade, promover o abastecimento público (RAY *et al.*, 2003).

Na Europa Ocidental, um dos primeiros sistemas instalados de filtração em margem foi na região mais baixa do vale do Reno, em Düsseldorf, na Alemanha, onde o sistema foi construído em ambos os lados do rio Reno. Devido as restrições encontradas em relação as águas subterrâneas, a tecnologia foi utilizada para fornecer água potável a uma população de 600.000 habitantes (RAY *et al.*, 2003).

Visando melhorias para o sistema de filtração em margem, um engenheiro inglês chamado William Lindley desenvolveu um projeto contendo inovações para esta tecnologia, neste projeto foram incluídos poços, estação de bombeamento, tubo principal e reservatório. A construção do sistema foi feita em Flehe, na Alemanha, e levou menos de 2 anos para ser concluída, iniciou sua operação em 1870 e desde então o processo encontra-se ininterrupto (RAY *et al.*, 2003).

A partir das melhorias propostas pelo engenheiro inglês, a técnica de filtração em margem se aproximou mais daquela que é utilizada hoje em dia. Portanto, há mais de 100 anos a filtração em margem vem sendo aplicada nos países europeus, onde é utilizada em maior escala se comparada a outros países.

Essas aplicações podem ser encontradas no Rio Danúbio, Alemanha, no Rio Viena, Áustria, e na cidade de Bratislava, na República Slovakia. Outros projetos de filtração em margem podem ser encontrados em Budapeste, Hungria e Belgrado, Sérvia (MICHELAN, 2010).

Segundo Souza (2004), a filtração em margem é responsável por 16% do abastecimento de água potável na Alemanha, 40% na Hungria, 50% na França, e 80% na Suíça, país líder na utilização dessa técnica. Particularmente, na cidade de Berlim 70% de toda a água potável disponibilizada para a população é originária da filtração em margem, correspondendo a um consumo equivalente a 620.000 m³/dia.

No Brasil, a tecnologia de filtração em margem é aplicada de forma inconsciente, ou seja, há a produção de água, mas não há a preocupação com os fatores de aplicabilidade do sistema no local, como é o caso na região nordeste do país, onde o governo providencia água para a população através de barreiros, açudes, poços amazonas e poços tubulares (MICHELAN, 2010).

Outro exemplo do uso de filtração em margem no Brasil pode ser encontrado no estado de Santa Catarina, no Alto Vale do Itajaí, onde a população se abastece com água retirada de poços instalados as margens do rio Itajaí do Sul, Itajaí do Oeste, Itajaí do Norte, e todos os afluentes do rio Itajaí Açú (SENS *et al*, 2006).

Em Ituporanga, Santa Catarina, Michelan (2010) estudou o uso da filtração em margem precedendo a filtração lenta para a remoção de carbofurano. Paiva (2009) avaliou a filtração em margem através de um piloto instalado as margens do Rio Beberibe, em Pernambuco. Rabelo (2006) realizou um estudo preliminar de filtração em margem como pré-tratamento de água para remoção de fitoplâncton, na Lagoa do Peri, em Santa Catarina. Neste mesmo local, Mondardo (2009) avaliou a filtração em margem como alternativa de pré-tratamento a filtração direta na remoção de cianobactérias e saxitoxinas, e Esquivel (2012) estudou a remoção de matéria orgânica e precursores de trihalometanos (PFTAMs) através da filtração em margem.

3.2.3. Benefícios e Limitações

Embora a filtração em margem não seja uma tecnologia amplamente utilizada, o interesse por essa técnica vem aumentando cada vez mais. Santos (2011) e Schubert (2006) apresentam as seguintes vantagens para o sistema:

- Capaz de remover matéria orgânica e conseqüentemente, precursores da formação de trihalometanos;
- Redução na atividade mutagênica dos organismos, sendo que com a aplicação da filtração em margem ocorre a redução dos agentes físicos, químicos e biológicos;
- Atua na forma de pré-tratamento da água, otimizando os processos posteriores de potabilização;
- Dispõe de tempo hábil para tomada de decisões em eventos extremos, como grandes contaminações pontuais;

Paiva (2008) ainda apresenta as vantagens imediatas deste tipo de técnica:

- Minimização da aplicação de desinfetantes e coagulantes químicos para controle de patógenos;
- Diminuição do preço da água para a comunidade, sem que isso apresente riscos para a saúde humana.

Apesar das vantagens apresentadas pela filtração em margem, o sistema ainda conta com algumas limitações:

- Compostos como pesticidas e fármacos podem acabar passando pelo meio filtrante, sendo necessário em alguns casos de outras formas complementares de tratamento (KUEHN & MUELLER, 2000);
- Apresenta baixa eficiência se utilizada como única forma de tratamento para águas com alta concentração de cor, dureza, e alto teor de compostos orgânicos sintéticos (HISCOCK & GRISCHEK, 2002);
- A filtração em margem depende intensamente de fatores geológicos e hidrológicos, o que causa diferença nos sistemas de uma região para outra, alterando a quantidade e a qualidade da água produzida (MICHELAN, 2010).

3.3. MECANISMOS DE REMOÇÃO PRESENTES NA FILTRAÇÃO EM MARGEM

A filtração em margem é considerada uma técnica de tratamento simples porque a remoção de contaminantes ocorre predominantemente através do transporte de água pelo percurso de solo, que possui a função de material filtrante e retém as impurezas contidas no corpo hídrico.

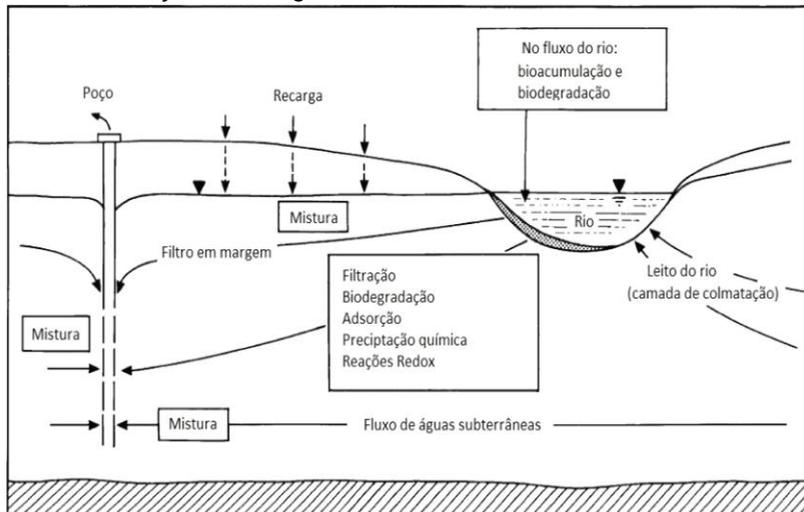
Sens *et al.* (2006) relata os processos físicos presentes em um sistema de filtração em margem. Conforme sustenta os autores, a maneira pela qual a água move-se através do solo é dependente de três processos que atuam juntos sobre ela, o primeiro processo é chamado adsorção, que causa a retenção de finas películas de água ao redor das partículas de solo através de atração molecular. A capilaridade é o segundo processo presente no sistema, responsável por reter ou mover a água em pequenas aberturas através da tensão superficial, e por último, a gravidade que é capaz de mover a água por entre os poros maiores através da diferença de carga d'água entre pontos distintos ou pela existência de um gradiente hidráulico. A resultante gerada a partir da união destes três processos depende, parcialmente, da quantidade de umidade presente no solo em relação ao espaço livre do material poroso.

Os mesmos autores advertem que ainda não são conhecidos completamente todos os fenômenos ou princípios envolvidos na filtração em margem. Entretanto, sabe-se que o processo de percolação impede que muitos poluentes presentes na água alcancem o reservatório de água subterrânea ou o poço de filtração em margem. Os principais processos envolvidos nessa tecnologia de tratamento são:

- Filtração (coagem)
- Biodegradação
- Sedimentação
- Adsorção
- Dispersão
- Diluição (Mistura com águas subterrâneas)

Hiscock & Grischek (2002) mostram esquematicamente os processos de remoção conhecidos que afetam a qualidade da água durante a filtração em margem. A Figura 2 ilustra estes processos:

Figura 2. Processos de remoção que influenciam na qualidade da água durante a filtração em margem.



Fonte: Adaptado de Hiscock & Grischek (2002).

3.3.1. Remoção de contaminantes inorgânicos

Sens *et al.* (2006) relata que a partir dos estudos desenvolvidos pelo Centro Tecnológico de Água (TZW) na Alemanha, é possível afirmar que os contaminantes inorgânicos podem ser removidos através do processo de filtração em margem. Poluentes químicos como manganês, ferro e outros metais pesados são retidos através do fenômeno de adsorção que ocorre durante a passagem da água superficial pelo solo filtrante. A remoção destes poluentes ocorre quando o aquífero, onde a água superficial é infiltrada, apresenta condições aeróbias, isto devido as reações de troca iônica que acontece nas superfícies carregadas negativamente de minerais argilosos, óxidos de ferro amorfos, óxidos de alumínio e matéria orgânica sólida. Em aquíferos anóxicos a remoção de íons metálicos é dada por reações de precipitação com o sulfeto.

Sontheimer (1980) analisou a remoção de metais pesados pelo sistema de filtração em margem ao longo do Rio Reno, na Alemanha, e encontrou valores percentuais superiores a 90% para remoção de cromo e arsênio, e maiores que 50% para cádmio, zinco, chumbo, cobre e níquel.

Schmidt *et al.* (2003) também apresentou porcentagens de remoção de diversos metais, que variou de 0 a 94%. O autor sustenta que as interações com o solo proporcionam uma considerável retenção dos metais pesados no subsolo. Esses metais, uma vez removidos pela filtração no solo, não são facilmente remobilizados, porém, existe uma exceção: se as condições do aquífero se tornarem anaeróbias, os elementos ferro e manganês sofrem redução química e voltam a aparecer na água, necessitando tratamento posterior. A Tabela 1 expõe os valores de remoção obtido por Schmidt *et al.* (2003).

Tabela 1. Remoção de Metais Pesados por filtração em margem no Rio Reno, Alemanha.

Metal	Concentração no Rio Reno (µg/L)	Concentração da água filtrada (µg/L)	Remoção (%)
Zinco	180	33	82
Cobre	31,8	7,5	51
Chumbo	12,6	3,2	75
Níquel	9,5	4,7	51
Cromo	7,9	0,5	94
Estanho	4,5	3,6	20
Arsênio	4,2	0,3	93
Cádmio	2,0	0,5	75
Selênio	1,8	1,6	11
Argônio	0,5	0,5	0
Mercúrio	0,3	0,2	33
Berílio	0,1	0,1	0

Fonte: Schmidt *et al.* (2003).

3.3.2. Remoção de contaminantes orgânicos

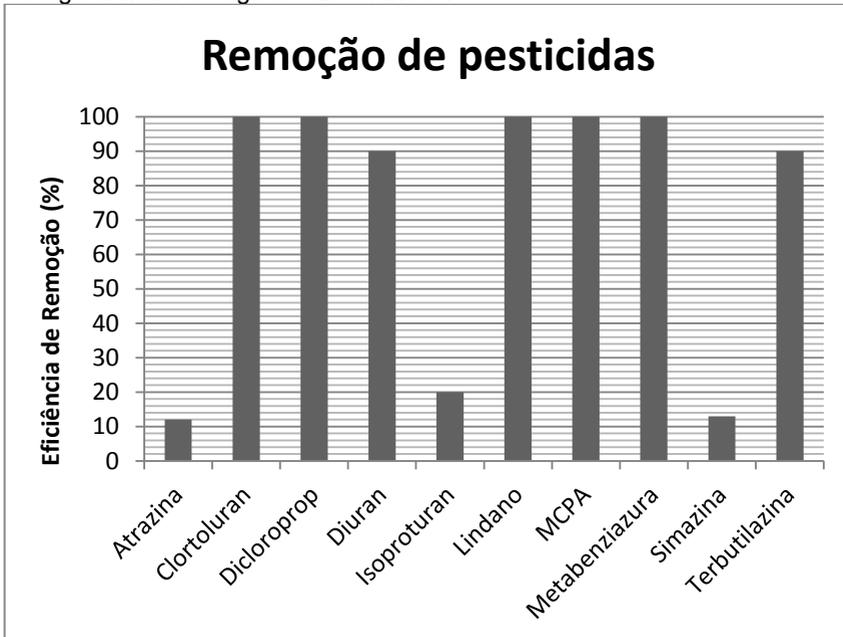
A matéria orgânica natural que se encontra presente nas águas superficiais trata-se de uma complexa mistura de matéria orgânica dissolvida e particulada, inclui-se nesta categoria ácidos húmicos, ácidos hidrofílicos, proteínas, lipídios, aminoácidos e hidrocarbonetos. A presença de matéria orgânica natural representa uma grande preocupação às estações de tratamento de água, pois estes compostos causam efeitos negativos como maus odores e deterioração do sabor da água. Outro ponto negativo sobre a presença de matéria orgânica natural na água é que estes constituem os principais precursores de subprodutos da desinfecção e oxidação, como trihalometanos (TAMs) e ácidos haloacéticos (HAAs), que são substâncias potencialmente carcinogênicas (SENS *et al.*, 2006).

A remoção de contaminantes orgânicos na filtração em margem ocorre em torno do manancial através de processos físicos e bioquímicos. Os processos biológicos responsáveis pela degradação dos contaminantes ocorrem, predominantemente, nos primeiros metros de infiltração no solo. A fração biodegradável da matéria orgânica é degradada pelas bactérias presentes no leito filtrante, enquanto a fração refratária é removida através de adsorção na fase sólida (MARMONIER *et al.*, 1995).

Schmidt *et al.* (2003) sustenta que diversos micropoluentes orgânicos vem sendo detectados em águas superficiais devido a poluição industrial, agrícola e doméstica, e o destino destes poluentes é principalmente determinado por mecanismos de adsorção e transformações biológicas. Moléculas orgânicas polares como os agentes complexantes, pesticidas, produtos industriais como sulfonados aromáticos, compostos farmacêuticos e produtos de higiene pessoal são as substâncias de maior preocupação recentemente. Entretanto, diversos estudos e investigações de longa data realizados na Alemanha vêm mostrando a eficiência da filtração em margem e da infiltração artificial na remoção destes compostos orgânicos. Em relação aos residuais de pesticidas, a eficiência de remoção empregando-se infiltração artificial pode variar dependendo das propriedades de cada composto. Os percentuais de remoção podem atingir valores baixos de 10% como no caso da atrazina,

e em alguns casos, atingir 100% remoção como observado para o lindano. A Figura 3 apresenta as eficiências de remoção observadas para os resíduos de pesticidas.

Figura 3. Eficiências de remoção para resíduos de pesticidas por recarga artificial de águas subterrâneas.



Fonte: Schmidt *et al.* (2003).

Apesar de comprovada a eficiência da filtração em margem com relação à remoção dos micropoluentes apresentados, alguns contaminantes móveis mostram-se mais persistente no meio ambiente e apresentem uma tendência de remoção menor. Entretanto, essas substâncias encontradas na água da filtração em margem podem ser removidas na grande maioria dos casos por etapas de tratamento subsequente, como, por exemplo, a ozonização ou a filtração em carvão ativado granular. Estudos detalhados mostram que as concentrações de muitos micropoluentes orgânicos presentes em rios da Alemanha podem ser reduzidos ou até mesmo eliminados durante a passagem pelo solo tanto em meio aeróbio quanto em meio anaeróbio, porém, a eliminação de certos compostos mostrou-se claramente

ser dependente do potencial redox da água subterrânea (SCHMIDT *et al.*, 2003; SENS *et al.*, 2006).

Esquivel (2012) estudou a remoção de matéria orgânica natural e PFTAMs por filtração em margem na Lagoa do Peri, Santa Catarina. Nesse estudo, os parâmetros cor e turbidez foram removidos e alcançaram valores abaixo do que é exigido pela norma brasileira logo nos primeiros centímetros de infiltração (1 dia de percurso). A remoção de matéria orgânica natural (MON) e PFTAMs ocorreram nas faixas de 45-35% para carbono orgânico dissolvido e total (COD e COT), e 70% de precursores, após 100 dias de percurso. O COD e os precursores de TAM relacionados com a fração facilmente biodegradável da MON foram removidos em menos de 2 dias de percurso, enquanto a outra fração menos biodegradável precisou de 100 dias. Desta forma, constata-se que a maior eficiência do tratamento por filtração em margem foi observada após os 100 dias de detenção no sistema.

