



ADRIANA RIBEIRO FRANCISCO

**“COAGULAÇÃO COM *Moringa oleifera* SEGUIDA DA
FILTRAÇÃO LENTA NA REDUÇÃO DE OOCISTOS DE
Cryptosporidium spp. POR SIMULAÇÃO COM
MICROESFERAS DE POLIESTIRENO”**

CAMPINAS
2012



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA**

ADRIANA RIBEIRO FRANCISCO

**“COAGULAÇÃO COM *Moringa oleifera* SEGUIDA DA
FILTRAÇÃO LENTA NA REDUÇÃO DE OOCISTOS DE
Cryptosporidium spp. POR SIMULAÇÃO COM
MICROESFERAS DE POLIESTIRENO”**

Orientador: Prof. Dr. José Euclides Stipp Paterniani

*Tese de Doutorado submetida à banca
examinadora para obtenção do título de
Doutora em Engenharia Agrícola, na área
de concentração em Água e Solo.*

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À VERSÃO FINAL DA TESE
DEFENDIDA PELA ALUNA ADRIANA RIBEIRO FRANCISCO E
ORIENTADA PELO PROF. DR. JOSÉ EUCLIDES STIPP
PATERNIANI

Assinatura do Orientador

A handwritten signature in blue ink, appearing to be "José Euclides Stipp Paterniani", written over a horizontal line.

**CAMPINAS
2012**

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA E ARQUITETURA - BAE -
UNICAMP

F847c Francisco, Adriana Ribeiro
Coagulação com *Moringa oleifera* seguida da filtração
lenta na redução de oocistos de *Cryptosporidium* spp. por
simulação com microesferas de poliestireno / Adriana
Ribeiro Francisco. --Campinas, SP: [s.n.], 2012.

Orientador: José Euclides Stipp Paterniani.
Tese de Doutorado - Universidade Estadual de
Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola.

1. Microesferas. 2. *Cryptosporidium*. 3. Coagulantes
naturais. 4. Filtração. 5. Tratamento de água. I.
Paterniani, José Euclides Stipp, 1957-. II. Universidade
Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia
Agrícola. III. Título.

Título em Inglês: Coagulation using *Moringa oleifera* followed by slow
filtration on the reduction of *Cryptosporidium* spp. oocysts
by simulation with polystyrene microspheres

Palavras-chave em Inglês: Microspheres, *Cryptosporidium*, Natural
coagulants, Filtration, Water treatment

Área de concentração: Água e Solo

Titulação: Doutora em Engenharia Agrícola

Banca examinadora: Rosângela Bergamasco, Regina Maura Bueno Franco,
Marco Roberto Pires, Denis Miguel Roston

Data da defesa: 21-12-2012

Programa de Pós Graduação: Engenharia Agrícola

Este exemplar corresponde à redação final da **Tese de Doutorado** defendida por **Adriana Ribeiro Francisco**, aprovada pela Comissão Julgadora em 21 de dezembro de 2012, na Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas.

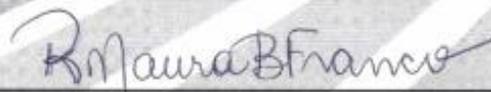


Prof. Dr. José Euclides Stipp Paterniani – Presidente e Orientador
Feagri/Unicamp

FEAGRI



Profa. Dra. Rosângela Bergamasco - Membro Titular
UEM

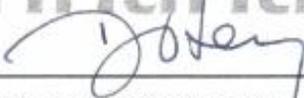


Profa. Dra. Regina Maura Bueno Franco – Membro Titular
IB/Unicamp



Prof. Dr. Marco Roberto Pires - Membro Titular
FAM

Faculdade de
Engenharia Agrícola



Prof. Dr. Denis Miguel Roston - Membro Titular
Feagri/Unicamp

Unicamp

“O ser humano vivência a si mesmo, seus pensamentos como algo separado do resto do universo - numa espécie de ilusão de ótica de sua consciência. E essa ilusão é uma prisão que nos restringe a nossos desejos pessoais, conceitos e ao afeto por pessoas mais próximas. Nossa principal tarefa é a de nos livrarmos dessa prisão, ampliando o nosso círculo de compaixão, para que ele abranja todos os seres vivos e toda a natureza em sua beleza. Ninguém conseguirá alcançar completamente esse objetivo, mas lutar pela sua realização já é por si só parte de nossa liberação e o alicerce de nossa segurança interior.”

Albert Einstein

Dedico à minha mãe, Leordina, pelo grande amor, esforço e dedicação que teve por mim para que eu nunca abandonasse meus estudos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por toda a força, perseverança e paciência nessa pesquisa. E principalmente por ter me incluído dentro de um núcleo de profissionais, amigos e familiares, que contribuíram direta e indiretamente para a execução desse trabalho de pesquisa.

Ao professor Paterniani, pela excelente orientação, pois sua competência e incentivo permitiram que eu obtivesse toda segurança necessária para que tudo ocorresse da melhor forma possível.

À professora Regina Maura, por todas as contribuições cedidas neste trabalho, principalmente por sempre sanar minhas dúvidas para que eu me tornasse apta a desenvolver esse projeto de pesquisa. Se não houvesse seu apoio, com certeza esse este trabalho não seria concluído de forma coerente, minuciosa e concisa.

À banca composta pelos professores: Denis, Rosângela, Regina Maura, Marco e Paterniani; por todas as contribuições que enriqueceram este trabalho, e também pela disposição em aceitar participar dessa defesa.

À Fundação de Amparo à Pesquisa (FAPESP) pela bolsa concedida para o meu crescimento pessoal como estudante e pesquisadora, através do processo nº 2010/07649-4, e pela concessão do financiamento desse projeto de pesquisa por meio do processo nº2010/16223-0.

À Capes pela concessão da bolsa através do programa de Pós-Graduação da Faculdade de Engenharia Agrícola, desde o início do doutorado até o mês de outubro de 2010.

A todos os meus amigos do grupo de pesquisa, em especial: Samuel, Flávia, Gabriela, Camila e Ana, que por meio de reuniões e críticas construtivas, puderam enriquecer o

conteúdo desse trabalho de pesquisa.

À Daniela, aluna de iniciação, que trabalhou como voluntária neste projeto de pesquisa.

Aos meus queridos amigos Flávia e Guilherme, por terem contribuído não só neste projeto de pesquisa, pela contagem das microesferas, mas também por terem demonstrado ser verdadeiros amigos, principalmente nos momentos mais difíceis.

Aos amigos e técnicos do laboratório: Tulio, Gelson e Giovani, por sempre estarem disponíveis para me auxiliar nas dificuldades de montagem do sistema, além da logística para a compra de equipamentos e reagentes relacionados a esta pesquisa.

Ao técnico do laboratório de protozoologia, Nilson Branco do Instituto de Biologia, pela simpatia e sempre estar disponível para sanar minhas dúvidas.

A pesquisadora da Faculdade de Engenharia Civil, Luciana Urbano dos Santos pelas observações e críticas construtivas para o desenvolvimento desse trabalho.

Aos meus verdadeiros amigos do coração: Vânia, Conan, Carol, Fran, Natalia, Gabi, Cris, Márcio Antônio, Rita, Anna Luíza, Cintia, Giovani, Padre, Cabs, Cristiane, Yu, Gleyce, Daniella, Tinha, Lie, Mira, Paulinha, Íris, Miguel, Alejandra, Michelle e Rosa Helena. Muito obrigada a vocês meus amigos por tê-los conhecido e por vocês terem me concedido a oportunidade de também entrar em suas vidas, para principalmente, construirmos histórias, recordarmos os melhores e piores momentos e futuramente cortejarmos o futuro que há pela frente.