A Tabela 2 apresenta os dados de remoção de alguns parâmetros de qualidade da água juntamente com a remoção de outros contaminantes orgânicos presentes na região do Baixo Reno.

Tabela 2. Eficiência de remoção para micropoluentes orgânicos e parâmetros de qualidade da água no Rio Reno.

Parâmetro avaliado	Eficiência de Remoção (%)
AOX	27
AOS	44
COD	47
UV-254 nm	55
Poluente Orgânico	Eficiência de Remoção (%)
Carbamazepina	0
Ácido Amidotrizóico	4
Urotropina	19
Sulfametoxazol	23
Naftaleno-1,5-dissulfonato	31
Tris (2-cloropropil) fosfato	36
2-Aminonaftaleno-1,5-dissulfonato	39
Tris (2-cloroetil) fosfato	50
MTBE	53
Iopamidol	55
EDTA	57
Trietil fosfato	88

Tabela 2. Eficiência de remoção para micropoluentes orgânicos e parâmetros de qualidade da água no Rio Reno (continuação).

1-Naftaleno sulfonato	90
TCA	93
TNBP	95
Metoprolol	96
Diclofenaco	98
Sotalol	98
Clindamicina	99
Eritromicina	99
Iopromida	99
NTA	99
Iomeprol	100
Bezafibrato	100
BPA	100
Nonilfenol	100

Fonte: Schmidt *et al.* (2003).

Michelan (2010) estudou a filtração em margem de rio precedendo a filtração lenta para remoção de carbofurano. Este estudo foi realizado em Ituporanga, Santa Catarina, onde foram estudados três sistemas pilotos: o Sistema 1, correspondeu a filtração em margem de rio seguido de filtração lenta com limpeza retrolavável, o Sistema 2 referente a filtração em margem seguido de filtração lenta com limpeza convencional, e o Sistema 3 composto por colunas filtrantes de sedimento, que corresponde a simulação de filtração em margem em escala laboratorial. No Sistema 1 obteve-se remoção média para carbofurano de 54%, o que enquadrou a água filtrada final média desse sistema em 0,1 µg/L, abaixo do limite da Portaria da Comunidade Européia. O Sistema 2 apresentou remoção média de 64% para carbofurano e também forneceu água filtrada abaixo do limite estabelecido. O Sistema 3 de colunas filtrantes de sedimentos, apesar de alcançar picos de eficiência chegando a 82% para o carbofurano, manteve média de 0,1 µg/L, estando abaixo dos limites determinado pela comunidade europeia.

3.3.3. Remoção de contaminantes biológicos

Os contaminantes biológicos presentes nas águas superficiais incluem protozoários, vírus e bactérias. Sens *et al.* (2006) afirma que o que torna a filtração em margem um sistema eficiente para o tratamento destes contaminantes é a combinação de processos responsáveis pela remoção, estes incluem a adsorção ao material filtrante e a inativação dos microrganismos. A remoção torna-se ainda mais eficiente quando a velocidade de percolação da água subterrânea for baixa e quando o aquífero for composto por material granular com espaço suficiente entre os grãos para que a água escoe ao seu redor, e assim, possa aumentar o contato entre os microrganismos presentes na água e a superfície do grão no leito filtrante. Empregando-se uma distância de percolação e tempo de retenção suficiente, os contaminantes biológicos podem ser removidos até atingir os níveis preventivos à saúde pública.

Sob ótimas condições, a passagem de água subterrânea pode atingir até 8 logs de remoção de vírus a uma distância de 30 m de percolação em tempo aproximado de 25 d. Entretanto, a eficiência do processo decai quando for utilizado um percurso de infiltração menor, alta heterogeneidade dos grãos, matrizes de partículas grossas, gradientes elevados e, portanto, altas velocidades de infiltração. Assim, a fim de garantir a qualidade da água filtrada e a remoção de patogênicos, os fornecedores de água devem estabelecer grandes percursos de infiltração e elevados tempos de retenção (SCHMIDT *et al.*, 2003).

Segundo Paiva (2010) e Schijven, Berger e Miettinen (2002), a eficiência da filtração em margem na remoção de microrganismos depende de fatores como:

- A ação de vários mecanismos de remoção, no qual a adsorção dos microrganismos ao solo e a inativação são os mais importantes;
- As condições climatológicas e hidrológicas do local.
- A geometria do poço;
- As características do material filtrante das margens (solo) e do leito do rio ou lago;
- Características do percurso pelo qual ocorre o fluxo das águas subterrâneas;
- A concentração de microrganismos nas águas superficiais.

Medema *et al.* (2001) realizaram um estudo onde avaliou-se as concentrações de diversos protozoários, vírus e bactérias presentes nas águas do rio de Meuse, próximo a cidade de Roosteren, localizado nos Países Baixos, entre o período de janeiro de 1998 e maio de 1999. As concentrações médias encontradas para os microrganismos *Giardia* e *Cryptosporidium* (quatro amostragens) foram de 95 e 140/L, com máximas concentrações de 170 e 460/L, respectivamente. As concentrações de pico encontradas para enterovírus e reovírus foram de 0,9 e 13,5/L de água, enquanto a concentração média (cinco amostras) destes mesmos organismos durante o período de amostragem foram de 0,52 e 7,1/L, respectivamente. Após a passagem da água pelo sistema de filtração em margem, nenhuma das amostras apresentou vestígios dos vírus citados.

Estudando a filtração em margem de lago, Soares (2009) objetivou executar estudos preliminares e realizar a implantação em escala real dessa tecnologia em tanques de piscicultura extensiva. O estudo foi realizado no município de Ituporanga, Santa Catarina, e seu objetivo final era proporcionar a dessedentação de animais em períodos de estiagem, portanto, era necessário realizar a remoção dos contaminantes biológicos. Neste quesito, a filtração em margem mostrou-se uma tecnologia eficiente para a remoção de fitoplâncton, coliformes totais e *E. coli*. A Tabela 3 exhibe os dados de remoção encontrados neste estudo:

Tabela 3. Remoção de contaminantes biológicos por filtração em margem de lago de piscicultura, Ituporanga - SC.

Parâmetro	Água bruta	Água tratada	Remoção
Coliformes Totais (NMP/100mL)	12.137	173	98,5%
<i>E. Coli</i> (NMP/100mL)	163	0	100%
Fitoplâncton (cel/mL)	8.380	0	100%

Fonte: Soares (2009).

3.3.3.1. Remoção do protozoário *Cryptosporidium spp.*

A Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA) elaborou no ano de 2006 um documento intitulado “The Long Term 2 Enhanced Surface Water Treatment Rule” (LT2ESWTR), o qual possui como finalidade proteger a saúde pública contra contaminações através de patógenos presentes em corpos d’água, e em especial, combater a criptosporidiose e o organismo *Cryptosporidium spp.*

A LT2ESWTR elaborada pela USEPA apresenta a filtração em margem como uma alternativa de tratamento para aprimorar a remoção de *Cryptosporidium spp.* O documento estabelece os valores de eficiência em 0,5 log de créditos de remoção para a distância filtrada de 25 pés (7,62 m), e 1 log de crédito de remoção para o dobro da distância, ou seja, 50 pés (15,24 m) de recuo da margem.

Como ressalta o trabalho de Tufenkji, Ryan e Elimelech (2002), a remoção de microrganismos patogênicos tais como cistos de *Giardia* (9-12 μm) e oocistos de *Cryptosporidium spp.* (4-6 μm) no processo de filtração em margem é controlada através dos processos físicos de intercepção e sedimentação gravitacional. De acordo com a teoria da filtração, microrganismos na ordem de 0,1 μm , assim como as bactérias, estão suscetíveis a colidir menos com os grãos do sedimento, apresentando assim, maiores mobilidades dentro do sistema filtrante, diferentemente dos protozoários, que possuem tamanho maior e apresentam maiores chances de colisão e intercepção na barreira de sedimento.

Weiss *et al.* (2005) realizou o monitoramento microbiológico em três unidades de filtração em margem em escala real. Este estudo foi efetuado nos Estados Unidos ao longo dos rios Ohio, Missouri e Wabash. O sistema foi avaliado pelo período maior que um ano, com amostragem e análise mensal da água bruta de rio, entretanto, a água filtrada de poço foi analisada com menor frequência. O resultado deste estudo demonstrou o potencial da filtração em margem como uma barreira significativa no transporte de microrganismos presentes nas águas superficiais. O estudo também pode observar que a redução destes microrganismos é relativa com a qualidade da água bruta avaliada.

Neste mesmo trabalho, os organismos *Cryptosporidium spp.* e *Giardia* foram detectados ocasionalmente na água do rio, porém, nunca foram detectados na água filtrada dos poços. As concentrações médias e os logs de remoção destes protozoários não puderam ser precisamente avaliados devido a baixa concentração destes organismos nas águas do rio e a falta de concentrações detectáveis nas águas filtradas. Posteriormente, os autores enfatizam a necessidade de se realizar novas pesquisas a fim de melhor entender os processos ocorrentes durante o transporte de agentes patogênicos (*Cryptosporidium spp.* e *Giardia*) através da passagem de água pelo sedimento da filtração em margem, assim como estudar a influência das características da água bruta e do sedimento na eficiência de remoção deste tipo de sistema.

Plutzer *et al.* (2007) examinou a ocorrência de *Cryptosporidium spp.* e *Giardia* em águas tratadas por filtração em margem e em água bruta do Rio Danúbio, em Budapeste, Hungria. O objetivo deste monitoramento foi determinar a eficiência da filtração em margem na remoção de protozoários patogênicos, para isso, foram coletados e examinados 157 amostras de água, sendo 87 destas amostras provenientes da água bruta do Rio Danúbio e 70 amostras provenientes da água tratada por filtração em margem.

Em resultado as análises microbiológicas, foram encontrados oocistos de *Cryptosporidium spp.* em 60% das amostragens de água bruta, que variou sua concentração entre os valores de 0-50/100 oo/L. Apesar dos organismos *Cryptosporidium spp.* e *Giardia* serem detectados regularmente nas amostras de água bruta, nunca foram detectados nas amostras de água proveniente da filtração em margem, sugerindo assim, a eficácia deste método de tratamento na remoção destes agentes patogênicos.

Gollnitz *et al.* (2005) realizou um estudo com duração de 2 anos cujo objetivo final foi demonstrar que a filtração em margem é capaz de prover os 2 logs de remoção de *Cryptosporidium spp.* requeridos pela antiga "Interim Enhanced Surface Water Treatment Rule" (IESWTR), hoje substituída pela legislação vigente LT2ESWTR. Neste estudo foram avaliados substitutos para os diversos tamanhos que englobam os organismos *Cryptosporidium spp.* e *Giardia*. Os resultados demonstraram a eficiência de 2 logs de remoção em mais de 90% das amostras

analisadas. Não houve a detecção destes protozoários em nenhuma das 170 amostras de água subterrânea. O autor ressalta que esses níveis de remoção observados foram conseguidos durante os meses de verão, onde as taxas de infiltração são mais elevadas devido ao aumento do nível do rio e da maior produção de água tratada nos poços.

Gollnitz *et al.* (2003) desenvolveu uma pesquisa na qual o objetivo principal foi determinar se a tecnologia de filtração em margem consegue atingir uma redução significativa dos protozoários *Cryptosporidium spp.* e *Giardia*, a um nível em que não seja necessário nenhuma outra etapa de filtração. O monitoramento dos agentes patogênicos foi realizado esporadicamente durante um período de 10 anos, e intensivamente durante 20 meses.

Nos resultados deste estudo, algas e diatomáceas foram encontrados em 57% das 128 amostras referentes a águas subterrâneas. Já no que diz respeito aos protozoários *Cryptosporidium spp.* e *Giardia*, foram analisados 285 amostras da águas subterrâneas, onde nenhum destes microrganismos patogênicos foi detectado. Os autores concluem que mesmo havendo a influência hidrológica, o sistema de filtração em margem é altamente efetivo no que se refere à remoção de protozoários.

Gupta (2009) conduziu um estudo experimental realizado em colunas filtrantes a fim de simular a filtração em margem, os experimentos foram realizados com 7 colunas em escala piloto (6 colunas com distância de transporte de 3 m e 1 coluna com 9 m), no qual foi avaliado a remoção de microrganismos com dimensões que variem ao longo de 2 ordens de grandeza, tais como vírus (0,025 – 0,065 μm), bactérias (1 – 2 μm) e *Cryptosporidium parvum* (4 – 7 μm). Dentre estes diferentes organismos, os indicadores de bactérias foram transportados ao longo de maiores distâncias e com as maiores concentrações, enquanto que uma retenção muito maior foi observada para microrganismos menores (indicadores de vírus) e maiores (oocistos de *Cryptosporidium parvum*). Neste estudo, os organismos com dimensão maior que 2 μm (*Cryptosporidium parvum*) sofreram remoção completa (superior a 3 ordens de magnitude de remoção) sobre a distância de transporte de 3 m.

3.3.4. Remoção de turbidez

Devido aos processos naturais de atenuação tais como filtração, sorção, reações ácido-base, oxidação, redução, hidrólise, reações bioquímicas e outros processos, a filtração em margem é capaz de filtrar os possíveis contaminantes presentes na água (DASH *et al.*, 2010).

Dash *et al.* (2010) avaliaram a eficiência da filtração em margem para melhoria da qualidade da água de rio em Haridwar, Índia. Nesse estudo foi avaliada a filtração em margem nos períodos de monção e não monção, sendo que no período de monção, ocorreu um acréscimo de turbidez entre 50-100 vezes. Nos períodos onde não ocorreu monção, a eficiência de remoção de turbidez foi de 1 log, porém, nos meses de monções, a eficiência aumentou e estabeleceu-se em 2 logs. A distância observada entre a água superficial e o poço de captação é superior a 115 m, e o tempo de infiltração no solo nos meses de monção foi de 77 dias, e 84 dias para os períodos onde não ocorreram monções.

Dillon *et al.* (2002) em sua pesquisa relatou a presença de cianobactérias e cianotoxinas na bacia do rio Murray-Darling, na Austrália. Através de um sistema de filtração em margem, a remoção das toxinas ocorreu através dos fenômenos de adsorção e biodegradação no meio filtrante. Em conclusão, os autores indicaram a técnica de filtração em margem como uma opção viável para pequenas captações de água em regiões áridas e semi-áridas, a fim de promover a remoção de cianotoxinas e reduzir turbidez.

Weiss *et al.* (2005) conduziu um monitoramento microbiológico superior ao período de 1 ano em três unidades de filtração em margem em escala real localizados nos Estados Unidos. A média da remoção de turbidez nas três unidades avaliadas estabeleceu-se entre os valores de 2,2 e 3,3 logs de remoção, que resulta em uma turbidez inferior a 1 uT. Os dados obtidos para turbidez da água filtrada manteve-se de forma uniforme em relação aos valores medidos, até mesmo quando foram evidenciadas grandes variações nas águas superficiais.

Campos (2012) estudou a aplicação da técnica de filtração em margem no manancial da Lagoa do Peri, em Florianópolis, Santa Catarina. O objetivo do estudo foi proporcionar a produção de água potável. A água proveniente da filtração em margem

apresentou uma melhora significativa nos parâmetros turbidez e cor aparente, sendo que os valores permaneceram abaixo dos valores permitidos pela Portaria nº 2914 do Ministério da Saúde. A turbidez apresentou uma eficiência de remoção de 97%, apresentando valor médio de 0,19 uT, mínimo de 0,13 uT e máxima de 0,31 uT.

Shamrukh e Abdel-Wahab (2008) apresentaram um estudo realizado em escala real em unidade de filtração em margem localizada no Alto Egito, aos arredores do Vale do Nilo. O estudo objetivou a produção de água potável para abastecimento. A unidade utilizada nesse trabalho foi construída em 2004 com a finalidade abastecer a cidade de Sidfa (30.000 habitantes). O sistema conta com 6 poços verticais apresentando profundidade de 60 m e distância de infiltração de 30 m a oeste da margem do Nilo. Dentre os diversos parâmetros avaliados, a turbidez apresentou remoção maior que 95% nas águas filtradas em margem. A turbidez da água bruta do Rio Nilo mostrou média de 6,7 uT enquanto a água filtrada mostrou-se com média de 0,3 uT.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo da remoção de *Cryptosporidium spp.* por filtração em margem foi desenvolvido mediante a construção, operação e avaliação de um sistema piloto composto por colunas filtrantes de sedimento.

4.1. ÁGUA DE ESTUDO

A água de estudo é proveniente da Lagoa do Peri, localizada na região sudeste da Ilha de Santa Catarina e correspondente ao manancial responsável por abastecer a costa leste e sul da ilha. É a maior fonte de água doce da ilha e destaca-se por abrigar um grande ecossistema protetor da biodiversidade local, sendo o *habitat* natural de diversas espécies de fauna e flora. A região possui como principal característica as atividades de turismo ecológico e conservação.

A Lagoa do Peri e sua bacia são partes formadoras do Parque Municipal da Lagoa do Peri, e possui ocupação restrita desde 1981, porém, no ano 2000, a Companhia Catarinense de Águas e Saneamento (CASAN) investiu no tratamento de água deste local através da tecnologia de filtração direta, abastecendo

uma população de aproximadamente 102.000 pessoas em épocas de inverno e 113.000 pessoas em épocas de verão (CASAN, 2013).

Embora apresente conexão com o mar, a Lagoa do Peri possui água completamente doce, pois está a uma cota topográfica de 3 m acima do nível mar, evitando assim a entrada de água salgada do oceano. A Figura 4 ilustra a localização da Lagoa do Peri dentro da ilha de Florianópolis, Santa Catarina.

Figura 4. Lagoa do Peri situada na Ilha de Santa Catarina.



Fonte: Adaptado de Google Earth (2012).

O manancial da Lagoa do Peri é um ambiente preservado onde encontra-se apenas a poluição natural, não caracterizando-se como um ambiente que possa receber aportes constantes do protozoário *Cryptosporidium spp.* Para ser possível a proposta deste trabalho, microesferas foram utilizadas para simulação deste organismo, aplicando-as diretamente no topo das colunas. Este manancial foi escolhido para que possibilitasse a realização do estudo com água natural.

4.2 ENSAIOS PRELIMINARES

Para iniciar a avaliação da filtração em margem, ensaios preliminares foram realizados para se obter alguns parâmetros relativos às características do meio filtrante, como o diâmetro efetivo e o coeficiente de uniformidade.

Para obtenção destes parâmetros, efetuaram-se ensaios granulométricos no solo da Lagoa do Peri seguindo o roteiro proposto pela norma NBR 7181 (ABNT, 1984). O ensaio granulométrico pode ser encontrado no apêndice A.

Em resumo, a amostra de solo foi coletada nos primeiros 30 cm de profundidade a cerca de 5 metros de distância da margem, sendo posteriormente seca em estufa a temperatura de 105°C–110°C até constância de massa, e em seguida passada por um sistema de peneiras como sugere a norma, anotando-se as massas retidas acumuladas em cada peneira para posteriormente realizar os cálculos e obter os dados desejados.

Foi realizado também um ensaio de diluição preliminar ao estudo de remoção de microesferas. Como a água utilizada no estudo é proveniente da Lagoa do Peri, optou-se por realizar a diluição desta água antes de aplicar nas colunas para que pudesse resultar em um maior volume, demandando com menor frequência as buscas por água. Para isso, diluiu-se a água bruta da Lagoa do Peri com água potável de torneira e em seguida foi analisado o valor de turbidez. A turbidez da água bruta estabeleceu-se com média de 6,2 uT, e em seguida foram testados 3 opções de diluições, a configuração escolhida foi de 40% de água bruta da lagoa e 60% de água potável de torneira, a qual mostrou média de 3,3 uT. As tabelas com os dados de diluição podem ser encontrados no apêndice B deste trabalho.

Para aplicação da água de estudo nas colunas de filtração em margem, foi necessário realizar previamente a adição de tiosulfato de sódio 1,8% na água de torneira, objetivando conseguir a inibição do cloro a fim de evitar a morte dos microrganismos presentes na água bruta e no próprio solo. O processo de inibição do cloro foi realizado como recomenda a Probac do Brasil (2013).

4.3. SISTEMA EXPERIMENTAL

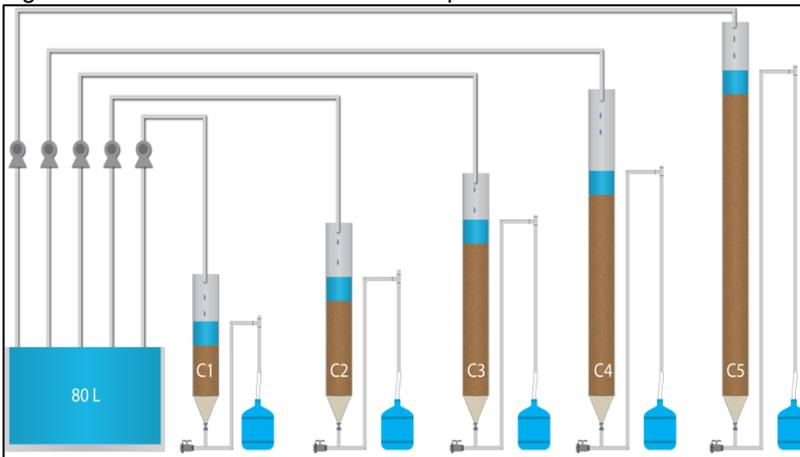
4.3.1. Sistema piloto

A construção do sistema piloto para efetivação do estudo foi realizado no Laboratório de Potabilização de Águas (LAPOÁ) do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (ENS), localizado no Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

A escolha de realizar os experimentos em colunas filtrantes encontra sua base de ideias no trabalho realizado por Gupta (2009), no qual o organismo *Cryptosporidium parvum* sofreu remoção completa em colunas filtrantes de sedimento sobre a distância de transporte de 3 m.

O sistema piloto é composto por um total de cinco colunas filtrantes, com escoamento descendente de 0,5 m, 1 m, 1,5 m, 2 m e 3 m de percurso no sedimento. Todas as colunas usadas no experimento possuem 150 mm de diâmetro e são feitas de policloreto de vinila (PVC), pois se trata de um material opaco cuja função é diminuir a incidência de luz. A Figura 5 ilustra de maneira completa o sistema piloto utilizado neste estudo.

Figura 5. Coluna filtrante utilizada no experimento.



O sistema piloto de filtração em margem é alimentado continuamente através de 5 bombas dosadoras Exatta modelo EX00504 a uma vazão de entrada correspondente a 150 mL/h.

Os modelos de bomba EX são apropriados para baixas vazões, os quais podem variar entre 0,1 a 20 L/h. A dosagem é realizada por meio de impulsos eletromagnéticos que movimentam um diafragma de teflon através de um pistão, permitindo uma dosagem fixa para cada pulso. A frequência de pulso é controlada pelo painel frontal da bomba, proporcionando o controle da vazão através do número de ejeções por minuto. O Quadro 4 mostra as propriedades do modelo de bomba EX a ser utilizado.

Quadro 4. Propriedades da bomba dosadora.

Modelo	Vazão	Pressão Max.	Volume por injeção	Injeções por minuto	Válvula de injeção
EX00504	0-500 mL/h	4 bar	0,083 mL	0-100	Sim

Apesar de operarem de forma independente, as bombas dosadoras possuem a mesma fonte de água para alimentação, correspondente a um reservatório de 80 L, de modo que todas as 5 bombas utilizadas estão conectadas a este reservatório.

O sedimento usado para preencher o interior das colunas é proveniente do próprio solo da Lagoa do Peri, retirado a aproximadamente 5 metros de distância adentro da lagoa e 30 cm de profundidade no solo. Os volumes de material filtrante inseridos nas 5 colunas são de aproximadamente 9, 18, 26,5, 35,5 e 53 L em cada coluna, sendo referentes às colunas com espessura filtrante de 0,5 m, 1 m, 1,5 m, 2 m e 3 m, respectivamente.

Dentro de cada coluna filtrante há uma camada suporte com espessura de 10 cm, a qual deverá servir como base de apoio ao sedimento a fim de evitar o assoreamento e o transporte de material filtrante. O material que forma a camada suporte é composto por pedregulho de granulometria variável entre 2 mm e 30 mm.

O pedregulho da camada suporte possui granulometria maior do que a do solo utilizado como meio filtrante. Isto é necessário para que o pedregulho não interfira na qualidade do tratamento, uma vez que os contaminantes que passaram pela

granulometria menor não encontrarão problemas ao passar através dos poros maiores.

No final das colunas filtrantes, acoplado pela parte interior dos tubos PVC há um funil, cujo bico de saída deste é também a única saída da coluna. A finalidade da presença do funil é convergir toda a água que passa pela coluna em um único ponto, assegurando desta maneira que nenhuma microesfera permaneça presa em alguma zona morta no sistema.

Ao topo de cada coluna há uma camada de água sobre o solo, esta camada existe no experimento com o objetivo de evitar a formação de caminhos preferenciais através do preenchimento de todo o diâmetro da coluna com água, além de providenciar carga hidráulica para que possa ocorrer a infiltração. Acima da camada de água, há também uma camada livre de tubo a fim de evitar qualquer tipo de vazamento através da parte superior das colunas. A foto real do sistema piloto completo com todas as 5 colunas filtrantes é ilustrado pela Figura 6.

Figura 6. Sistema piloto completo.



4.3.2. Parâmetros de projeto

A Tabela 4 apresenta os parâmetros de projeto adotados para construção das colunas filtrantes.

A determinação da porosidade total foi realizada de acordo com o Manual de Métodos de Análises de Solo da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 1997).

A porosidade efetiva foi adotada de acordo com os valores propostos por Driscoll (1987) para solos predominantemente arenosos. A partir da porosidade efetiva, pode-se obter o tempo de detenção das colunas através da Equação 1:

$$TD = \frac{V \times \text{Porosidade efetiva}}{Q} \quad (1)$$

Onde:

- TD = tempo de detenção (h)
- V = Volume (m³)
- Q = Vazão (m³/h)

Multiplique o volume da coluna pela porosidade efetiva para que se possa descontar o espaço físico da areia, obtendo somente o volume de espaços vazios em que a água percorre.

Tabela 4. Parâmetros de projeto utilizado nas colunas filtrantes.

Parâmetro	Coluna 1	Coluna 2	Coluna 3	Coluna 4	Coluna 5
Diâmetro interno do filtro (mm)	145	145	145	145	145
Comprimento da coluna (m)	1,5	2	2,5	3,5	4
Espessura do meio filtrante (m)	0,5	1,0	1,5	2,0	3,0
Espessura da camada suporte (cm)	10	10	10	10	10
Diâmetro da camada suporte (mm)	2 - 30	2 - 30	2 - 30	2 - 30	2 - 30
Taxa de filtração (m ³ /m ² .d)	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22
Diâmetro efetivo do solo (mm)	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16

Tabela 4. Parâmetros de projeto utilizado nas colunas filtrantes (continuação).

Coefficiente de uniformidade do solo	1,69	1,69	1,69	1,69	1,69
Porosidade Total (%)	36,7	36,7	36,7	36,7	36,7
Porosidade Efetiva (%)	20	20	20	20	20
Tempo de detenção (h)	11	22	33	44	66

4.3.3. Operação do sistema piloto

4.3.3.1. Aclimação do sistema piloto

Após a montagem do sistema piloto, iniciou-se o processo de aclimação das colunas correspondente ao período de 31/07/2013 até 29/10/2013 (90 dias), pois acredita-se que o sistema possui um tempo próprio de adaptação e aclimação antes de começar a apresentar resultados estáveis e confiáveis. Portanto, a fim de acompanhar esta adaptação, realizou-se o monitoramento físico-químico das colunas filtrantes durante todo o período de aclimação. Os detalhes sobre os parâmetros avaliados nesse período são apresentados no Quadro 5, que mostra as análises propostas e a frequência em que foram realizadas.

Quadro 5. Parâmetros, frequências e equipamentos durante o período de aclimação.

Parâmetros	Frequência de análise	Equipamento
Carbono orgânico total - COT (mg/L)	Semanal	Analizador de carbono Shimadzu TOC-L
Condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Semanal	Condutivímetro Lutron CD-4303
Cor Aparente (uH)	Semanal	Espectrofotômetro HACH DR 2800
Oxigênio dissolvido (mg/L)	Semanal	Oxímetro portátil YSI 550A
pH	Semanal	pHmetro Orion 330

Quadro 5. Parâmetros, frequências e equipamentos durante o período de aclimação (continuação).

Temperatura (°C)	Semanal	Condutivímetro Lutron CD-4303
Turbidez (uT)	Diária	Turbidímetro portátil HACH 2100P

4.4. APLICAÇÃO DE MICROESFERAS NAS COLUNAS DE SEDIMENTO

As microesferas utilizadas para simulação de *Cryptosporidium spp.* correspondem a micropartículas fluorescentes feitas de poliestireno e carboxilato, apresentando diâmetro de 4,5 µm com um coeficiente de variação de 7%. Possuem excitação máxima em 441 nm e emissão máxima de 486 nm. Maiores detalhes sobre as microesferas podem ser adquiridas com a empresa fabricante Polyscience Incorporation.

Inicialmente, as microesferas vem armazenadas em tubos de 5 mL com a concentração de $4,99 \times 10^8$ partículas/mL. Dessa forma, visando alcançar a concentração desejada de aplicação nas colunas, retirou-se 1,5 mL da amostra inicial de microesferas e elevou-se o volume total dessa alíquota para 1 L, a qual passou a ter a concentração de aproximadamente $7,5 \times 10^5$ partículas/mL.

A aplicação no sistema piloto é realizada através do pulso de 2 mL desta solução no topo de cada coluna filtrante, ou seja, aproximadamente $1,5 \times 10^6$ partículas/coluna.

4.4.1. Coleta e análise de microesferas nas águas filtradas

Após a aplicação das microesferas nas colunas de filtração em margem, iniciou-se o processo de coleta de amostras para posterior análise em microscópio.

A partir do momento em que se aplicam as microesferas no topo das colunas, inicia-se uma coleta a cada 12 h ao longo de um período total de 132 h. Esta coleta corresponde em retirar uma amostra homogeneizada de cada galão que recebe água filtrada durante este tempo e em seguida analisar a turbidez das mesmas, posteriormente, retira-se uma alíquota de 1 mL dessa amostra para se levar ao microscópio de fluorescência, onde é

avaliado se há ou não a presença das microesferas. Depois, descarta-se o restante de água filtrada contida no galão, e inicia-se outra coleta de água por mais 12 h.

Escolheu-se realizar a amostragem durante 132 horas por corresponder ao dobro do tempo de detenção da maior coluna (66 horas), garantindo assim a coleta total do pulso aplicado até mesmo se o sistema liberar microesferas após os tempos de detenção previstos para as colunas.

Houve 5 passagens de microesferas no sistema piloto, as quais ocorreram com o intervalo mínimo de 2 semanas entre uma passagem e a próxima. Este tempo foi escolhido por ser suficiente para renovar toda a água dentro das colunas, para que não haja liberação de microesferas provenientes de uma passagem anterior na amostragem atual. Outra precaução adotada para evitar este tipo de erro foi a amostragem no tempo 0 h, ou seja, assim em que o pulso contendo as microesferas era aplicado, coletava-se imediatamente uma amostra do filtrado para se ter certeza de não estar havendo liberação de microesferas das passagens anteriores.

4.5. MONITORAMENTO DA EFICIÊNCIA DE TRATAMENTO DO SISTEMA PILOTO:

4.5.1- Análises físico-químicas:

Após o período de aclimatação, o controle de qualidade da água foi realizado de maneira mais ampla, de forma a abordar mais parâmetros, os quais estão indicados na Tabela 5.

Os parâmetros de qualidade da água foram medidos na água bruta antes do experimento de filtração e também após a passagem pela coluna, para que possa ser feita a comparação e assim determinar a eficiência do sistema.

Tabela 5. Parâmetros, métodos analíticos e equipamentos utilizados.