À minha querida família pai (Gumerindo), mãe (Leordina) e irmãos (Anderson, Iara e Viviane), sempre pensando em vocês por estarem no meu coração e minha alma.

Ao meu querido Jaime pelo amor e a pela companhia. A maior prova de amor não foi só estar presente na minha vida, mas sim ajudar neste trabalho que não foi nada fácil. Sou sempre grata à Deus por você estar na minha vida.

RESUMO

O processo de coagulação natural aplicando solução a base de sementes de *Moringa oleifera* tem sido amplamente empregado como método alternativo de tratamento de água em regiões onde não há tratamentos convencionais. Para retenção de protozoários, como oocistos de *Cryptosporidium* spp., que atua de forma complexa no meio ambiente, e são resistentes à cloração no tratamento de água, a aplicação desse coagulante com sequencial filtração lenta pode ser uma alternativa promissora. Entretanto, para avaliar esse tratamento físico, não é necessário aplicar oocistos de *Cryptosporidium* spp. diretamente no sistema de tratamento, já que microesferas fluorescentes de poliestireno são empregadas como substituas desse organismo, por apresentar características físicas similares. Por essa razão, o presente estudo avaliou um sistema alternativo de tratamento de água empregando solução coagulante a base de sementes de *Moringa oleifera*, seguida de filtração lenta, testando 5 diferentes combinações de meios filtrantes constituídos de nãotecidos e areia, para verificar a retenção de microesferas de poliestireno. A coagulação/floculação foi conduzida em Jar test, e sequencialmente as amostras foram destinadas à filtração lenta. Ao final dos ensaios utilizando *Moringa oleifera*, ensaios controle (sem coagulante) foram realizados. Os resultados mostraram que todos os filtros lentos apresentam eficiência significativa na redução de microesferas de poliestireno, com destaque para os filtros de areia e areia+nãotecido, que obtiveram 100% de remoção de microesferas no sistema, mesmo ao longo de 5 ensaios consecutivos, em que não houve lavagem da areia. Todos os filtros que utilizaram apenas camadas de nãotecidos sintéticos, apresentaram 2 log de remoção. Outros parâmetros de qualidade como a cor aparente e a turbidez também apresentaram redução significativa. Nos ensaios controle, foi possível observar que apenas a filtração lenta não foi eficiente para remover microesferas, turbidez e cor. Ao final deste trabalho foi possível concluir que a aplicação da solução coagulante a base de sementes de *Moringa oleifera* foi o fator determinante para auxiliar no sistema de filtração lenta, principalmente em filtros constituídos com meio filtrante de areia.

Palavras-chave: microesferas, *Cryptosporidium* spp., coagulantes naturais, filtração, tratamento de água.

ABSTRACT

The natural coagulation process applying solution based on *Moringa oleifera* seeds have been used widely as an alternative method for water treatment in regions where there is an absence of conventional water treatments. For protozoan retention, such as *Cryptosporidium* spp. oocysts, which act in a complex behavior in the environment, and are resistant to the chlorination process, the application of the coagulant using sequential slow filtration might be a promising alternative. However, to evaluate this physical treatment, it is not necessary to apply *Cryptosporidium* spp. oocysts directly to the treatment system, since the polystyrene fluorescent microspheres are used as replacements for this organism, because they present similar physical characteristics. For this reason, the present study evaluated an alternative water treatment system using coagulant solution based on *Moringa oleifera* seeds, followed by slow filtration, testing 5 different combinations of filter media constituted of nonwoven and sand, to verify polystyrene microspheres retention. The coagulation/flocculation was conducted in Jar Test equipment, and sequentially the samples were sent to slow filtration. By the end of the essays using *Moringa oleifera*, control essays (without coagulant) were performed. The results showed that all slow filters present significant efficiency reducing polystyrene microspheres, especially the sand filters and sand+nonwoven, that obtained 100% microspheres removal in the system, even along 5 sequential essays, where there was no sand washing. The filters that used only synthetic nonwovens, presented 2 log removal. Other quality parameters such as apparent color and turbidity presented significant reductions also. At the control essays, it was possible to observe that using only slow filtration is ineffective for microspheres, turbidity and color removal. At the end of this work was possible to conclude that applying coagulant solution based on *Moringa oleifera* seeds was the determinant factor to assist in the slow filtration system, mainly in filters constituted by sand filter media.

Keywords: microspheres, *Cryptosporidium* spp., natural coagulants, filtration, water treatment.

SUMÁRIO

RESUMO	viii
ABSTRACT	ix
LISTA DE FIGURAS	xii
LISTA DE TABELAS.....	xiv
1. INTRODUÇÃO	1
2. HIPÓTESE	3
3. OBJETIVOS.....	4
3.1 Objetivo Geral.....	4
3.2 Objetivos Específicos	4
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
4.1 <i>Cryptosporidium</i> spp.: protozoário emergente e oportunista	5
4.2 Microesfera fluorescentes de poliestireno	10
4.3 <i>Moringa oleifera</i>	12
4.3.1 <i>Moringa oleifera</i> no tratamento de água	13
4.4 Filtração Lenta	15
4.5 Remoção de <i>Cryptosporidium</i> spp. e microesferas por sistemas de filtração	18
5. MATERIAL E MÉTODOS	21
5.1 Preparo da água de estudo e seleção da dosagem do coagulante (1ª Etapa)	23
5.1.1 Água de Estudo	23
5.1.2 Preparo da suspensão coagulante	24
5.1.3 Seleção da dosagem do extrato de sementes de <i>Moringa oleifera</i>	27
5.2 Ensaios preliminares em filtros de não tecidos e adaptações do sistema (2ª Etapa).....	29
5.2.1 Ensaios preliminares com filtração em não tecidos sintéticos.....	29
5.2.2 Adaptações do sistema de tratamento	32
5.3 Ensaios Sistema Real (3ª Etapa)	34
5.3.1 Construção Filtros Lentos.....	34
5.3.1.1 Filtro Lento de não tecidos sintéticos.....	34
5.3.1.2 Filtros Lentos de areia	38
5.3.2 Dimensionamento do sistema de tratamento	40
5.3.3 Inoculação de Microesferas de Poliestireno	41
5.3.4 Coagulação/floculação com extrato coagulante de <i>Moringa oleifera</i>	44

5.3.5 Tratamento filtros lentos de nãotecidos sintéticos	45
5.3.6 Tratamentos com Filtros Lentos Areia	47
5.4 Ensaios controle	48
5.5 Descontaminação do sistema e ensaios controle negativos.....	48
5.6 Coletas e parâmetros analíticos.....	49
5.7 Análises Estatísticas	52
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO	54
6.1 Análise de Turbidez	54
6.1.1 Testes preliminares na redução de turbidez.....	55
6.1.2 Ensaios sistema real de tratamento na redução de turbidez.....	57
6.2 Análise de Cor	65
6.3 Análise da Condutividade elétrica	72
6.4 Análises de microesferas fluorescentes de poliestireno	78
6.4.1 Microesferas de poliestireno – Filtro de nãotecidos sintéticos e 1º dia filtros areia ...	82
6.4.2 Microesferas de poliestireno na filtração com meio filtrante de areia	92
7. CONCLUSÕES	94
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	95