Parâmetro	Equipamento analítico	Método Analítico
COT (mg/L)	Analizador de carbono Shimadzu TOC-L	Oxidação por combustão catalítica (680 °C)
Coliformes Totais (NMP/100mL)	ColiLert ®	Quanti-Tray®/2000
Condutividade (µS/cm)	Condutímetro Lutron CD-4303	Método Condutimétrico
Cor Aparente (uH)	Espectrofotômetro HACH DR 2800	APHA Platinum - Cobalt – S.M, $\lambda = 455\text{nm}$
Cor Verdadeira (uH)	Espectrofotômetro HACH DR 2800	Idem ao cor aparente, com filtragem prévia em membrana 0,45µm
E. Coli (NMP/100mL)	ColiLert ®	Quanti-Tray®/2000
Oxigênio dissolvido (mg/L)	Oxímetro portátil YSI 550A	Método polarográfico
pH	pHmetro Orion model 330	Método potenciométrico
Sólidos Dissolvidos Totais – SDT (mg/L)	Condutímetro Lutron CD-4303	Relação empírica proposta por Metcalf & Eddy (1991) e Apha <i>et al.</i> (1992)
Temperatura (°C)	Condutímetro Lutron CD-4303	Termômetro digital
Turbidez (uT)	Turbidímetro portátil HACH DR 2100P	Método nefelométrico

Com relação ao parâmetro SDT, utilizou-se a relação empírica entre condutividade e sólidos dissolvidos totais proposta por Metcalf & Eddy (1991) e Apha *et al.* (1992) para se estimar um parâmetro em função do outro. A Equação 2 utilizada é apresentada a seguir:

$$\text{SDT} = 0,64C \quad (2)$$

Onde:

- SDT = Sólidos dissolvidos totais (mg/L)
- C = condutividade ($\mu\text{S/cm}$)

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. ACLIMATAÇÃO DO SISTEMA PILOTO

O processo de aclimatação do sistema piloto englobou um período de 90 dias, no qual procurou-se identificar através das análises físico-químicas a quantidade de dias necessários para que o sistema se mantivesse estável, e dessa forma, pudesse apresentar resultados mais confiáveis.

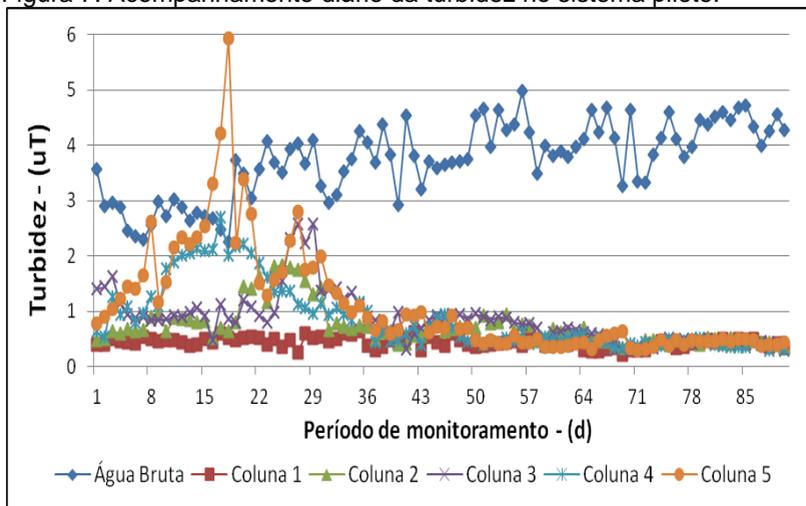
Os resultados obtidos no sistema piloto para os parâmetros turbidez e cor aparente nem sempre estiveram de acordo com os valores propostos pela Portaria nº 2914 do Ministério da Saúde, porém, este fato já era esperado durante o período de aclimatação, pois trata-se ainda de uma adaptação do sistema. No entanto, após o monitoramento de 90 dias foi possível observar que o sistema apresentou uma tendência a estabilizar e melhorar os resultados com o passar do tempo, que neste caso, foi suficiente para se enquadrar dentro dos valores propostos pela legislação, já que a partir do 36º dia de aclimatação nenhum resultado de turbidez foi encontrado acima de 1 uT, sendo este o valor máximo permitido por lei para águas subterrâneas e filtração lenta (precedendo desinfecção), sendo esta a categoria em que melhor se enquadra a filtração em margem.

Por sua vez, os valores obtidos para cor aparente começam a apresentar tendência a estabilizar os resultados a partir do 15º dia de monitoramento, enquanto que aproximadamente na metade do período de aclimatação (43º dia) o sistema piloto obteve todos os resultados abaixo de 15 uH,

correspondente ao valor máximo permitido pela legislação brasileira. Os resultados dos parâmetros turbidez e cor aparente estão expostos na Figura 7 e 8, respectivamente.

Ainda no que diz respeito a turbidez, a partir do 70º dia de monitoramento, nenhum resultado obtido foi superior a 0,5 uT, sendo que com esses valores, os resultados se enquadrariam até mesmo na categoria mais rigorosa da legislação, que corresponde a filtração rápida através do tratamento convencional (coagulação, floculação, sedimentação e filtração) ou filtração direta, para essa categoria o limite máximo permitido é 0,5 uT.

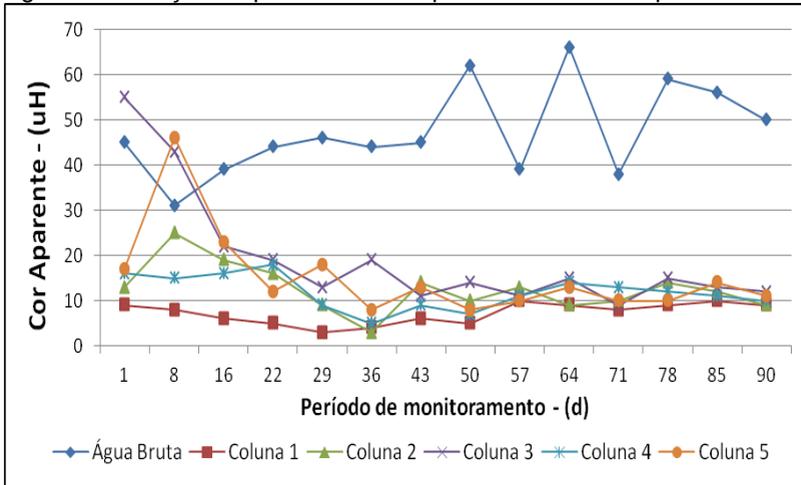
Figura 7. Acompanhamento diário da turbidez no sistema piloto.



Durante os 90 dias de aclimação, o parâmetro COT apresentou média de remoção de 53,7% para a coluna 1, 47,6% para a coluna 2, 52% na coluna 3, 51,3% na coluna 4, e por último, 46,6% de remoção na coluna 5, de maior percurso no sedimento (3 m). Este parâmetro será melhor discutido na sessão 5.2.1 deste trabalho, onde abordará melhor a qualidade da água obtida pela filtração em margem. Os dados obtidos no período de aclimação para o parâmetro COT estão expostos na Figura 9, enquanto as médias dos resultados podem ser encontradas na Tabela 6.

Já em relação aos demais parâmetros, apesar de não serem especificados valores na legislação, acredita-se que condutividade, temperatura e oxigênio dissolvido estejam de acordo com os padrões de uma água de boa qualidade. Os resultados alcançados são exibidos na Tabela 6.

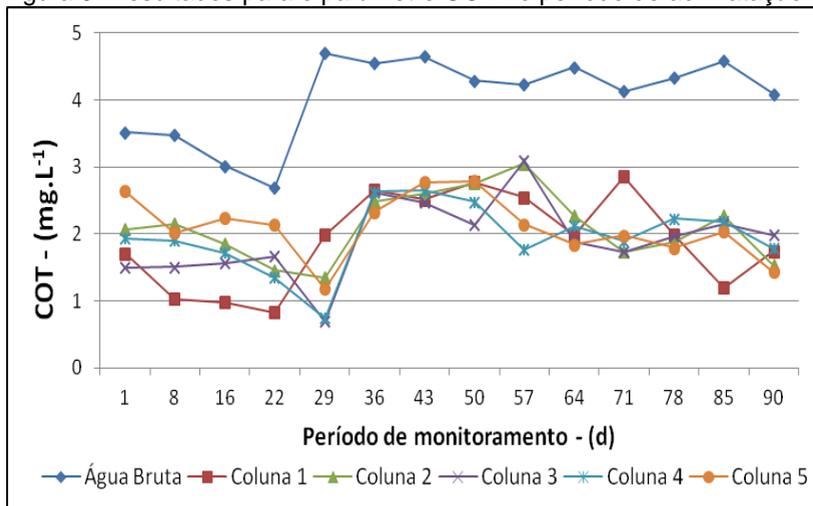
Figura 8. Evolução do parâmetro cor aparente no sistema piloto.



Após os 90 dias de monitoramento do sistema piloto foi possível observar que a aclimação das colunas é de fundamental importância para que se possa obter resultados mais confiáveis e com maior eficiência de remoção. De forma geral, os resultados observados no final do período de monitoramento mostraram maiores remoções do que os obtidos no período inicial do estudo, comprovando assim a grande relevância do período de aclimação para um sistema piloto.

Os parâmetros cor aparente, pH e turbidez enquadraram-se perfeitamente na legislação brasileira. Já os parâmetros em que não são especificados valores máximos permitidos, como é o caso da condutividade, COT, oxigênio dissolvido e temperatura, conseguiram alcançar valores condizentes com uma água de boa qualidade, porém, ainda não potável.

Figura 9. Resultados para o parâmetro COT no período de aclimação.



Com base nos resultados analisados, considera-se aclimatado o sistema piloto após 45 dias de operação, pois nessa altura já é possível alcançar resultados suficientemente bons para se enquadrarem na legislação brasileira. Já com 70 dias de aclimação, o sistema pode ainda melhorar seus resultados, apresentando valores de turbidez inferiores a 0,5 uT.

Tabela 6. Média e desvio padrão de parâmetros monitorados durante o período de aclimação.

	Água Bruta	C1	C2	C3	C4	C5	Port. N° 2914/2011
Condutividade n = 14	70,3 ^a ± 4,3 ^b	73,4 ± 3,2	73,4 ± 2,8	74,0 ± 2,6	75,1 ± 6,5	75,8 ± 8,5	N.E.
Cor Aparente n = 14	47,4 ± 10	7,2 ± 2,3	12,6 ± 5,2	19,4 ± 13,3	11,9 ± 3,7	15,2 ± 9,8	15 uH
COT n = 9	4,0 ± 0,6	1,9 ± 0,7	2,1 ± 0,5	1,9 ± 0,6	2,0 ± 0,5	2,1 ± 0,5	N.E.
Oxigênio Dissolvido n = 12	4,3 ± 0,4	4,8 ± 0,4	4,6 ± 0,3	4,6 ± 0,4	4,7 ± 0,4	4,7 ± 0,4	N.E.
pH n = 14	5,9 ± 0,6	6,3 ± 0,6	6,4 ± 0,5	6,9 ± 0,3	7,1 ± 0,3	7,4 ± 0,2	6,0-9,5
Temperatura n = 14	19,8 ± 1,8	19,8 ± 1,9	19,8± 1,9	19,8 ± 1,9	19,8 ± 1,8	19,8 ± 1,9	N.E.
Turbidez n = 90	3,4 ± 0,7	0,4 ± 0,1	0,7 ± 0,4	0,8 ± 0,5	0,9 ± 0,6	1,1 ± 1,0	1 uT

^a – Média; ^b – Desvio Padrão; n – Número de amostragem; N.E. – Não especificado

5.2. QUALIDADE DA ÁGUA PRODUZIDA PELO SISTEMA PILOTO APÓS O PERÍODO DE ACLIMATAÇÃO

Os dados avaliados neste período foram conduzidos após os 90 dias do período de aclimação. Portanto, esses dados mostram a real eficiência do sistema piloto.

5.2.1. Carbono orgânico total e turbidez

As médias de remoção obtidas para o parâmetro COT na pós-aclimação assemelharam-se com os valores encontrados no trabalho de Esquivel (2012), estabelecendo médias de 59,21%, 57,25%, 56,42%, 54,36% e 54,20% para as colunas 1, 2, 3, 4 e 5, respectivamente. Como é possível notar, a coluna com maior percurso de infiltração (coluna 5) apresentou as menores taxas de remoção, enquanto observou-se o contrário para a coluna 1, ou seja, após os primeiros 0,5 m, os valores obtidos para COT se elevaram juntamente com o tempo de contato nas colunas. Este comportamento pode acontecer devido ao fenômeno de dessorção/dissolução de carbono orgânico sólido no interior das colunas, esse efeito pode ser intensificado através do aumento da temperatura.

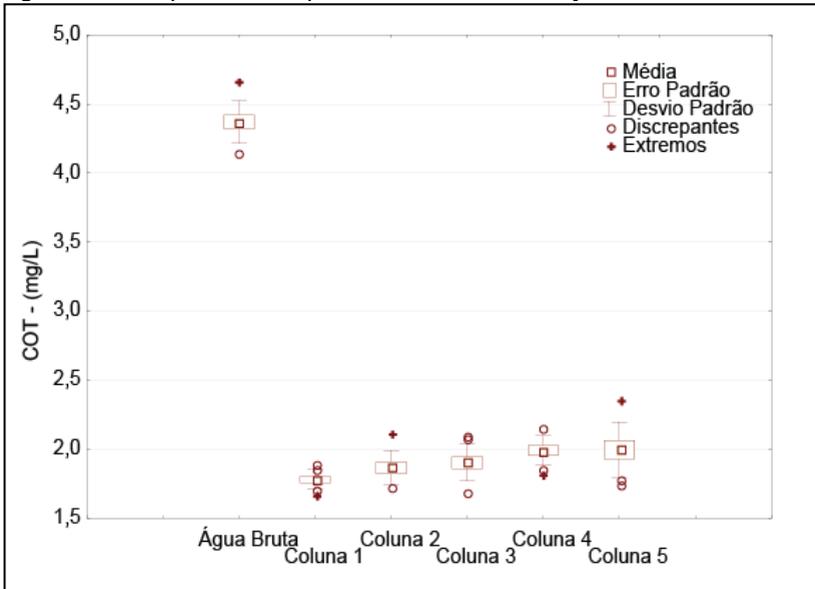
Esse mesmo fato foi relatado por Shoenheinz (2004) em um estudo realizado com colunas filtrantes de sedimento, no qual observou a dessorção da matéria orgânica presente no próprio meio filtrante, conforme ocorreu o aumento da temperatura.

Os valores obtidos no parâmetro COT também foram condizentes com os dados encontrados por Mondardo (2009), que avaliou a filtração em margem na Lagoa do Peri como alternativa de pré-tratamento à filtração direta. Através do uso de colunas de sedimento, a autora encontrou 81% de remoção de COT, mas apesar da eficiência de remoção maior, o valor médio obtido na água filtrada estabeleceu-se em 1,93 mg/L, semelhante aos dados obtidos neste estudo.

Os dados encontrados para o parâmetro COT podem ser encontrados na forma de gráfico box plot, na Figura 10.

Campos (2012) também estudou a filtração em margem para produção de água potável na Lagoa do Peri, onde avaliou a remoção de COT na água filtrada em margem e encontrou o valor médio de 4,3 mg/L com remoção média de 21,1%. A coleta foi realizada a 20 m da margem.

Figura 10. Box plot de múltiplas variáveis na avaliação de COT.



A turbidez sofreu remoções significativas alcançando valores abaixo do que é estabelecido pela legislação (1 uT), podendo até mesmo ser enquadrado na categoria mais rígida da Portaria nº 2914, pois conseguiu alcançar turbidez inferior a 0,5 uT na água filtrada.

Rabelo (2006) utilizando um sistema de colunas avaliou a filtração em margem na Lagoa do Peri e encontrou 84,9% de remoção de turbidez, estabelecendo valores em torno de 0,8 uT na água filtrada.

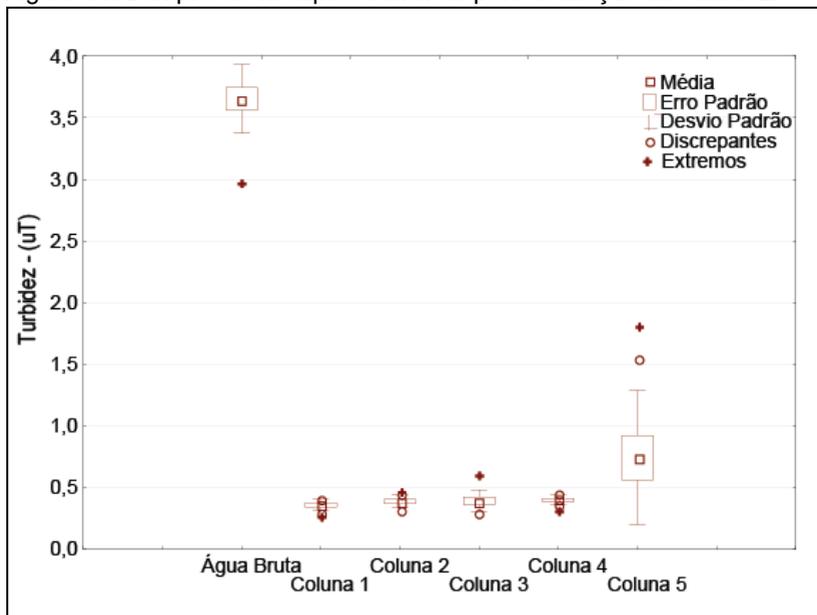
Campos (2012) obteve 97% de remoção de turbidez e média de 0,19 uT na água filtrada em margem. Mondardo (2009) obteve 92% de remoção de turbidez com média de 0,39 uT.

As porcentagens de remoções neste estudo estabeleceram-se em 90,21% para a coluna 1, 89,45% para coluna 2, 89,26% de remoção para coluna 3, 89,08% na coluna 4 e 79,65% na coluna 5. Os dados podem ser observados na Figura 11.

Acredita-se que o motivo da coluna 5 apresentar as menores remoções de turbidez seja devido a liberação de

carbono orgânico sólido do meio filtrante, uma vez que quanto maior o percurso de solo na coluna, maior foi observada a liberação de carbono na água filtrada, e conseqüentemente, menor a remoção de turbidez.

Figura 11. Box plot de múltiplas variáveis para avaliação da turbidez.



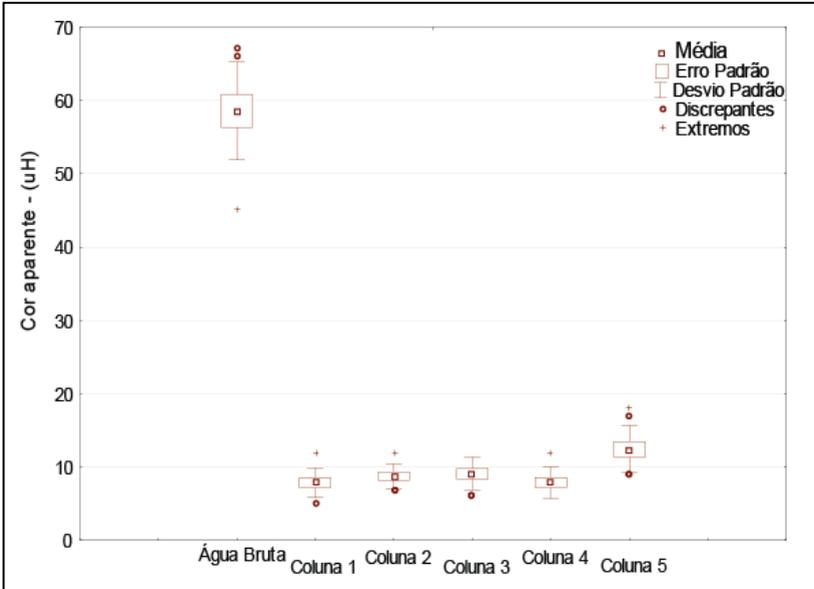
5.2.2. Cor verdadeira e cor aparente

A cor encontrada na água pode originar-se de minerais ou vegetais naturais tais como substâncias metálicas (compostos de ferro e manganês), húmus, algas, matéria orgânica solúvel, entre outros. A cor aparente é caracterizada por substâncias dissolvidas e substâncias em suspensão, já a cor verdadeira é caracterizada apenas pelas substâncias dissolvidas (MICHELAN, 2010).

A remoção de cor está relacionada ao consumo de matéria orgânica dissolvida presente na água, e além de eliminar o teor de cor, o consumo de matéria orgânica está também associado a produção de uma água biologicamente estável (ESQUIVEL, 2012).

O principal mecanismo de remoção de matéria orgânica durante a filtração em margem é devido principalmente aos processos de biodegradação e sorção (GRÜNHEID, AMY & JEKEL, 2005). A remoção de cor aparente e cor verdadeira no sistema piloto são expostas nas Figuras 12 e 13.

Figura 12. Box plot de múltiplas variáveis para o parâmetro cor aparente.



A remoção de cor aparente no sistema piloto estabeleceu-se em aproximadamente 85% nas colunas 1, 2, 3 e 4, enquanto que para a coluna 5 houve uma redução menor de cor, na faixa de 78,7% de remoção. Já para cor verdadeira, os valores médios de remoção foram de 61,3%, 53,4%, 44,3%, 50% e 30,6% para as colunas 1, 2, 3, 4 e 5, respectivamente.

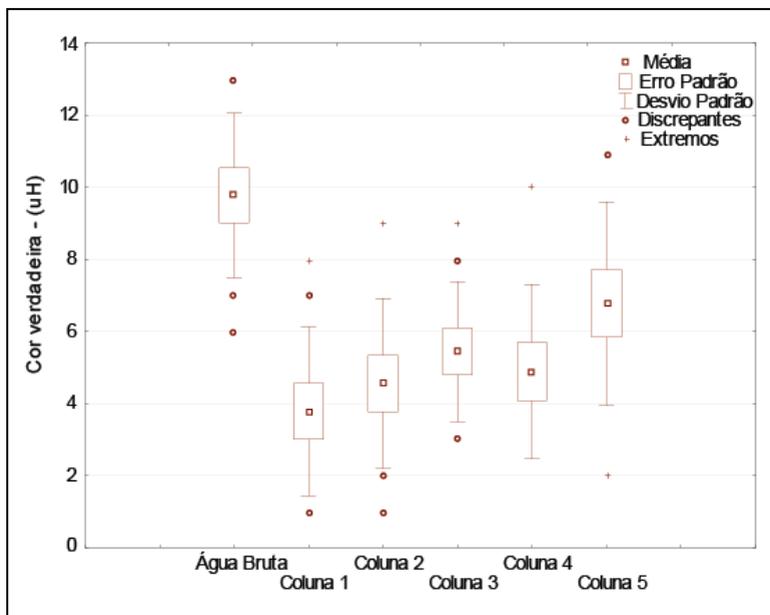
Rabelo (2006) em seus experimentos com colunas filtrantes apresentou 72,2% de remoção de cor aparente com valores em torno de 20 uH.

Mondardo (2009) também realizou um estudo com colunas filtrantes, a fim de simular a filtração em margem na Lagoa do Peri. Nesse estudo a autora alcançou remoção de 90% de cor aparente com valor médio de 6 uH, e 79% de remoção do

mesmo parâmetro quando avaliado em escala real, apresentando valor médio de 13 uH.

Esquivel (2012) estudando a filtração em margem na Lagoa do Peri relatou a remoção de 93,3% de cor aparente, com valor médio de 6 uH na água filtrada em margem.

Figura 13. Box plot de múltiplas variáveis na avaliação da cor verdadeira.



De maneira geral, os valores obtidos no parâmetro cor aparente enquadraram-se corretamente na legislação nacional, que estipula o valor máximo de 15 uH, já no que diz respeito ao parâmetro cor verdadeira, não é especificado nenhum valor máximo na legislação.

5.2.3. Condutividade e sólidos dissolvidos totais

Segundo os padrões de potabilidade estabelecidos pela Portaria nº 2914, o parâmetro sólidos dissolvidos totais possui valor máximo permitido de 1000 mg/L. Assim, todas as amostras de SDT avaliadas neste estudo estiveram bem abaixo do valor proposto pela legislação, já que o valor máximo observado foi de 52,7 mg/L. O parâmetro condutividade não possui valores máximos impostos pela legislação.

Os valores de SDT foram obtidos a partir da fórmula empírica que relaciona SDT e condutividade de acordo como o que foi mencionado no tópico 4.5.1. Por este motivo, os gráficos destes dois parâmetros acabaram se mostrando proporcionalmente iguais, como mostra as Figuras 14 e 15.

Com relação ao leve acréscimo evidenciado na condutividade e nos sólidos dissolvidos totais das águas filtradas em margem, acredita-se que ocorra devido ao processo de erosão e lixiviação do solo durante o percurso da água, já que os maiores valores encontrados correspondem às colunas de maiores percursos no sedimento (MONDARDO, 2009).

Esse tipo de aumento causado na condutividade das águas filtradas já foi observado por Bourg & Bertin (1993), e na própria Lagoa do Peri em estudos anteriores realizados por Mondardo (2009), Esquivel (2012) e Campos (2012).

Dash *et al.* (2010) estudando a filtração em margem em Haridwar, Índia, evidenciou o aumento da condutividade nas águas filtradas em margem e atribuiu esse efeito como resultado da dissolução de minerais presentes no próprio meio filtrante, essa dissolução tende a elevar-se juntamente com o aumento do tempo.

Figura 14. Box plot de múltiplas variáveis do parâmetro condutividade.

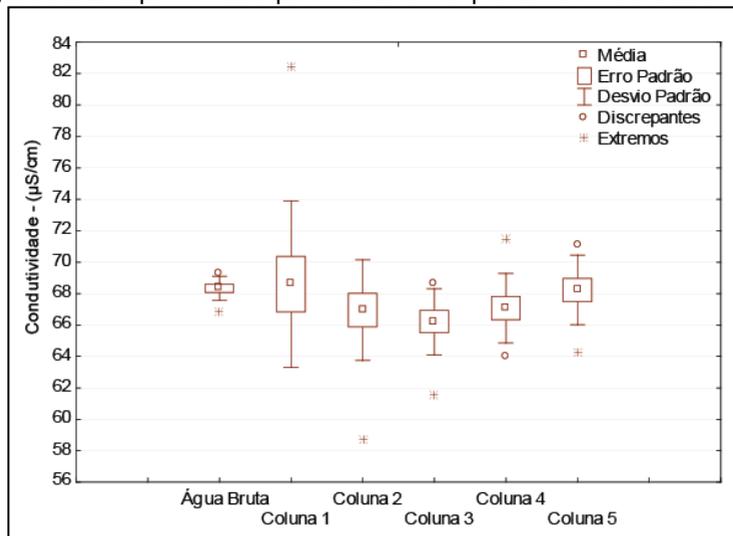
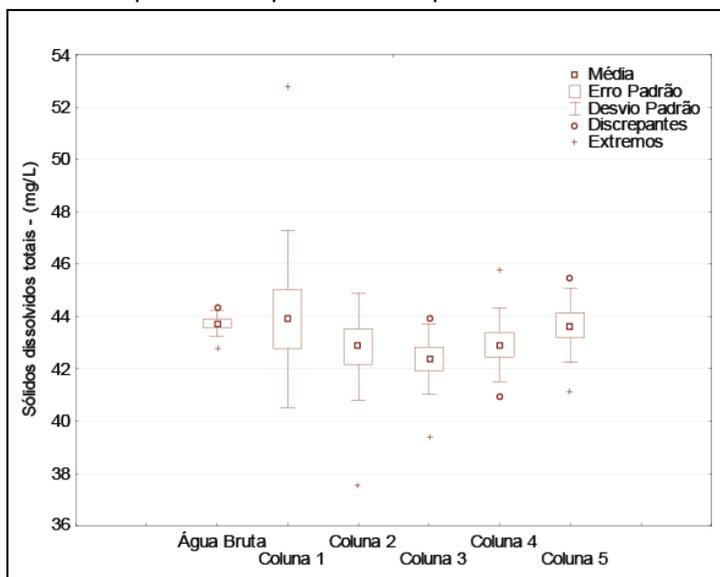


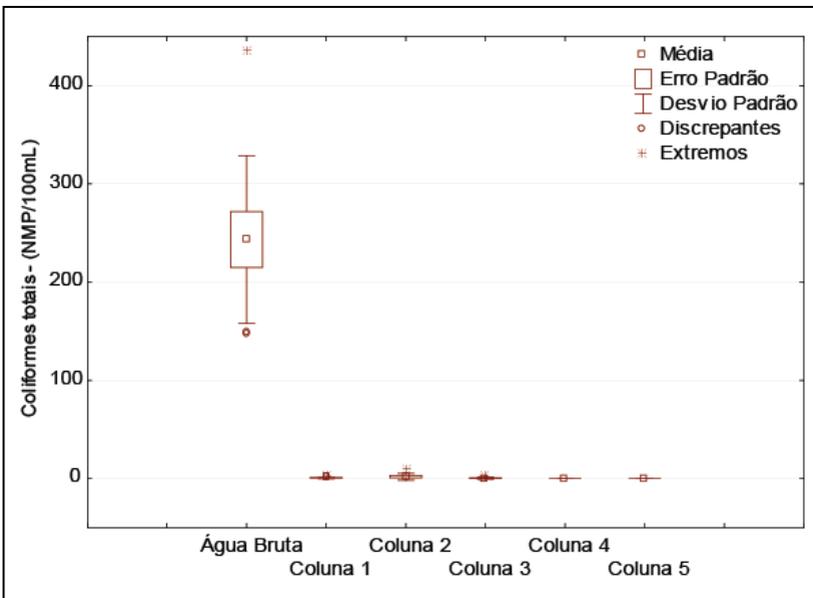
Figura 15. Box plot de múltiplas variáveis para sólidos dissolvidos totais.



5.2.4. Coliformes totais e fecais (*E. Coli*)

O sistema piloto de filtração em margem obteve um ótimo desempenho nas análises de coliformes totais e fecais. No que se refere a remoção de coliformes totais, o sistema obteve média de remoção de 99,8% para a coluna 1, 99,3% para a coluna 2, 99,9% para a coluna 3, e 100% de remoção para as colunas 4 e 5. Em relação à remoção de coliformes fecais, o sistema apresentou 100% de remoção para todas as colunas, até mesmo para a menor coluna de 0,5 m de leito filtrante. Os valores obtidos nestas análises são expostos nas Figuras 16 e 17.

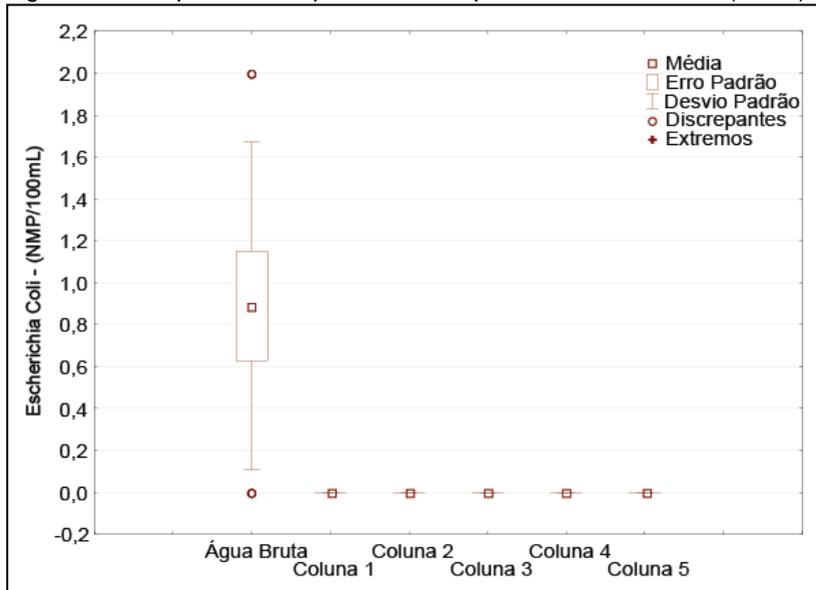
Figura 16. Box plot de múltiplas variáveis na análise de coliformes totais.



Se a filtração em margem fosse utilizada como único tratamento para remoção de coliformes totais, apenas as colunas 4 e 5 se enquadrariam no que é proposto pela legislação, que exige ausência de coliformes em 100 mL, ou seja, só há a remoção de coliformes totais a partir de 2 m de infiltração. Já no que diz respeito os resultados obtidos para coliformes fecais,

todas as colunas podem ser enquadradas na legislação, pois apresentaram ausência em 100 mL em todas as amostras.