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Fluxograma das etapas metodológicas da pesquisa.....	21
Figura 2: Esquema utilização Jar Test para tratamentos com filtros lentos.....	22
Figura 3: Bentonita utilizada no preparo da água para tratamento.....	23
Figura 4: Árvore de <i>Moringa oleifera</i> da Faculdade de Engenharia Agrícola.	25
Figura 5: Roteiro da obtenção do pó da semente de <i>Moringa oleifera</i>	26
Figura 6: Extrato líquido do coagulante de semente de <i>Moringa oleifera</i>	27
Figura 7: Dosagem de solução coagulante selecionada.	29
Figura 8: Ilustração do sistema preliminar para tratamento de água.....	30
Figura 9: Imagem superior da 1ª camada de não tecido do filtro de garrafa PET recebendo o líquido floculado.	31
Figura 10: Foto equipamento Jar Test Policontrol e suas principais funções.	32
Figura 11: Suporte de elevação dos jarros para evitar sedimentação e adaptação do orifício de saída de amostra.	33
Figura 12: Adaptação com válvula de saída única para cada 3 jarros em um filtro.....	34
Figura 13: Foto não tecido sintético.	35
Figura 14: Imagem de Microscopia eletrônica de varredura dos fios da não tecidos sintéticos.	36
Figura 15: Foto filtro lento de garrafa PET e meio filtrante não tecidos sintético.....	37
Figura 16: Unidade de Pré-Filtração constituído por camadas de pedregulho.	37
Figura 17: Curva granulométrica do ensaio de granulometria da areia dos filtros lentos. .	39
Figura 18: Imagem microesferas de poliestireno em microscopia eletrônica de varredura.	41
Figura 19: A. Tubo de Eppendorf com microesferas diluídas. B. Hemocítômetro.....	42
Figura 20: Contagem em câmara em hemocítômetro nos campos 1, 2, 3 e 4 e 5 para posterior extrapolação.	43
Figura 21: Imagem do sistema durante ensaio com filtros de não tecidos sintéticos.....	46
Figura 22: Imagem do sistema durante ensaio com filtros de areia.	47
Figura 23: Coleta realizada em copo plástico descartável.	49
Figura 24: Ilustrações simplificadas do procedimento para purificação, extração e leitura de microesferas fluorescentes de poliestireno.	51

Figura 25: Redução dos valores de turbidez para a água filtrada.....	56
Figura 26: ‘Eficiência de redução turbidez em porcentagem.....	56
Figura 27: Comparação dos valores do teste de médias entre 5 diferentes meios filtrantes na redução de turbidez (Teste de Kruskal Wallis).	61
Figura 28: Comparação dos valores do teste de médias entre 5 diferentes meios filtrantes em cada intervalo de tempo na redução de turbidez (Teste de Kruskal Wallis), sendo que T1 no 240 minutos não foi representado por não haver vazão.....	62
Figura 29: Valores de turbidez ao longo do tempo e ensaio controle.	63
Figura 30: Comparação dos valores do teste de médias entre 5 diferentes meios filtrantes na redução de cor aparente (Teste de Kruskal Wallis).	68
Figura 31: Comparação dos valores do teste de médias entre 5 diferentes meios filtrantes em cada intervalo de tempo na redução de cor aparente (Teste de Kruskal Wallis), sendo que T1 no 240 minutos não foi representado por não haver vazão.....	69
Figura 32: Valores de cor aparente ao longo do tempo e ensaio controle.	70
Figura 33: Comparação dos valores do teste de médias entre 5 diferentes meios filtrantes na redução da condutividade elétrica (Teste de Kruskal Wallis).	74
Figura 34: Comparação dos valores do teste de médias entre 5 diferentes meios filtrantes em cada intervalo de tempo na redução de condutividade elétrica (Teste de Kruskal Wallis), sendo que T1 no 240 minutos não foi representado por não haver vazão. ...	75
Figura 35: Valores de Condutividade Elétrica ao longo do tempo e ensaio controle.	76
Figura 36: A. Não tecido com flocos aderidos na superfície (Visualização à olho nu). B. Flocos e microesferas aderidos nos não tecidos (Microscopia; aumento: 100x).....	78
Figura 37: Flocos aderidos nos não tecidos - A. (1000 x) e B. (200 x).....	79
Figura 38: Fios dos não tecidos sintéticos limpos no aumento de 1000 x.	80
Figura 39: Presença de microesferas de poliestireno em lâmina.	82
Figura 40: Ausência de microesferas de poliestireno em lâmina.	82
Figura 41: Distribuição da estimativa de contagem para valores observados.....	89

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Parâmetros físico-químicos da água de tratamento.	24
Tabela 2: Especificações do não tecido sintético.	35
Tabela 3: Faixas granulométricas do meio filtrante utilizado no pré-filtro de pedregulho.	38
Tabela 4: Valores obtidos em ensaio de granulometria para areia grossa na filtração lenta.	39
Tabela 5: Parâmetros físico-químicos analisados.....	50
Tabela 6: Valores médios de turbidez nos ensaios preliminares.	55
Tabela 7: Valores de turbidez para tratamentos T1 – Pré-Filtro e 5 camadas de não tecidos.	57
Tabela 8: Valores de turbidez para tratamentos T2 - 5 camadasde não tecidos.....	58
Tabela 9: Valores de turbidez para tratamentos T3 - 10 camadas de não tecidos sintéticos.	58
Tabela 10: Valores de turbidez para tratamento T4 - Areia.	59
Tabela 11: Valores de turbidez para tratamentos T5 - Areia + não tecido sintético.	59
Tabela 12: Valores de turbidez dos intervalos de coleta para o ciclo de 5 dias de ensaio com filtros de areia.	64
Tabela 13: Valores de Cor aparente para tratamentos com 5 camadas de não tecido e pré- filtro.	65
Tabela 14: Valores de Cor aparente para tratamentos com 5 camdas de não tecidos.	66
Tabela 15: Valores de Cor aparente para tratamentos com 10 camadas de não tecidos.....	66
Tabela 16: Valores de Cor aparente para tratamentos com Areia.	67
Tabela 17: Valores de Cor aparente para tratamentos com Areia+não tecidos.....	67
Tabela 18: Leituras de Cor aparente para os tratamentos com filtros de areia.	71
Tabela 19: Valores de Condutividade elétrica para tratamentos com 5 não tecidos+pré- Filtro.	72
Tabela 20: Valores de Condutividade elétrica para tratamentos com 5 não tecidos.	72
Tabela 21: Valores de Condutividade elétrica para tratamentos com 10 não tecidos.	73
Tabela 22: Valores de Condutividade elétrica paratratamentos com areia.	73
Tabela 23: Valores de Condutividade elétrica para tratamentos com areia+não tecidos. .	734
Tabela 24: Leituras de Condutividade elétrica para os tratamentos com filtros de areia. ..	77

Tabela 25: Valores de microesferas por Litro do tratamento Pré-Filtro e 5 não tecidos.	83
Tabela 26: Valores de microesferas por Litro do tratamento 5 não tecidos.....	84
Tabela 27: Valores de microesferas por Litro do tratamento 10 não tecidos.....	85
Tabela 28: Valores de microesferas por Litro do tratamento areia.	86
Tabela 29: Valores de microesferas por Litro do tratamento areia+não tecidos.	87
Tabela 30: Valores estimados de microesferas.L ⁻¹ no modelo ZIP para cada tratamento. .	89
Tabela 31: Valores estimados de microesferas.L ⁻¹ no modelo ZIP para cada Tempo.....	90
Tabela 32: Combinação da interação Tratamento x Tempo para modelo ZIP.....	90
Tabela 33: Valores estimados pelo modelo ZIP da interação Tratamento x Tempo	91
Tabela 34: Valores convertidos em microesferas.L ⁻¹ da interação Tratamento x Tempo. .	91

1. INTRODUÇÃO

Em países em desenvolvimento, águas que são diretamente coletadas dos rios para consumo apresentam geralmente valores elevados de cor, turbidez e organismos causadores de doenças, o que torna seu consumo direto inviável. Para monitorar a qualidade de água nesses países, a turbidez e a cor são os parâmetros mais indicados, por apresentar custos acessíveis e facilidade na obtenção dos dados.

No caso de organismos causadores de doenças, ainda existem grandes dificuldades para sua identificação, devido a falta de infraestrutura e laboratórios especializados. Entre esses organismos, oocistos do protozoário *Cryptosporidium* spp. apresentam, além das dificuldades laboratoriais, a capacidade de ultrapassar diversas barreiras de tratamento devido a sua robustez e de resistir à desinfecção por cloro.

Em razão desses fatores, o tratamento da água é essencial para viabilizar água potável à população, evitando dessa forma, o surgimento de doenças que atingem principalmente crianças, idosos e pessoas que apresentam imunodeficiência.

Nos grandes centros urbanos prenomina o processo de tratamento convencional de água, que geralmente é contemplado pelo uso de coagulantes químicos, seguido dos processos de floculação, sedimentação, filtração e desinfecção. Em regiões afastadas desses grandes centros urbanos, é necessário que haja também o tratamento de água para garantir a essas populações, o recebimento de água com a mesma qualidade que o tratamento convencional.

Como os custos para transportar esses coagulantes químicos em regiões mais afastadas são elevados, e também há exigências de treinamento ou automatização do sistema para a dosagem de aplicação desse coagulante, o tratamento convencional da água pode ser inviabilizado. Por isso, é preciso buscar substâncias alternativas ou materiais de fácil obtenção que são existentes nessas regiões, além de capacitar moradores para executar seu próprio tratamento.

Coagulantes naturais, geralmente de origem vegetal, são alternativas de tratamento voltadas para regiões onde não há o tratamento convencional da água. Um coagulante natural amplamente empregado em diversos países em desenvolvimento é proveniente da semente de *Moringa oleifera*. Tal coagulante promove o tratamento de água, eliminando partículas e micro-organismos de preocupação ambiental e de saúde pública (PATERNIANI *et al.*, 2010).

O uso de coagulantes naturais como as sementes de *Moringa oleifera*, favorecem a aplicação em países em desenvolvimento, cujo tratamento de água ainda possui custos onerosos ou não atende a população em geral. O coagulante a base de sementes de *Moringa oleifera* é uma alternativa viável do ponto de vista econômico em regiões de difícil acesso.

Atualmente, pesquisadores tem efetuado a coagulação empregando sementes de *Moringa oleifera* combinado com sistemas filtração (FRANCO, 2010; PATERNIANI *et al.*, 2010). Tal junção tem se mostrado promissora na redução de turbidez, embora não se tenham comprovado ainda a retenção de organismos causadores de doenças, capazes de resistir à cloração, como oocistos do protozoário *Cryptosporidium* spp.. É necessário que esse tipo de tratamento combinado seja eficaz, pois caso esse protozoário resista ao tratamento, os riscos para a população podem ser elevados.

Para testar a eficiência de diversos tipos de tratamento, microesferas fluorescentes de poliestireno são utilizadas em substituição de oocistos de *Cryptosporidium* spp. (EMELKO *et al.*, 2001; EMELKO *et al.*, 2003; DAÍ & HOZALSKI, 2003; BAEZA & DUCOSTE, 2004; TUFENKJI & ELIMELECH, 2005; BANDYOPADHAYAY, K. *et al.*, 2007; METGE *et al.*, 2007; HARVEY *et al.*, 2008; CERQUEIRA, 2008; BROWN & EMELKO, 2009). Isso ocorre porque algumas características físicas são similares às microesferas.

A maior vantagem no uso de microesferas de poliestireno é evitar o contato direto com oocistos desse protozoário, principalmente devido as dificuldades para isolar oocistos de fezes, metodologias de detecção e garantir ao final do uso de cepas que as mesmas estejam inativadas para o descarte adequado, evitando assim o risco de contaminação durante a dispersão no meio ambiente. Em procedimentos que testam apenas a remoção física de oocistos, a aplicação de microesferas de poliestireno é justificável.

Por isso, como o tratamento empregando o uso do coagulante a base de *Moringa oleifera* e sequencial filtração é considerado um sistema de tratamento de remoção física, é possível utilizar as microesferas para simular a presença dos oocistos de *Cryptosporidium* spp.. Desta forma, esse trabalho objetivou avaliar uma alternativa combinada de tratamento de água empregando o uso do coagulante natural a base de sementes de *Moringa oleifera* seguida da filtração lenta, composta por cinco diferentes meios filtrantes, verificando assim, a retenção de microesferas de poliestireno no sistema proposto.

2. HIPÓTESE

A utilização da coagulação para tratamento de água empregando o coagulante natural à base de sementes de *Moringa oleifera* em conjunto com a filtração lenta, constituída por filtros de diferentes meios filtrantes, promove a retenção de microesferas fluorescentes de poliestireno, que indiretamente simulam oocistos do protozoário *Cryptosporidium* spp.. Com isso, proporciona água de melhor qualidade, a partir de um sistema alternativo de tratamento de água.

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo Geral

Este trabalho teve como objetivo empregar um sistema de tratamento de água composto por coagulação/floculação, utilizando o coagulante natural a base de sementes de *Moringa oleifera* seguida da filtração lenta, a partir da comparação de 5 meios filtrantes, para redução de microesferas de poliestireno que são consideradas substitutas dos oocistos de *Cryptosporidium* spp..

3.2 Objetivos Específicos

- Verificar a retenção de microesferas de poliestireno à partir de cada meio filtrante proposto no sistema de tratamento;
- Avaliar o potencial da solução líquida a base de sementes de *Moringa oleifera* como coagulante natural associado ao sistema de filtros lentos na retenção de microesferas de poliestireno;
- Avaliar diferentes combinações de nãotecido sintético e areia como meio filtrante da filtração lenta quanto a sua eficácia em reter microesferas de poliestireno;
- Verificar o desempenho de 5 ensaios sequenciais (sem remoção da areia), nos filtros lentos de areia para simular a fase de amadurecimento dos filtros na redução de microesferas e parâmetros físico-químicos ao longo do tempo;
- Verificar a qualidade da água na saída de todos os pontos de tratamentos em diferentes intervalos de tempo mediante avaliação dos parâmetros físicos químicos: pH, turbidez, cor aparente e condutividade elétrica;

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 *Cryptosporidium* spp.: protozoário emergente e oportunista

Classificado como um eucarionte do filo Apicomplexa, todas as espécies de *Cryptosporidium* são parasitos obrigatórios, intracelulares, que sofrem desenvolvimento dentro do hospedeiro, culminando na produção de formas de resistência que são eliminadas nas fezes, denominados oocistos. Uma vez esses oocistos ingeridos são capazes de infectar as microvilosidades das células do epitélio intestinal e/ou a árvore brônquica de mais de 150 espécies de vertebrados. Para a maioria das espécies do filo Apicomplexa, produtoras de oocistos, a importância primordial em estudar esse parasito reside na sua acentuada capacidade de dispersão, sobrevivência e infectividade (XIAO *et al.*, 2004; FAYER, *et al.*, 2000).