Figura 17. Box plot de múltiplas variáveis para coliformes fecais (*E.coli*).



Os resultados encontrados neste estudo foram condizentes com os resultados encontrados por outros autores que também estudaram a filtração em margem. Michelan (2010) obteve remoções através da filtração em margem de rio que variaram entre 97 e 100% para coliformes totais e remoções de 99 a 100% para coliformes fecais.

Dash *et al.* (2008) em um estudo realizado em Nainital, Índia, avaliou a filtração em margem e seu potencial para remoção de coliformes fecais. Os resultados obtidos neste estudo mostraram 100% de eficiência de remoção, sendo que durante o período de 1997 a 2006, nunca foi encontrado coliformes fecais nas águas filtradas em margem.

Dash *et al.* (2011) em Haridwar, Índia, também apresentaram bons resultados quanto a remoção de coliformes totais e fecais por filtração em margem. Os autores obtiveram 4 logs de remoção de coliformes nos meses em que ocorriam

monções e 3 logs de remoção para os meses em que não continham monções.

Soares (2009) em estudo sobre a filtração em margem de lago apresentou 98,5% de remoção de coliformes totais e 100% de remoção para coliformes fecais.

5.2.5. Oxigênio dissolvido, pH e temperatura

Os dados obtidos para estes três parâmetros, apesar de nem todos serem especificados na legislação, são condizentes com os valores de uma água de boa qualidade. As médias e o desvio padrão podem ser observados na Tabela 7.

Tabela 7. Dados de temperatura, OD e pH na pós-aclimatação do sistema piloto.

	Água Bruta	C1	C2	C3	C4	C5	Port. N° 2914
Temperatura n = 9	23,8 ± 1,3	23,8 ± 1,3	23,7 ± 1,3	23,7 ± 1,3	23,7 ± 1,3	23,7 ± 1,4	N.E.
pH n = 9	6,6 ± 0,2	6, 8 ± 0,2	6,9 ± 0,3	7,1 ± 0,2	7,2 ± 0,2	7,2 ± 0,2	6.0-9.5
Oxigênio Dissolvido n = 9	4,5 ± 0,2	4,4 ± 0,5	4,7 ± 0,3	4,7 ± 0,3	4,4 ± 0,1	4,5 ± 0,3	N.E.

^a – Média; ^b – Desvio Padrão; n – Número de amostragem, N.E. – Não Especificado

A respeito dos resultados destes parâmetros quando comparados com os valores encontrados no período de aclimação, nota-se que estes se mantiveram muito semelhantes, com exceção da temperatura, que aumentou devido aos meses em que foram conduzidas estas leituras, que são mais quentes do que os meses em que foi avaliado a aclimação.

5.3. REMOÇÃO DE MICROESFERAS ATRAVÉS DA FILTRAÇÃO EM MARGEM

Com o intuito de não utilizar o microrganismo *Cryptosporidium spp.* para aplicação nas colunas devido ao grande risco que este protozoário confere, optou-se pelo uso das microesferas de poliestireno, que correspondem a esferas com o mesmo diâmetro do protozoário, para que assim, possa desempenhar uma boa simulação deste microrganismo.

Como estas microesferas tratam-se de esferas sólidas e inertes, sua remoção através da filtração em margem ocorre em sua maioria devido aos processos físicos como a retenção ou absorção por organismos maiores.

Devido a problemas relacionados à quantificação das microesferas, não se pode obter o número correto sobre a concentração destas ou sobre a eficiência de remoção de cada coluna, desta forma, os resultados serão abordados apenas ao nível de identificar se houve ou não a presença das microesferas na água filtrada. Os resultados alcançados na microscopia são expostos na Tabela 8, 9, 10, 11 e 12.

O que se pode observar nos resultados obtidos é que a remoção de microesferas acontece a uma distância não menor que 3 m de percurso de infiltração. Nota-se que as microesferas estiveram presentes na água filtrada de 4 das 5 colunas estudadas, apenas a coluna 5, de 3 m de leito filtrante foi capaz de reter completamente e apresentar 100% de remoção das microesferas.

Tabela 8. Primeira passagem das microesferas no sistema piloto.

Microesferas de Poliestireno						Turbidez (uT)					
	C1	C2	C3	C4	C5		C1	C2	C3	C4	C5
0h	A	A	A	A	A	0h	0,22	0,38	0,45	0,41	0,45
0-12h	P	A	A	A	A	0-12h	0,33	0,42	0,48	0,47	0,41
12-24h	P	A	A	A	A	12-24h	0,31	0,34	0,47	0,45	0,44
24-36h	A	P	A	A	A	24-36h	0,39	0,4	0,39	0,38	0,36
36-48h	A	P	A	A	A	36-48h	0,43	0,44	0,3	0,35	0,48
48-60h	A	A	A	A	A	48-60h	0,4	0,31	0,32	0,37	0,47
60-72h	A	A	P	A	A	60-72h	0,29	0,36	0,39	0,43	0,44
72-84h	A	A	A	P	A	72-84h	0,34	0,42	0,48	0,37	0,39
84-96h	A	A	A	P	A	84-96h	0,35	0,3	0,35	0,43	0,34
96-108h	A	A	A	A	A	96-108h	0,39	0,31	0,29	0,33	0,42
108-120h	A	A	A	A	A	108-120h	0,37	0,27	0,34	0,49	0,41
120-132h	A	A	A	A	A	120-132h	0,41	0,43	0,36	0,35	0,44

A – Ausente; P – Presente; C1 – Coluna 1; C2 – Coluna 2; C3 – Coluna 3; C4 – Coluna 4; C5 – Coluna 5

Tabela 9. Segunda passagem das microesferas no sistema piloto.

Microesferas de Poliestireno						Turbidez (uT)					
	C1	C2	C3	C4	C5		C1	C2	C3	C4	C5
0h	A	A	A	A	A	0h	0,26	0,32	0,43	0,48	1,23
0-12h	P	A	A	A	A	0-12h	0,63	0,48	0,58	0,74	1,77
12-24h	A	A	A	A	A	12-24h	0,35	0,38	0,41	0,58	2,9
24-36h	A	A	A	A	A	24-36h	0,37	0,42	0,39	0,52	1,84
36-48h	A	P	A	A	A	36-48h	0,53	0,4	0,36	0,55	2,3
48-60h	A	A	A	A	A	48-60h	0,41	0,38	0,42	0,47	1,97
60-72h	A	A	P	A	A	60-72h	0,39	0,29	0,58	0,43	2,13
72-84h	A	A	A	A	A	72-84h	0,3	0,44	0,49	0,52	1,88
84-96h	A	A	A	P	A	84-96h	0,25	0,35	0,55	0,34	2,04
96-108h	A	A	A	A	A	96-108h	0,32	0,41	0,39	0,44	1,75
108-120h	A	A	A	A	A	108-120h	0,29	0,32	0,43	0,44	1,8
120-132h	A	A	A	A	A	120-132h	0,31	0,34	0,28	0,45	1,54

A – Ausente; P – Presente; C1 – Coluna 1; C2 – Coluna 2; C3 – Coluna 3; C4 – Coluna 4; C5 – Coluna 5

Tabela 10. Terceira passagem das microesferas no sistema piloto.

Microesferas de Poliestireno						Turbidez (uT)					
	C1	C2	C3	C4	C5		C1	C2	C3	C4	C5
0h	A	A	A	A	A	0h	0,26	0,46	0,33	0,36	0,59
0-12h	A	A	A	A	A	0-12h	0,32	0,65	0,3	0,35	0,92
12-24h	P	A	A	A	A	12-24h	0,28	0,57	0,29	0,38	0,54
24-36h	A	P	A	A	A	24-36h	0,23	0,39	0,25	0,33	0,71
36-48h	A	A	A	A	A	36-48h	0,35	0,4	0,39	0,36	0,66
48-60h	A	A	A	A	A	48-60h	0,23	0,28	0,32	0,37	0,59
60-72h	A	A	P	A	A	60-72h	0,28	0,3	0,34	0,29	0,59
72-84h	A	A	A	P	A	72-84h	0,26	0,27	0,33	0,36	0,6
84-96h	A	A	A	P	A	84-96h	0,21	0,21	0,33	0,28	0,55
96-108h	A	A	A	A	A	96-108h	0,26	0,29	0,34	0,34	0,53
108-120h	A	A	A	A	A	108-120h	0,36	0,32	0,36	0,41	0,66
120-132h	A	A	A	A	A	120-132h	0,25	0,3	0,42	0,4	0,54

A – Ausente; P – Presente; C1 – Coluna 1; C2 – Coluna 2; C3 – Coluna 3; C4 – Coluna 4; C5 – Coluna 5

Tabela 11. Quarta passagem das microesferas no sistema piloto.

Microesferas de Poliestireno						Turbidez (uT)					
	C1	C2	C3	C4	C5		C1	C2	C3	C4	C5
0h	A	A	A	A	A	0h	0,36	0,34	0,4	0,43	0,42
0-12h	A	A	A	A	A	0-12h	0,3	0,71	0,46	0,39	0,35
12-24h	P	A	A	A	A	12-24h	0,28	0,47	0,48	0,43	0,43
24-36h	A	P	A	A	A	24-36h	0,32	0,39	0,33	0,35	0,44
36-48h	A	P	A	A	A	36-48h	0,25	0,36	0,32	0,31	0,34
48-60h	A	A	A	A	A	48-60h	0,23	0,32	0,29	0,34	0,32
60-72h	A	A	P	A	A	60-72h	0,27	0,31	0,3	0,46	0,47
72-84h	A	A	A	A	A	72-84h	0,47	0,32	0,29	0,38	0,36
84-96h	A	A	A	P	A	84-96h	0,4	0,29	0,36	0,42	0,46
96-108h	A	A	A	A	A	96-108h	0,31	0,3	0,3	0,39	0,41
108-120h	A	A	A	A	A	108-120h	0,35	0,33	0,29	0,4	0,38
120-132h	A	A	A	A	A	120-132h	0,26	0,28	0,36	0,35	0,41

A – Ausente; P – Presente; C1 – Coluna 1; C2 – Coluna 2; C3 – Coluna 3; C4 – Coluna 4; C5 – Coluna 5

Tabela 12. Quinta passagem das microesferas no sistema piloto.

Microesferas de Poliestireno						Turbidez (uT)					
	C1	C2	C3	C4	C5		C1	C2	C3	C4	C5
0h	A	A	A	A	A	0h	0,39	0,42	0,45	0,33	0,37
0-12h	A	A	A	A	A	0-12h	0,46	0,65	0,44	0,54	0,55
12-24h	P	A	A	A	A	12-24h	0,3	0,53	0,47	0,48	0,41
24-36h	A	P	A	A	A	24-36h	0,34	0,42	0,43	0,53	0,5
36-48h	A	A	A	A	A	36-48h	0,46	0,37	0,39	0,49	0,53
48-60h	A	A	P	A	A	48-60h	0,25	0,35	0,3	0,46	0,41
60-72h	A	A	P	A	A	60-72h	0,34	0,34	0,45	0,39	0,39
72-84h	A	A	A	P	A	72-84h	0,35	0,41	0,56	0,35	0,41
84-96h	A	A	A	P	A	84-96h	0,41	0,32	0,36	0,39	0,41
96-108h	A	A	A	A	A	96-108h	0,23	0,39	0,41	0,5	0,41
108-120h	A	A	A	A	A	108-120h	0,29	0,35	0,4	0,4	0,36
120-132h	A	A	A	A	A	120-132h	0,26	0,4	0,31	0,38	0,4

A – Ausente; P – Presente; C1 – Coluna 1; C2 – Coluna 2; C3 – Coluna 3; C4 – Coluna 4; C5 – Coluna 5

Segundo Tufenkji *et al.* (2002), a remoção de microrganismos patogênicos tais como cistos de *Giardia* (9-12 μm) e oocistos de *Cryptosporidium spp.* (4-6 μm) no processo de filtração em margem é controlado através dos processos físicos de intercepção e sedimentação gravitacional.

Em razão disso, acredita-se que a remoção de microesferas ocorreu na distância de 3 m por ser capaz de prover obstáculos suficientes para causar a retenção de 100% das microesferas aplicadas. Portanto, apesar da coluna 5 não ter obtido os melhores resultados físico-químicos devido a liberação de carbono orgânico sólido na água filtrada, esta coluna apresentou a melhor retenção de poluentes, uma vez foi a única a causar remoção de partículas com diâmetro de 4,5 μm .

O resultado obtido neste estudo esteve de acordo com o que foi encontrado por Gupta (2009), que conduziu um estudo experimental realizado em 7 colunas filtrantes a fim de simular a filtração em margem (6 colunas com leito filtrante de 3 m e 1 coluna com 9 m), no qual foi avaliado a remoção de *Cryptosporidium parvum*. Neste estudo, o organismo *Cryptosporidium parvum* sofreu remoção completa sobre a distância de transporte de 3 m.

Plutzer *et al.* (2007) examinaram a ocorrência de *Cryptosporidium spp.* e *Giardia* em águas tratadas por filtração em margem e em água bruta do Rio Danúbio, Hungria. Neste estudo, foram encontrados oocistos de *Cryptosporidium spp.* em 60% das amostragens de água bruta. Apesar dos organismos *Cryptosporidium spp.* e *Giardia* serem detectados regularmente nas amostras de água bruta, nunca foram detectados na água proveniente da filtração em margem, sugerindo assim, a eficácia deste método de tratamento na remoção destes agentes patogênicos.

A filtração em margem também se mostrou eficiente no trabalho realizado por Weiss *et al.* (2005), no qual conduziu o monitoramento microbiológico em três unidades de filtração em margem em escala real. Através deste estudo, evidenciou-se o potencial da filtração em margem como uma barreira significativa no transporte de microrganismos presentes nas águas superficiais. Os protozoários *Cryptosporidium spp.* e *Giardia* foram detectados ocasionalmente na água do rio, porém, nunca foram detectados na água filtrada dos poços.

Gollnitz *et al.* (2003) objetivaram determinar se a tecnologia de filtração em margem é capaz de alcançar uma redução significativa dos protozoários *Cryptosporidium spp.* e *Giardia*, a um nível em que não seja necessário nenhuma outra etapa de filtração. Nos resultados deste estudo, os protozoários *Cryptosporidium spp.* e *Giardia*, foram analisados em 285 amostras da águas subterrâneas, onde nenhum destes microrganismos foram detectados. Os autores concluem que mesmo havendo a influência hidrológica, o sistema de filtração em margem é altamente efetivo no que se refere à remoção de protozoários.

A Tabela 13 expõe a relação entre a quantidade de amostras analisadas e a quantidade de amostras em que foi possível encontrar as microesferas, foi possível concluir que as microesferas de poliestireno estiveram presentes em aproximadamente 10% das amostras avaliadas.

Tabela 13. Quantidade de amostragens e presença das microesferas.

	Quant. de amostragem	Presença de microesferas	Relação de presença
C1	65	6	9,2%
C2	65	7	10,8%
C3	65	6	9,2%
C4	65	8	12,3%
C5	65	0	0,0%

A partir desses resultados, conclui-se que no cenário avaliado neste estudo, a filtração em margem mostra-se efetiva na remoção de microesferas de poliestireno a partir de 3 m de percurso no sedimento, e apesar das microesferas serem apenas um simulador do protozoário *Cryptosporidium spp.*, fica claro o potencial da filtração em margem para a remoção real desse microrganismo.

É importante destacar que a filtração em margem mostrou-se efetiva na remoção desses contaminantes quando avaliada sob as seguintes condições: aclimação de 90 dias, taxa de filtração aplicada de 0,22 m³/m².d, diâmetro efetivo do solo de 0,16 mm, porosidade total de 36% e porosidade efetiva de 22%.

5.4. TURBIDEZ COMO INDICADOR DA PRESENÇA DE *CRYPTOSPORIDIUM SPP.*

Em situações usuais, o cloro residual é considerado o parâmetro indicador de potabilidade microbiológica na água. Porém, oocistos de *Cryptosporidium spp.* são muito resistentes a ação deste desinfetante e acabam não sendo inativados com as doses habitualmente utilizadas no tratamento de água. Neste contexto, a filtração assume o papel responsável pela remoção deste protozoário, e a turbidez torna-se seu parâmetro de referência (COSTA, 2010).