Cryptosporidium spp. é um parasito de ciclo monoxênico, apresentando uma fase endógena dentro do hospedeiro e uma exógena na forma de oocistos. Esses oocistos são as formas de resistência do protozoário no meio ambiente e apresentam variações de tamanhos de 2,0 µm a 6,0 µm (FRANCO, 2001). Dependendo da espécie, o formato dos oocistos pode ser esférico ou ovalado, em seu interior, circundado por uma parede de dupla camada são encontrados quatro esporozoítos (FRANCO e SANTOS, 2008).

Após a ingestão ou a inalação dos oocistos por um novo hospedeiro, a excitação ocorre em condições redutoras, sais biliares e possivelmente por enzimas do intestino delgado, que ajudam a dissolver uma sutura presente da parede do oocisto para liberar os esporozoítos. Segundo Franco e Santos (2008), essa sutura é uma característica única dos oocistos de *Cryptosporidium*, que durante a fase de excitação, é dissolvida permitindo a saída desses esporozoítos, que ficam alocados nas microvilosidades das células hospedeiras (KOSEK, *et al.*, 2001).

Na fase endógena, o ciclo biológico do *Cryptosporidium* é formado por dois tipos de oocistos: os de parede espessa, eliminados infectantes (esporulados) nas fezes, e os de parede fina, que iniciam um ciclo de auto-infecção interna do hospedeiro e não alcançam as fezes (FRANCO e SANTOS, 2008). Em cada estágio do ciclo de vida desse parasito, os oocistos podem ser encontrados dentro da célula do hospedeiro, porém localizado membrana celular, não alcançando o citoplasma. Após o período de incubação, que dura de 2 a 10 dias, o

patógeno faz com que o hospedeiro apresente os primeiros sintomas (DAWSON, 2005).

A criptosporidiose é conhecida pela doença causada pelo *Cryptosporidium* spp., sendo tipicamente caracterizada por início súbito de diarreia aquosa, e muitas vezes acompanhada por cólicas abdominais, febre baixa, náuseas, vômitos, desidratação e perda de peso (ETHELBERG et al., 2009). Alguns medicamentos podem suprimir o parasita, porém não são considerados eficientes no tratamento para a cura da infecção (DAWSON, 2005).

Antes dos anos 80, as infecções por *Cryptosporidium* spp. eram consideradas raras, sendo mais frequentes em animais e raramente identificados em humanos. Entre os anos 80 e 90, a criptosporiose foi a causadora da diarreia aguda em pacientes com a Síndrome da Imunodeficiência Adquirida (SIDA) (KOSEK et al., 2001).

Atualmente, a ocorrência de surtos epidêmicos vinculados ao protozoário se apresenta por meio da ingestão de alimentos ou águas contaminadas, e demonstrou de forma inequívoca que *Cryptosporidium* spp. pode infectar indivíduos também saudáveis (imunocompetentes), causando diarreia, cuja cura pode ser espontânea ou que propicie uma auto-cura. No caso de pacientes imunodeprimidos, a criptosporidiose geralmente se apresenta como uma ameaça à vida (CURRENT e GARCIA, 1991).

Existe um grande número de espécies de *Cryptosporidium*, mas na maioria dos casos notificados em humanos, o *Cryptosporidium parvum* é a espécie mais frequente, que tem como receptores o homem e bovinos, principalmente. Essa espécie foi isolada em 2 genótipos, sendo que os de tipo 1, tem como hospedeiro apenas humanos e o de tipo 2, bovinos e humanos infectados por fezes de bezerros (DAWSON, 2005). Recentemente foi proposto que o genótipo do tipo 1 fosse representado pela espécie *Cryptosporidium hominis*, por infectar apenas humanos (MORGAN-RYAN et al., 2002 citado por DAWSON, 2005).

Os oocistos garantem a dispersão do protozoário no meio ambiente, uma vez que sua superfície é resistente a diferentes condições de solos, ambientes aquáticos e sedimentos. Isso ocorre devido sua estrutura ser constituída por múltiplas camadas de polímeros, lipídios, polissacarídeos, proteínas ou quitina. Por isso, podem resistir à cloração em estações de tratamento de água durante o processo de desinfecção (KORICH et al., 1990). Devido à constituição de sua parede, os mesmos apresentam também compressibilidade, e com isso são capazes de ultrapassar tratamentos físicos, como a filtração (ROCHELLE et al., 2002; GAJADHAR e ALLEN, 2004; FRANCO e SANTOS, 2008).

Quando resíduos de animais e excretas de humanos são lançados no meio ambiente, estes podem conter diversos patógenos, incluindo oocistos do protozoário *Cryptosporidium* spp.. A ocorrência do protozoário pode ser devida a aplicação desses resíduos em culturas, ou pela contaminação direta do contato entre o homem e animais ou culturas agrícolas irrigadas com águas contaminadas. A resistência dos oocistos faz com que sobreviva por longo intervalo de tempo em diversos ambientes como solos, água subterrâneas, de rios e até mesmo águas salinas (DUFFY e MORIARTY, 2003).

A transmissão dos oocistos de *Cryptosporidium* spp. ocorre por via fecal-oral, sendo causada pelo contato direto com pessoas ou animais infectados, ou indiretamente pela ingestão de água de consumo ou de recreação contaminados, ou também por alimentos contaminados (ETHELBERG *et al.*, 2009; VERONESI *et al.*, 2009).

Os oocistos são frequentes contaminantes da água, apresentando a facilidade de infectar hospedeiros humanos e não humanos, principalmente por estar vinculado à pecuária, práticas agrícolas e ambientes selvagens. A robustez dos oocistos permite sua persistência prolongada em ambientes aquáticos. Além disso, a contaminação ambiental a partir de amostras de água contendo espécies de oocistos de *Cryptosporidium*, que não são suscetíveis à infecção em hospedeiros humanos contribui para dificultar a avaliação de risco para a saúde pública (NICHOLS *et al.*, 2003).

A principal forma de contaminação de alimentos frescos, tais como frutas e vegetais, ocorre principalmente por meio de água contaminada por material fecal de origem humana ou animal, utilizada na irrigação de culturas agrícolas (SILVA *et al.*, 2005). Quando o alimento se trata de carnes de abate, existe o risco de contaminação com a presença de oocisto em águas de lavagem (SCARCELLI e PIATTI, 2002).

Em gados de corte, o risco de contaminação pode ocorrer durante a lavagem da carne após o abate. MC EVOY *et al.* (2005) estudaram a prevalência de oocistos de *Cryptosporidium* na água de abastecimento de matadouro de gado de corte, com espécies isoladas e recuperadas, além da avaliação do potencial de transferência do patógeno para a carcaça. Os resultados mostraram que não foi possível encontrar oocistos *Cryptosporidium* spp. nas amostras dos matadouros, porém nas águas de abastecimento utilizadas para lavagens foram identificados oocistos em 26,1% das amostras. Nenhuma contaminação foi detectada na carcaça, devido ao baixo número de oocistos presentes na água de lavagem no momento da

amostragem.

Nos Estados Unidos e alguns países da América Central, Thurston-Enriquez *et al.* (2002) investigaram a presença de oocistos de *Cryptosporidium* spp. em amostras de água utilizadas para irrigar culturas de alimentos consumidos crus. A partir de testes aplicando imunofluorescência direta foi possível detectar oocistos de *Cryptosporidium* em 36 % de todas as amostras de água coletada, sendo que nas amostras de água nos países da América Central foram encontrados 227 oocistos e nos Estados Unidos observaram menos de 19 oocistos por 100 litros de água.

Todos esses dados confirmam a veiculação desse organismo tanto no meio urbano como no meio rural, e por isso, alternativas de tratamentos são favoráveis para evitar contaminação e a intervenção desse parasito na qualidade de vida de diversas populações, principalmente em regiões onde o tratamento de água é precário ou inexistente.

Os surtos de criptosporidiose estão associados à água potável, poços, rios, lagos e piscinas recreativas (GUY *et al.*, 2003), e por isso alternativas de tratamento são aplicadas para impedir que esses oocistos permaneçam em água. Isolar este protozoário de águas diminuem os riscos causados ao homem (PILARCZYK e BALICKA-RAMISZ, 2002).

A presença de oocistos de *Cryptosporidium* spp. em fontes de abastecimento de água é considerado um risco à população, tendo como consequência a criptosporidiose. Tem sido um assunto de grande preocupação para as autoridades de saúde pública, serviços públicos e sistemas de abastecimento de água (GAMBA *et al.*, 2000). As frequentes ocorrências relatadas referentes à contaminação de águas superficiais são de 60 a 96% nos Estados Unidos e de 20 a 64% no Canadá.

Um dos maiores surtos existentes envolvendo oocistos de *Cryptosporidium* spp., em estações de tratamento de água ocorreu em 1993, em Milwaukee (EUA), quando a divisão de saúde foi acionada após relatos de numerosos casos de uma doença gastrointestinal não diagnosticada. Dois laboratórios identificaram oocistos em amostras de fezes de sete adultos residentes da área de Milwaukee. Os resultados apontaram o abastecimento de água como a principal fonte de infecção. Em 739 pessoas foram identificados oocistos nas amostras de fezes, testadas em 14 laboratórios, porém mais de 4000 pessoas foram internadas e a criptosporidiose contribuiu para aproximadamente 104 óbitos (MACKENZIE *et al.*, 1994; MORIS *et al.*, 1996).

Proteger o abastecimento de água potável contra protozoários parasitas, como o *Cryptosporidium* spp. é a maior preocupação para as empresas distribuidoras de água em todo o mundo. Para o fornecimento de água potável de qualidade, é necessário garantir ao tratamento, múltiplas barreiras de filtração, na concepção de promover a proteção dos recursos hídricos (superficiais e subterrâneos), otimização de estações de tratamento de água e manter um sistema de distribuição adequado.

Nos Estados Unidos, a Agência de Proteção Ambiental (USEPA) estabeleceu a regulamentação nacional a partir da ação do “*Safe Drinking Water Act*” (SDWA), que foi originalmente adotada em 1974 e mais tarde em 1986 e 1996, atualizada. Esta regulamentação para águas de consumo foi desenvolvida a partir de parâmetros criteriosos, para que desta forma ocorresse melhorias nos processos de tratamento de água (BETANCOURT e ROSE, 2004).

No Brasil, a nova portaria nº 2914 do Ministério da Saúde, que substitui a antiga nº 518, estabelece que no monitoramento quando identificada média geométrica anual maior ou igual a 1.000 *Escherichia coli*/100mL deve-se realizar o monitoramento de cistos de *Giardia* spp. e oocistos de *Cryptosporidium* spp. no(s) ponto(s) de captação de água. Quando a média aritmética da concentração de oocistos de *Cryptosporidium* spp. for maior ou igual a 3,0 oocistos/L no(s) pontos(s) de captação de água, recomenda-se a obtenção de efluente em filtração rápida com valor de turbidez menor ou igual a 0,3 NTU em 95% (noventa e cinco por cento) das amostras mensais ou uso de processo de desinfecção que comprovadamente alcance a mesma eficiência de remoção de oocistos de *Cryptosporidium* spp.

Mesmo que a nova portaria estabeleça essas alterações, a realidade do Brasil ainda difere em relação aos países desenvolvidos. A falta de monitoramento em estações de tratamento de água favorece a geração de zonas de contaminação e deficiências no sistema, gerados principalmente, nas etapas de coagulação e na de filtração. A cloração é a última etapa do tratamento, porém muitos organismos são resistentes ao cloro e chegam nessa fase do tratamento por consequência da ineficiência do sistema (SHIELDS *et al.*, 2008).

Assim, a água que chega às residências, indústria e na agricultura pode estar comprometida pela presença de contaminantes provenientes do tratamento da água. Por isso, é preciso utilizar um sistema de tratamento que seja eficaz na remoção de organismos e partículas em suspensão.

4.2 Microesfera fluorescentes de poliestireno

As dificuldades existentes para a execução de metodologias de detecção de oocistos de *Cryptosporidium* spp., além dos custos onerosos para testar os diversos tipos de tratamentos, têm levado a busca por alternativas que complementem ou substitua a utilização desse protozoário em pesquisas. A procura contínua por parâmetros que substituam os oocistos na avaliação da eficiência dos processos, técnicas de remoção e inativação de *Cryptosporidium* spp. presentes em água tem feito com que pesquisadores testem vários tipos de partículas com dimensões e densidades próximas que a dos oocistos (CERQUEIRA, 2008).

As microesferas de poliestireno são uma alternativa amplamente empregada por diversos pesquisadores para simular a presença dos oocistos de *Cryptosporidium* spp. e verificar a eficiência de seus tratamentos (EMELKO *et al.*, 2001; EMELKO *et al.*, 2003; DAÍ e HOZALSKI, 2003; BAEZA e DUCOSTE, 2004; TUFENKJI e ELIMELECH, 2005; BANDYOPADHAYAY, K. *et al.*, 2007; METGE *et al.*, 2007; HARVEY *et al.*, 2008; CERQUEIRA, 2008; BROWN e EMELKO, 2009). A utilização dessas microesferas é frequente porque apresentam características similares que a dos oocistos, como o tamanho, a densidade, o formato, além também das condições hidrofóbicas. Outra vantagem também é a minimização de riscos ocasionados pelo manuseio do protozoário em laboratórios.

As microesferas fluorescentes de poliestireno são pequenas esferas constituídas por látex, geralmente feitas de poliestireno com benzeno di-vinil. Podem ser preparadas com uma variedade de grupos funcionais na parte externa, como por exemplo, grupos funcionais de COOH, conjugado às superfícies das esferas. Karaman *et al.* (1999) reportaram que alguns desses grupos funcionais apresentam superfície similar que a dos oocistos de *Cryptosporidium parvum*. Na presença de um corante fluorescente e um comprimento de onda específico, permite ser diretamente visualizada no microscópio de fluorescência (PONTIUS *et al.*, 2009).

Elas possuem formato esférico e encontram-se disponíveis comercialmente a partir de vários fornecedores (por exemplo: BangsLaboratories, Dynamics Corp Interfacial e Polysciences) e em variedade (PONTIUS *et al.*, 2009).

As microesferas foram empregadas em diversas pesquisas para simular o comportamento do protozoário no meio ambiente e em sistemas de tratamento. Harvey *et al.*

(2008) aplicaram microesferas para simular o transporte dos oocistos em solos. Mariñas *et al.* (1999) e Baeza e Ducoste (2004) utilizaram para simular o comportamento do protozoário no processo de desinfecção. No tratamento de água, Emelko *et al.* (2003) verificou o desempenho da filtração para a retenção de microesferas de poliestireno.