Na filtração, a remoção de turbidez acontece juntamente a remoção de partículas em suspensão, as quais incluem cistos e oocistos de protozoários. Portanto, na água filtrada, a turbidez exerce a função de indicador sanitário e não unicamente estético. (BRASIL, 2006).

Como já mencionado anteriormente neste trabalho, o artigo 30 da Portaria nº 2914 de 2011 do Ministério da Saúde dispõe que para assegurar a qualidade microbiológica da água, deve-se obter para turbidez o valor máximo de 0,5 uT em 95% das amostras analisadas após o processo de filtração rápida (tratamento convencional ou por filtração direta), e 1 uT para filtração lenta e águas subterrâneas, onde melhor se enquadra a filtração em margem.

Como visto nos resultados de remoção de microesferas (Tabela 8-12), apesar de quase todas as amostras estarem dentro do valor estabelecido de 1 uT, e da grande maioria estarem de acordo com o valor mais rígido da filtração rápida de 0,5 uT, foi possível observar a presença de microesferas na água filtrada, tornando este valor de turbidez pré-estabelecido pela Portaria Nº 2914, um indicador duvidoso da presença de *Cryptosporidium spp.*

A turbidez também se mostrou um indicador não confiável no trabalho de Nascimento (2009), que em escala piloto estudou a remoção de *Cryptosporidium spp.* por meio da filtração direta ascendente em areia. Neste estudo, o autor concluiu estatisticamente que não houve correlação significativa entre a concentração de oocistos de *Cryptosporidium parvum* e os parâmetros turbidez, coliformes totais e *Escherichia Coli*.

Neste presente trabalho, a turbidez se mostrou um mau indicador da presença de *Cryptosporidium spp.* por ter sido evidenciado o aparecimento de microesferas em amostras com valores de turbidez inferiores a 0,5 uT, e por não terem sido encontradas microesferas em amostras que possuíam turbidez mais elevada, entre 1 e 2 uT, as quais estariam mais propensas a presença e o risco que este protozoário confere, uma vez que esses valores encontram-se fora do requerido pela Portaria nº 2914.

O menor valor de turbidez em que foi observado a presença das microesferas foi de 0,28 uT. Portanto, é possível alegar que a turbidez corresponde a um indicador não confiável para amostras com valor maior ou igual a 0,28 uT. Por outro lado, não é plausível fazer afirmações a respeito da confiabilidade da turbidez como indicador da presença de *Cryptosporidium spp.* para amostras com valores menores que 0,28 uT.

Dessa forma, para poder julgar verdadeiramente se a turbidez corresponde a um bom ou mau indicador, deve ser avaliada a possibilidade de encontrar *Cryptosporidium spp.* em amostras com turbidez menor do que 0,28 uT, já que existe a chance deste parâmetro se tornar um indicador mais confiável de *Cryptosporidium spp.* se avaliado com limites mais baixos.

Assim como ocorrido neste estudo, Emelko (2003) encontrou oocistos de *Cryptosporidium* em efluentes filtrados com turbidez abaixo de 0,3 uT. O autor avaliou filtros de dupla e tripla camada, e ainda reforçou que apesar da turbidez ser um indicativo do desempenho de um sistema, este parâmetro não pode ser usado como indicador da remoção de *Cryptosporidium* através de sistemas de filtração.

LeChevallier (2004) estudou a ocorrência de *Cryptosporidium* em água filtrada. Em 1690 amostras retiradas de 100 L de água, 24 mostraram presença de um ou mais oocistos (1,4%). O autor não observou relação entre a detecção de *Cryptosporidium* na água tratada e o valor de turbidez da água bruta, tipo de clarificação, retrolavagem dos filtros ou níveis de automação.

Lopes *et al.* (2010) conduziu um estudo cujo objetivo era realizar a caracterização da ocorrência de oocistos de *Cryptosporidium spp.* e cistos de *Giardia spp.*, assim como avaliar a possível associação entre a presença destes patógenos

com a turbidez da água e com as bactérias *Escherichia Coli* e *Enterococcus spp.* Os resultados estatísticos deste estudo apresentaram fracas correlações entre os protozoários, a turbidez e as bactérias.

Nieminski *et al.* (2008) em seu estudo, coletaram dados de sete estações de tratamento de água localizadas de Utah, durante um período de sete anos. Dentre estes dados, estavam inclusos *Cryptosporidium spp.*, *Escherichia Coli*, turbidez e outros demais parâmetros de qualidade da água. O resultado das análises estatísticas revelou pobres correlações entre a presença de *Cryptosporidium spp.* com o valor de turbidez, assim também como foi observado para *Cryptosporidium spp.* e *E. Coli*.

6. CONCLUSÕES

No que concerne sobre a aclimação do sistema piloto, após os 90 dias de monitoramento do sistema foi possível observar que a aclimação das colunas é de fundamental importância para que se possa obter resultados mais confiáveis e com maior eficiência de remoção. Com base nos resultados analisados, considera-se aclimatado o sistema piloto após 45 dias de operação, pois nessa altura já é possível alcançar resultados suficientemente bons para se enquadrarem na legislação brasileira, já com 70 dias de aclimação, o sistema pode ainda melhorar seus resultados, apresentando valores de turbidez inferiores a 0,5 uT.

A filtração em margem mostrou também seu grande potencial para o tratamento de água, sendo que os parâmetros turbidez, cor aparente, coliformes fecais, coliformes totais (a partir de 2 m de filtração), sólidos dissolvidos totais e pH enquadraram-se perfeitamente na legislação brasileira. Em contrapartida, os parâmetros COT, cor verdadeira, condutividade, temperatura e oxigênio dissolvido, mesmo não sendo especificados valores máximos permitidos na Portaria nº 2914, alcançaram valores condizentes com uma água de boa qualidade, porém, ainda não potável devido à ausência de desinfecção.

Em termos gerais, os parâmetros avaliados neste estudo são substancialmente melhorados nos primeiros 0,5 m de infiltração, como observado na coluna 1, que com o menor

percurso alcança muitas vezes os melhores resultados. Porém, conforme a distância de percurso no sedimento aumenta, observa-se o fenômeno de dessorção/dissolução de carbono orgânico sólido na água filtrada, como observado na coluna 5.

A partir dos resultados de remoção do simulador de *Cryptosporidium spp.* conclui-se que a filtração em margem mostra-se efetiva na remoção destes a partir de 3 m de leito filtrante, pois apenas a maior coluna de 3 m de percurso no sedimento alcançou 100% de retenção das microesferas. É de grande importância destacar que a técnica de filtração em margem mostrou-se efetiva na remoção das microesferas quando avaliada sob as seguintes condições: aclimatação de 90 dias, taxa de filtração aplicada de 0,22 m³/m².d, diâmetro efetivo do solo de 0,16 mm, porosidade total de 36% e porosidade efetiva de 22%.

Já no que diz respeito a turbidez como indicador da presença de *Cryptosporidium spp.*, conclui-se que o valor exigido pela Portaria Nº 2914 de 0,5 uT não garante a qualidade microbiológica da água, tornando-se um indicador não confiável, uma vez que foi observado a presença de microesferas em amostras onde a turbidez alcançou valores menores que 0,5 uT. O menor valor de turbidez em que se observou a presença das microesferas foi de 0,28 uT, sendo que para qualquer valor abaixo deste, não é possível fazer afirmações sobre a confiabilidade da turbidez como indicador da presença de *Cryptosporidium spp.*

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7181/84 - Solo – Análise granulométrica – procedimento. Rio de Janeiro: 13p. 1984.

AMBURGEY, J. E.; AMIRTHARAJAH, A.; YORK, M. T.; BROUCKAERT, B. M.; SPIVEY, N. C.; ARROWOOD, M. J. Comparison of conventional and biological filter performance for Cryptosporidium and microsphere removal. Journal American Water Works Association, v. 97, n. 12, p. 77-91. 2005.

ARANHA, E. M. Acompanhamento das condições redox em sistema de colunas simulando a filtração em margem na Lagoa do Peri. 45 pg. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2010.

BOURG, A. C. M.; BERTIN, C. Biogeochemical processes during the infiltration of river water into an alluvial aquifer. Environmental science & technology, v. 27, n. 4, p. 661–666, 1993.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria n.º 518 de 25 de março de 2004. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências. Diário Oficial, Poder Executivo, Brasília, DF, 2004.

BRASIL. Inspeção sanitária em abastecimento de água. Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância em Saúde. – Brasília: Ministério da Saúde. 84 p. 2006.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria MS nº 2914 de 12/12/2011, que dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Ministério da Saúde. Brasília, 2011.

CAMPOS, L. P. S. Filtração em Margem no Tratamento de Água: Avaliação da Aplicação da Técnica no Manancial da Lagoa do Peri, Santa Catarina, e Análise Prévia de Viabilidade de Aplicação em Rio Grande, Rio Grande do Sul. Florianópolis, 58 pg. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2012.

CARDOSO, L. S.; CARLI, G. A.; LUCA, S.J. Cryptosporidium e Giardia em efluentes biologicamente tratados e desinfetados. Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental, 8 (4), 285-290. 2003.

CARDOSO, L. S., BERINO, E. DEUS, A. B. S., DE LUCA, S. J. Cryptosporidium e Giardia em águas e efluentes: Estado da Arte. XXVIII Congresso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Cancún, México. 2002.

CARMENA, D.; AGUINAGALDE, X.; ZIGORRAGA, C.; CRESPO, F. J.C.; ÓCIO, J.A. Presence of Giardia cysts and Cryptosporidium oocysts in drinking water supplies in northern Spain. Journal of Applied Microbiology, 102 (3), 619–629. 2006.

CASAN. Companhia Catarinense de Águas e Saneamento. Mananciais da Ilha. Disponível em: <<http://www.casan.com.br/menu-conteudo/index/url/manancias-da-ilha#0>>. Acesso em: 06 mar 2013.

CHAIDEZ, C.; SOTO, M.; GORTARES, P.; MENA, K. Occurrence of Cryptosporidium and Giardia in irrigation water and its impact on the fresh produce industry. International Journal of Environmental Health Research, 15 (5), 339-345. 2005.

COSTA, D. A. O. Análise da associação entre diferentes situações de saneamento e indicadores de saúde no bairro Aurenly III, nos anos de 2009 a 2010, município de Palmas-TO. Dissertação – Universidade Federal do Tocantins, 2010.

COVRE, M. A. Ocorrência de oocistos de *Cryptosporidium* spp. e cistos de *Giardia* spp. em Sistemas de Abastecimento de Água da Grande Vitória, ES. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória, 2009.

DASH, R.R.; MEHROTRA, I.; GRISCHEK, T. Lake bank filtration at Nainital, India: water-quality evaluation. *Hydrogeology Journal*. DOI 10.1007/s10140-008-0295-0, 11p. (2008).

DASH, R. R., BHANU PRAKASH, E. V. P., KUMAR, P., MEHROTRA, I., SANDHU, C., GRISCHEK T. River bank filtration in Haridwar, India: removal of turbidity, organics and bacteria. *Hydrogeol J.* 18(4), pp. 973–983 (doi: 1435 10.1007/s10040-010-0574-4). 2010.

DILLON, P.J.; MILLER, M.; FALLOWFIELD, H.; HUTSON, J. The potential of riverbank filtration for drinking water supplies in relation to microcystin removal in brackish aquifers. *Journal of Hydrology*. v.266, p.209-221. 2002.

DRISCOLL, G. *Groundwater and wells*. 2 Ed. St Paul; Johnson Division. 1088p. 1987.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos, *Manual de Métodos de Análise de Solos*. 2.ed. Rio de Janeiro, Embrapa, 1997. 23.p.

EMELKO, M.B. Removal of viable and inactivated *Cryptosporidium* by dual- and tri-media filtration. *Water Research*, v. 37, p. 2998 - 3008, 2003.

EMELKO, M. B.; BROWN. T. J.; Chitosan and metal salt coagulant impacts on *Cryptosporidium* and microsphere removal by filtration. *Water Research.*, 43, 2, 331-338. 2009.

EMELKO, M. B.; HUCK, P. M.; Microspheres as Surrogates for *Cryptosporidium* Filtration. *Journal American Water Works Association*. 96: 94–105. 2004.

EMELKO, M. B.; HUCK, P. M.; DOUGLAS, I. P. Cryptosporidium and microsphere removal during late in-cycle filtration. *Journal American Water Works Association*, v. 95, n. 5, p. 173-182. 2003.

ESQUIVEL, L. G. R.; Remoção de matéria orgânica natural e precursores de trihalometanos por filtração em margem na Lagoa do Peri, Santa Catarina, Brasil. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina. 2012.

FAGNANI, R. A. G.; Avaliação de dano morfológico em oocistos de *Cryptosporidium* spp e cistos de *Giardia* spp pela ação da peroxidação assistida por luz ultravioleta (H₂O₂/UV). Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual de Campinas. 2010.

FARIAS, E. W. C.; GAMBA, R. C.; PELLIZARI, V. H. Detection of *Cryptosporidium* sp.oocysts in raw sewage and creek water in the city of São Paulo, Brazil. *Brazilian Journal*, 33 (1), 41-43. 2002.

FAYER, R.; MORGAN, U.; UPTON, S. Epidemiology of *Cryptosporidium*: transmission, detection and identification. *International Journal for Parasitology*, v. 30, n. 12-13, p. 1305-1322, 2000.

FUNADA, M. R. Avaliação de métodos de extração de DNA de *Cryptosporidium* spp. em amostras fecais e comparação da nested PCR com o método coproparasitológico de centrífugo-flutuação em sacarose. Dissertação (Mestrado em Medicina Veterinária) – Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

GOLLNITZ, W. D., CLANCY, J. L., WHITTEBERRY, B. L. AND VOGT, J. A. RBF as a microbial treatment process. *Journal of American Water Works Association (AWWA)*, 95 (12), pp. 56-66, 2003.

GOLLNITZ, W.; CLANCY, J.; MCEWEN, J.; GARNER, S. Riverbank filtration for IESWTR compliance. *Journal American Water Works Association*, v.97, n.12, p.64–76, 2005.

GOOGLE EARTH. Apresenta imagens de satélites, mapas, terrenos e edifícios em 3D. Disponível em: <<http://www.earth.google.com>> Acesso em: 22 nov. 2012.

GRACZYK, T. K.; KACPRZAK, M.; NECZAJ, E.; TAMANG, L.; GRACZYK, H.; LUCY, F. E.; GIROUARD, A.S. Occurrence of *Cryptosporidium* and *Giardia* in sewage sludge and solid waste landfill leachate and quantitative comparative analysis of sanitization treatments on pathogen inactivation. *Environmental Research*, 106, 27–33. 2008.

GRECA, M. P. S. IDENTIFICAÇÃO MOLECULAR E FILOGENIA DE ESPÉCIES DE *Cryptosporidium* EM CÃES E EM GATOS DE CURITIBA E REGIÃO METROPOLITANA. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Biológicas. Programa de Pós-Graduação em Microbiologia, Parasitologia e Patologia. 2010.

GRÜNHEID, S.; AMY, G. & JEKEL, M. Removal of bulk dissolved organic carbon (DOC) and trace organic compounds by bank filtration and artificial recharge. *Water research*, 39(14): 3219-28. 2005.

GUPTA, V.; JOHNSON, W.P.; SHAFIEIAN, P.; RYU, H.; ALUM, A.; ABBASZADEGAN, M.; HUBBS, S.A.; RAUCH-WILLIAMS, T. Riverbank filtration: comparison of pilot scale transport with theory. *Environmental Science & Technology*. 43 (8), 2992-2992. 2009.

HASHIMOTO, A.; KUNIKANE, S.; HIRATA, T. (2002). Prevalence of *Cryptosporidium* oocysts and *Giardia* cysts in the drinking water supply in Japan. *Water Research*, 36 (3) 519–526.

HELLER, L. Tratamento de águas de abastecimento e remoção de (oo) cistos de *Giardia* e *Cryptosporidium*. Anais do I Seminário Internacional em Protozoários Emergentes, CD Rom, Campinas, Brasil. 2004.