Em 2010, Mohanram *et al.*, apresentaram em suas pesquisa o transporte e a fixação de oocistos de *Cryptosporidium parvum* em solos vulcânicos, utilizando oocistos e microesferas de poliestireno. Em 10 cm de fluxo foram verificadas que os oocistos e microesferas foram quase retidos por completo (98 e 99%). Assim, os autores puderam observar que o transporte é retardado devido às interações com a superfície dos grãos, embora a inclinação do terreno, precipitações elevadas e o pH podem influenciar no comportamento do transporte dos oocistos e microesferas.

O potencial de transporte das microesferas no solo foram avaliados por Metge *et al.* (2010), e verificaram também que as mesmas são mais eletronegativas que os oocistos. Entretanto isso não influenciou a semelhança com os oocistos no comportamento em solo.

As microesferas fluorescentes foram utilizadas por Baeza e Ducoste (2004) para simular a inativação dos oocistos de *Cryptosporidium parvum* em múltiplos sistemas de desinfecção, com uma fase primária empregando ozônio e uma fase secundária aplicando cloro livre. A intensidade da fluorescência foi a variável para determinar a perda da fluorescência ao longo da exposição dos desinfetantes. Os resultados mostraram que as microesferas fluorescentes apresentam efeitos sinérgicos na presença dos desinfetantes. Além desse efeito, os testes estruturais mostraram que a superfície do poliestireno foi danificada na presença de ozônio. Os autores consideraram essa técnica promissora para simular o comportamento sinérgico dos oocistos, já que apresentaram comportamento semelhante.

Emelko *et al.* (2001) empregaram microesferas simulando em sistemas de filtração. Em 2009, Brown e Emelko empregaram estudos comparando diferentes coagulantes para verificar a redução de microesferas de poliestireno. Como alguns resultados referente ao uso de microesferas foram observados em sistemas de filtração e coagulação química, é preciso buscar estudos que visem testar as microesferas de poliestireno com coagulantes naturais, já que no Brasil existe uma necessidade em testar novas tecnologias de tratamento voltadas para atender populações que não têm acesso à águas tratadas em grandes estações de

tratamentos.

Desta forma, a realização de testes aplicando microesferas fluorescentes de poliestireno nesses sistemas alternativos demonstra maior confiabilidade para os tratamentos, principalmente pela capacidade de comparação com oocistos de *Cryptosporidium* spp. que são protozoários com um elevado grau de importância vinculado aos grandes surtos decorrentes de água contaminada.

4.3 *Moringa oleifera*

Moringa oleifera é uma árvore de extrema importância devido às diversas propriedades existentes para o uso na alimentação, tratamento de água, medicinal, entre vários outros fins. É uma planta nativa do Norte da Índia, cresce atualmente em vários países dos trópicos. É uma árvore de caule grosso e alto, podendo atingir até 10 metros, com suas folhas longo pecioladas, bipinadas, folíodosobovais, comprida, até 3 cm. O fruto é uma espécie de vagem com três faces (diferentes de uma vagem normal, que tem duas faces), com um grande número de sementes (PATERNIANI *et al.*, 2010). É resistente a secas, cresce em regiões semi-áridas com precipitação anual de 250-1500 mm como também cresce em regiões úmidas com precipitações anuais acima de 3000 mm, em um ano a árvore já tem um desenvolvimento capaz de gerar frutos (GHEBREMICHAEL, 2004).

Os frutos, folhas, flores e vagens desta árvore são empregados na alimentação pelo alto teor nutritivo em muitos países, principalmente na Índia, Paquistão, Filipinas, Havaí e em muitas regiões da África. Existem relatos de que as folhas da *Moringa oleifera* apresentam ricas fontes de caroteno, proteína, vitamina C, cálcio, potássio e grandes propriedades antioxidantes. Além disso, sua vida útil se deve ao teor de gordura existe, devido à presença de vários tipos de compostos antioxidantes, como ácido ascórbico, flavonoides, fenólicos e carotenoides. Nas Filipinas é conhecida como a melhor amiga das mães por causa da sua contribuição para o aumento da produção do leite materno e às vezes evita casos de anemia (ANWAR, 2007).

Moringa oleifera é versátil para diversos fins. Considerada uma planta medicinal, já que é empregada no preparo de diversos medicamentos. É reconhecida por propriedades medicinais como antiespasmódico, anti-inflamatório, diurético, e útil no tratamento de histeria,

tumores, leucoderma, entre outros (TALREJA, 2010).

O número de propriedades medicinais tem sido revelado em várias partes integrantes da árvore, incluindo raízes, gomas, cascas, folhas, frutos (vagens), flores, sementes e óleo de semente para a cura de várias doenças na medicina indígena do Sul Ásia, incluindo o tratamento de inflamação e doenças infecciosas, juntamente com cardiovascular, gastrointestinal, distúrbios hematológicos e hepatorenal (ANWAR, 2007).

4.3.1 *Moringa oleifera* no tratamento de água

A remoção de turbidez e cor é um dos passos mais importantes em um processo de tratamento de água convencional, que geralmente é alcançado pelo uso de coagulantes, com base em suas características químicas. Esses coagulantes são classificados como inorgânicos, polímeros sintéticos orgânicos e coagulantes naturais. Entre os coagulantes químicos mais empregados nas estações de tratamento de água estão o sulfato de alumínio e o cloreto férrico. Entretanto, nos países em desenvolvimento, os custos para levar esses coagulantes e utilizar no tratamento de água tornam-se muito elevados (NDABIGENGESERE *et al.*, 1995; PRITCHARD *et al.*, 2010).

Coagulantes naturais de origem vegetal ou mineral são usados no tratamento de água muito antes do advento de sais químicos. O uso de coagulantes naturais tem sido desencorajado no emprego direto no tratamento de água, devido à alta modernização e a industrialização de produtos químicos. Seu uso tem sido difundido em países em desenvolvimento, em regiões remotas, onde se aplica como única fonte de tratamento (NDABIGENGESERE & NARASIAH, 1998), como no caso dos coagulantes *Moringa oleifera*, *Jatropha curcas*, *Guargum*, *Strychnos potatorum*, *Hibiscus sabdariffa* e *Clidemia angustifolia*, que são utilizados na purificação de água por muitos séculos (PRITCHARD *et al.*, 2010).

Um exemplo clássico de coagulante natural é a semente da árvore tropical *Moringa oleifera* Lam., que contém agentes ativos com excelente atividade e propriedades coagulantes. O extrato das sementes é amplamente empregado no tratamento de água com o objetivo de observar o efeito coagulante, além da inativação de bactérias (MUYBI, 1995).

Ndabigengesere *et al.* (1995) mostraram que os agentes ativos da coagulação em

extratos aquosos são proteínas dimétricas catiônicas, com massa molecular de 13 kDa e pontos isoelétricos entre 10 e 11. O mecanismo de coagulação da *Moringa oleifera* parece ser representado pela adsorção e neutralização de cargas superficiais. Outros pesquisadores relataram que a massa molecular é de 6,5 kDa e ponto isoelétrico maior do que 10 (Gassenschmidt *et al.*, 1995). Por outro lado, Okuda (2001) discorda dessas evidências, afirmando a partir de uma extração aquosa com sal, que o componente ativo não é uma proteína de polissacarídeo ou lipídio, mas um polieletrólito orgânico de massa molecular de 3,0 kDa.

Estudos mais recentes de Ghebermichael (2005) mostraram por espectrometria de massa e cromatografia que cada fração de proteína obtida após trocas catiônicas não consiste de uma única proteína, mas sim de uma mistura de proteínas com características físicas semelhantes. Analisando a composição dessas misturas obtiveram informações sobre a sequência peptídica, com características semelhantes ou idênticas. Além disso, o autor também mostrou que a proteína é termo-resistente, uma vez que manteve-se ativa após 5 horas de exposição em temperatura de 95⁰C.