HELLER, L.; BASTOS, R. K. X.; VIEIRA, M. B.C. M.; BEVILACQUA, P.D.; BRITO, L. L. A.; MOTA, S.M. M.; OLIVEIRA, A. A. MACHADO, P. M.; SALVADOR, D.P.; CARDOSO, A.B. Oocistos de *Cryptosporidium* e cistos de *Giardia*: circulação no ambiente e riscos à saúde humana. *Epidemiologia e Serviços de Saúde*, 13 (2), 79-92. 2004.

HISCOCK, K.M.; GRISCHEK T. Attenuation of groundwater pollution by bank filtration. *Journal of Hydrology*, v.266, p.139–144, 2002.

KARANIS, P.; SOTIRIADOU, I.; KARTASHEV, V.; KOURENTI, C.; TSVETKOVA, N.; STOJANOVA, K. Occurrence of *Giardia* and *Cryptosporidium* in water supplies of Russia and Bulgaria. *Environmental Research*, 102 (3), 260–271. 2006.

KUEHN, W.; MUELLER, U.; Riverbank filtration: an overview. *J AmWater Works Assoc* 92(12):60–69. 2000.

LI, S.; GOODRICH, J. A.; OWENS, J. H.; WILLEKE, G. E.; SCHAEFER, F. W.; CLARCK, R. M. Reliability of surrogates for determining *Cryptosporidium* removal. *Journal American Water Works Association*, v. 89, n. 5, p. 90-99. 1997.

LIMA, E. C.; STAMFORD, T. L. M.; *Cryptosporidium* spp. no ambiente aquático: aspectos relevantes da disseminação e diagnóstico. *Ciênc. saúde coletiva* [online]. vol.8, n.3, pp. 791-800. ISSN 1413-8123. 2003.

LOPES, G. J. R. Avaliação da turbidez e do tamanho de partículas como indicadores da remoção de oocistos de *Cryptosporidium* spp. nas etapas de clarificação no tratamento da água de ciclo completo. *Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil da Universidade Federal de Viçosa*, 2008.

LOPES, A. M. M. B.; PÁDUA, V. L.; CERQUEIRA, D. A.; MARTINS, F. C.; Ocorrência de oocistos de *Cryptosporidium* spp e cistos de *Giardia* sp e sua associação com *Escherichia coli*, *Enterococcus* spp indicadores bacteriológicos e turbidez em um reservatório tropical. *Revista DAE, São Paulo*. v. 185, p. 18-28, 2010.

LUNA, S; LILIANA REYES, L; CHINGILLA, M; CATARINELLA, G. Presencia de ooquistes de *Cryptosporidium* spp en aguas superficiales en Costa Rica. *Parasitologia Latinoamericana*. 57:63-65, 2002.

MACKENZIE, W. R.; HOXIE, N. J.; PROCTOR, M. E.; GRADUS, M. S.; BLAIR, K. A.; PETERSON, D. E.; KAZMIERCZAK, J. J.; ADDISS, D. G.; FOX, K. R.; ROSE, J. B.; DAVID, J. P. A massive outbreak in Milwaukee of *Cryptosporidium* infection transmitted through the public water supply. *New Engl. J. Med.*, v. 331, n. 3, p. 161-167, 1994.

MARMONIER, P.; FONTVIEILLE, D.; GIBERT, J.; VANEK, V. Distribution of dissolved organic carbon and bacteria at the interface between the Rhône River and its alluvial aquifer. *J. N. Am. Benthol. Soc.*, v.14, n.3, p.2-392, 1995.

MEINHARDT, P. L.; CASEMORE, D. P.; MILLER, K. B.; Epidemiologic Aspects of Human Cryptosporidiosis and the Role of Waterborne Transmission. *Epidemiologic Reviews*, v. 18, n. 2, p. 118-136, 1996.

MICHELAN, D. C. G. S.; Filtração em margem de rio precedendo a filtração lenta, para remoção de carbofurano, em tratamento de água para consumo humano. Tese de Doutorado apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2010.

MONDARDO, R. I.; Avaliação da filtração em margem como pré-tratamento à filtração direta descendente na remoção de células de cianobactérias e saxitoxinas. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina. 2009.

MONDARDO, R. I. Influência da Pré-oxidação na Tratabilidade das Águas Via Filtração Direta Descendente em Manancial com elevadas Concentrações de Microalgas e Cianobactérias. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. Florianópolis. 147p. 2004.

MONTEMAYOR, M.; VALERO, F.; JOFRE, J.; LUCENA, F. Occurrence of *Cryptosporidium* spp. oocysts in raw and treated sewage and river water in north-eastern Spain. *Journal of Applied Microbiology*, 99 (6), 1455–1462. 2005.

NASCIMENTO, M.F. Remoção de oocistos de *Cryptosporidium* por meio da Filtração Direta Ascendente em areia: avaliação em escala piloto. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 149p. 2009.

NIEMINSKI, E.; DURRANT, G.; HOYT, M.; KIDD, R.; OWENS, M.; PETERSON, L.; PETERSON, S.; TANNER, W.; ROSEN, J.; CLANCY, J. (2008) Is monitoring for *E. coli* a good surrogate for *Cryptosporidium* occurrence in water? American Water Works Association - Water Quality Technology Conference Proceedings, 2008.

O'DONOGHUE, P. J. *Cryptosporidium* and Cryptosporidiosis in Man and Animals. *International Journal for Parasitology*, v. 25, n. 2, p. 139-195, 1995.

PAIVA, A. R. L.; CABRAL, J. J. S. P.; DEMÉTRIO, J. G. A.; Exploração conjunta de água subterrânea e água Superficial induzida através de bombeamento próximo a mananciais. XV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. Natal, Rio Grande do Norte. 2008.

PAIVA, A. L. R.; CABRAL, J. J. S. P.; DEMETRIO, J. G. A.; SOBRAL, M. C.; Filtração em margem para indução de recarga e melhoria da qualidade de água estudo de caso: Rio Beberibe. *Águas Subterrâneas (São Paulo)*, v. 24, p. 46-59, 2010.

PEREIRA, J. T.; SOCCOL, V. T.; COSTA, A. O.; CASTRO, E. A.; OSAKI, S. C.; PAULINO, R. C. *Cryptosporidium* spp.: para controlar é necessário conhecer. Universidade Federal do Paraná. *Revista Saúde e Ambiente/ Health and Environment Journal*, Vol.10, No 2. Joinville, Santa Catarina, Brasil. 2009.

PLUTZER J, TAKÓ MH, MÁRIALIGETI K, TÖRÖKNÉ A, KARANIS P. First investigations into the prevalence of *Cryptosporidium* and *Giardia* spp. in Hungarian drinking waters. *J Water Health*. 5: 573–584. 2007.

PROBAC DO BRASIL. Meios para análise de água probac – tiosulfato de sódio 1,8%. São Paulo. Disponível em: < <http://www.probac.com.br/bulas/bula-tiosulfatodesodio.pdf>> Acesso em: 17 Jun 2013.

RABELO, L. Estudos preliminares para implantação da filtração em margem na Lagoa do Peri como pré-tratamento de água para remoção de fitoplâncton. 152p. Dissertação. Universidade de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. Florianópolis. 2006.

RAY, C.; SCHUBERT, J.; LINSKY, R. B.; MELIN, G. Introduction. In: RAY, C.; MELIN, G.; LINSKY, R. (Eds.). *Riverbank filtration: improving source-water quality*. Dordrecht: Kluwer Academic Publisher, p. 1-15. 2003.

REBOUÇAS, F. Doenças emergentes. In: *Doenças*. 2010. Disponível em:< <http://www.infoescola.com/doencas/doencas-emergentes/>>. Acesso em: 07 Jan 2013.

ROBERTSON, L. J.; HERMANSEN, L.; GJERDE, B. K. Occurrence of *Cryptosporidium* Oocysts and *Giardia* Cysts in Sewage in Norway. *Applied and Environmental Microbiology*, 72 (8), 5297–5303. 2006.

SANTOS, L. L.; BARROS, T. H. S.; CABRAL, J. J. S. P.; MELO, R. T.; Aplicação da tecnologia de filtração em margens para redução ou eliminação de contaminantes físico-químicos na região semi-árida de Pernambuco. XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Maceió, Alagoas. 2011.

SAVIOLI, L.; SMITH, H.; THOMPSON, A.; *Giardia* and *Cryptosporidium* join the “neglected diseases initiative”. *Trends in Parasitology*. 22 (5): 203-208. 2006.

SENS, M. L.; MONDARDO, R. I.; DALSSASSO, R.; MELO, L. C. Filtração em Margem. In: PROSAB (Ed.). Contribuição ao estudo da remoção de cianobactérias e microcontaminantes orgânicos por meio de técnicas de tratamento de água para consumo humano, Capítulo. Rio de Janeiro: ABES, p. 173-236. 2006.

SCHIJVEN J.; BERGER P.; MIETTINEN I.; Removal of pathogens, surrogates, indicators, and toxins using riverbank filtration. In: Ray C, Melin G, Linsky RB (eds) Riverbank filtration: improving source water quality. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp 73–116. 2002.

SCHMIDT, C.K.; LANGE, F.T.; BRAUCH, H.J.; KUEHN, W. Experiences with Riverbank Filtration and Infiltration in Germany. Karlsruhe: DVGW-Water Technology Center (TSW), Germany, 2003.

SCHOENHEINZ, D. Water quality changes of the Elbe River and bank filtrate following extreme flooding. Presented at NATO Advanced Research Workshop, Samorin, Slovakia, September 7-10, 2004.

SCHUBERT, J. Significance of hydrologic aspects on the RBF performance. Nato Scienceseries IV: Earth and Environmental Sciences. Riverbank Filtration Hydrologic, v.60, p. 1-20, 2006.

SHAMRUKH, M.; ABDEL-WAHAB, A.. Riverbank filtration for sustainable water supply: application to a large-scale facility on the Nile River. Clean Techn Environ Policy, v. 10, p351.–358, 2008.

SOARES, M. B. D. Estudo da implantação em escala real da filtração em margem em algo de piscicultura extensiva para dessedentação animal. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Universidade de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. Florianópolis. 134p, 2009.

SONTHEIMER, H. Experience with riverbank filtration along the Rhine river. Journal of American Water Works Association, 386–390, 1980.

SOUZA, A. D.; SOBRAL, M. C.; GUNKEL, G. Filtração em margem de rios e lagos como uma alternativa de tratamento de água. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 7., São Luiz / Maranhão. Anais. São Luiz: Abrh, 2004. v. 1, p. 1 - 12. CD-ROM. 2004.

STERILIGHT. Sell Sheet. 2011. Disponível em: <http://img.viqa.com/118/LIT-0903145_lowres.pdf>. Acesso: 08 fev. 2013.

TUFENKJI, N., RYAN, J.N., AND ELIMELECH M. The Promise of Bank Filtration. *Environmental Science & Technology*, Volume 36, pages 422A-428A, November 2002.

USEPA - United States Environmental Protection Agency. Ultraviolet disinfection guidance manual for the final long term 2 enhanced surface water treatment rule. Office of Water (4601) EPA 815-R-06-007. Washington, DC. 2006.

WEISS, W.; BOUWER, E.; ABOYTES, R.; LECHEVALLIER, M.; O'MELIA, C.; LE, B.; SCHWAB, K. Riverbank filtration for control of microorganisms: results from field monitoring. *Water Research*, v.39, n.10, p.1990–2001, 2005.

WHO - World Health Organization. Zoonoses and veterinary public health (VPH). 2008. Disponível em: <<http://www.who.int/zoonoses/en/>>. Acesso em 17 de jan. de 2013.

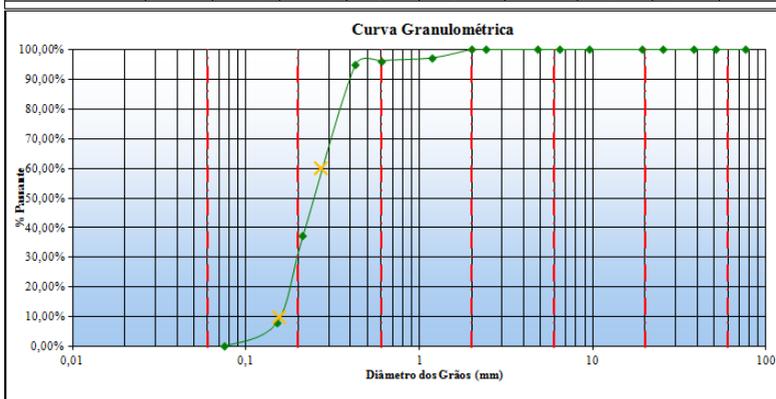
XIAO, L.; FAYER, R. Molecular characterization of species and genotypes of *Cryptosporidium* and *Giardia* and assessment of zoonotic transmission. *International Journal for Parasitology* 38:1.239-1.255. 2008.

APÊNDICE A. Ensaio granulométrico.

	UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA	
	CENTRO TECNOLÓGICO	
Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental		
LABORATÓRIO DE POTABILIZAÇÃO DAS ÁGUAS		
ANÁLISE GRANULOMÉTRICA (PENEIRAMENTO SIMPLES)		
Amostra: Solo proveniente da Lagoa do Peri		Execução: Victor Hugo Jangada
Data: 27/03/2013		

Teor de Umidade da Amostra	
Peso da Amostra Úmida (g):	1019,9
Peso da Amostra Seca (g):	785,37
Teor de Umidade	30,00%

Dados de Ensaio											
PENEIRAMENTO	FRAÇÃO GROSSA	Peneira		Peso da Peneira (g)	Peneira + Material (g)	Material Retido (g)	PORCENTAGEM			PASSANTE	
		Nº	# (mm)				Fração Fina	Fração Grossa	Acumulada	Fração Fina	Fração Grossa
		3"	76,2			0,00					100,00%
		2"	50,8			0,00					100,00%
		1,5"	38,1			0,00					100,00%
		1"	25,4			0,00					100,00%
		3/4"	19,1			0,00					100,00%
		3/8"	9,5			0,00					100,00%
		1/4"	6,4			0,00					100,00%
		4	4,8			0,00					100,00%
		8	2,4			0,00					100,00%
		10	2			0,00					100,00%
	FRAÇÃO FINA	16	1,18	385,80	408,20	22,40	2,85%		2,85%	97,15%	97,15%
		30	0,6	348,81	356,11	7,30	0,93%		3,78%	96,22%	96,22%
		40	0,425	281,46	292,61	11,15	1,42%		5,20%	94,80%	94,80%
		70	0,212	347,78	800,15	452,37	57,60%		62,80%	37,20%	37,20%
		100	0,15	330,03	559,36	229,33	29,20%		92,00%	8,00%	8,00%
		200	0,075	320,59	382,96	62,37	7,94%		99,94%	0,06%	0,06%
	Fundo			317,79	318,24	0,45	0,06%		100,00%	0,00%	



Dímetro efetivo (D10)	0,16 mm
D60	0,27 mm
Coefficiente de uniformidade (C _u)	1,69

APÊNDICE B. Ensaio de diluição.

Teste Água bruta

	Turbidez (uT)
Amostra 1	6.64
Amostra 2	6.93
Amostra 3	6.43
Amostra 4	5.93
Amostra 5	5.88
Amostra 6	6.19
Amostra 7	6.72
Amostra 8	5.73
Amostra 9	5.70
Amostra 10	5.81
Média	6,2

Teste Diluição 100 ml
(50% bruto + 50% torneira)

	Turbidez (uT)
Amostra 1	5.24
Amostra 2	4.64
Amostra 3	4.38
Amostra 4	4.41
Amostra 5	4.62
Amostra 6	3,87
Amostra 7	3,5
Amostra 8	3,77
Amostra 9	3,93
Amostra 10	3,77
Média	4,2

Teste Diluição 100 ml
(40% bruto + 60% torneira)

	Turbidez (uT)
Amostra 1	3,3
Amostra 2	3,14
Amostra 3	2,96
Amostra 4	3,03
Amostra 5	3,15
Amostra 6	3,67
Amostra 7	3,57
Amostra 8	3,24
Amostra 9	3,73
Amostra 10	3,16
Média	3,3

Teste Diluição 100 ml
(35% bruto + 65% torneira)

	Turbidez (uT)
Amostra 1	3,15
Amostra 2	2,58
Amostra 3	3,28
Amostra 4	2,87
Amostra 5	2,77
Amostra 6	3,14
Amostra 7	2,86
Amostra 8	2,79
Amostra 9	3,08
Amostra 10	2,74
Média	2,93