Outros estudos já relataram mais de uma família de proteínas que apresentam atividade no processo de coagulação (GASSENSCHMIDT *et al.*, 1995). As plantas, no geral, expressam muitas proteínas intimamente relacionados durante desenvolvimento de suas diferentes fases (DONG *et al.*, 2004 citado por GHEBERMICHAEL, 2005), por isso é esperado a produção de uma gama de variantes de sequência de proteínas nas sementes que apresentam atividade coagulante (GHEBERMICHAEL, 2005).

Vários estudos demonstram que o coagulante quando dosado adequadamente não é tóxico para humanos, e além das propriedades coagulantes, apresenta efeito bactericida. Outro aspecto positivo no uso das sementes de *Moringa oleifera* é que o pH e o gosto da água não se alteram, o que torna a mesma palatável (AMARAL, *et al.*, 2006; NDABIGENGESERE, 1998).

O benefício de usar coagulantes derivados de *Moringa oleifera* é que outros produtos podem ser extraídos da semente, como o óleo de forma fracionada, processado antes de utilizar a coagulação. Os resíduos provenientes do tratamento podem ser utilizados na alimentação do gado ou como fertilizante, enquanto a casca pode ser utilizada como adsorvente. Além disso, o coagulante possui baixo ou não possui custos na sua produção

(GHEBERMICHAEL, 2010).

A *Moringa oleifera* apresenta um grande potencial para ser empregado no tratamento de água, e pode ser altamente recomendada em regiões onde não existem tratamentos convencionais. Nas zonas rurais do nordeste brasileiro a utilização das sementes de *Moringa oleifera* no tratamento de água para o consumo humano tem sido prática frequente, dada a escassez de água potável para a população rural dessa região (BEZERRA, *et al.*, 2004).

Outras tecnologias alternativas de tratamento de água podem servir como auxiliar do tratamento com *Moringa oleifera*, sendo a filtração a tecnologia mais apropriada. Uma vez realizada a coagulação e a floculação a partir deste coagulante natural, a filtração pode ser empregada como um processo sequencial ao tratamento.

Beltrán-Heredia e Sánchez-Martin (2009) realizaram este procedimento, embora tenham mantido a sedimentação entre o processo de coagulação e filtração. Entretanto, os autores observaram que há significância da aplicação da filtração em relação ao método convencional de utilização da *Moringa oleifera*, onde geralmente é realizado o processo de coagulação/floculação seguida da etapa de sedimentação.

As possíveis desvantagens devido a não sedimentação total podem ser reduzidas pelo uso do filtro lento de areia (BELTRÁN-HEREDIA E SÁNCHEZ-MARTIN). O uso da semente de *Moringa oleifera* em conjunto com sistemas de filtração pode ser uma alternativa eficaz na remoção de microrganismos presentes em águas, principalmente tratando-se de protozoários como oocistos de *Cryptosporidium* spp..

Poucos estudos relatam a utilização do coagulante *Moringa oleifera* na remoção de oocistos de *Cryptosporidium* spp.. Até o presente momento, Nish *et al.* (2011) avaliaram a coagulação em Jar Test para reduzir cor, turbidez, cistos de *Giardia* spp. e oocistos de *Cryptosporidium* spp.. Para melhorar a eficiência na redução desses protozoários, Nish *et al.* (2012) incluíram após a etapa de coagulação/floculação com *Moringa oleifera*, a microfiltração.

4.4 Filtração Lenta

A filtração lenta é um sistema de simples construção, com instalações de baixo custo, nas quais a instrumentação maquinaria pode ser praticamente eliminada. Além disso, é uma

tecnologia adequada às zonas rurais, de pequenos e médios municípios. Quando devidamente selecionada, projetada, construída e operada, a pré-filtração e a filtração lenta produz água filtrada com baixa turbidez, sem a presença de impurezas nocivas e livres de organismos patogênicos (VERAS e DI BERNARDO, 2008).

De acordo com Di Bernardo (1999), a filtração lenta é uma tecnologia de tratamento que vem sendo utilizada em alguns países da América do Sul, sendo sua eficácia comprovada tanto em instalações piloto quanto em protótipos para o tratamento de água com qualidade variável.

Para águas superficiais, geralmente, o processo de tratamento deve conter pelo menos duas etapas. Na primeira delas, conhecida como pré-tratamento, dá-se a separação de sólidos grosseiros por meio de filtros de areia grossa ou pedregulho. Quando a água apresenta impurezas de tamanhos variados, o pré-tratamento pode ser executado pela presença de um pré-filtro. Em seguida, tem-se a remoção de partículas finas e microrganismos remanescentes, onde a filtração lenta e a cloração são os processos comumente utilizados (VERAS e DI BERNARDO, 2008).

A filtração lenta em leito de areia é um método de tratamento apropriado para ser aplicado como alternativa de tratamento de água. É simples, apresenta baixo custo e é considerada uma tecnologia segura, podendo ser usada quando a água superficial está facilmente disponível e apresenta baixos índices de turbidez. Essa tecnologia de tratamento é considerada eficiente, porque produz efluentes com baixa turbidez, baixa quantidade de impurezas dissolvidas, bactérias, vírus entéricos e protozoários (GALVIS, 1997 citado por TANGERINO e DI BERNARDO, 2005).

Além disso, as simplicidades operacionais contribuem para a construção de pequenos sistemas e compatibilização com princípios naturais, apresentando algumas vantagens sobre outras tecnologias: não necessita da utilização de produtos químicos, não exige equipamentos sofisticados, nem operadores altamente qualificados (LONDE e PATERNIANI, 2003; MURTHA e HELLER, 2004; FERRAZ e PATERNIANI, 2002).

O filme biológico formado na superfície da camada do filtro lento, a partir de uma comunidade biológica composta por bactérias, algas, fungos, protozoários, entre outros, é conhecido como *schmutzdecke*. Este *schmutzdecke* contribui para interação desses organismos com as partículas presentes na água, e sua formação dependerá exclusivamente do

“tempo de maturação” (ou amadurecimento do filtro lento). Apenas após esse amadurecimento, o filtro encontra-se em condições adequadas para produzir essa camada e conseqüentemente água tratada de boa qualidade. A atividade biológica presente no filtro depende essencialmente da quantidade de nutrientes presentes na água bruta e da temperatura (SÁ, 2006).

Os nãotecidos sintéticos são fios de poliéster tecidos desordenadamente por agulhas, que usualmente são empregados para complementar a camada suporte de areia como meio filtrante. As propriedades das fibras e o processo de fabricação definem as características finais dos nãotecidos, que podem ser leves ou pesados; macios, flexíveis ou rígidos; absorventes ou impermeáveis, adequando-se ao uso a que for destinado.

Paterniani (1991) utilizou nãotecidos sintéticos como meio filtrante no topo da camada de um filtro lento de areia. Além de diminuir a espessura da camada de areia, a camada biológica formou-se na superfície do nãotecido, fazendo com que a limpeza do sistema ficasse mais rápida e prática.

Segundo Di Bernardo (1993), os nãotecidos possuem maior capacidade de retenção de impurezas do que a areia aumentando a duração da carreira de filtração e possibilitando o emprego de taxas de filtração mais altas e redução da espessura da camada de areia, sem prejuízo da qualidade do efluente, reduzindo, assim, os custos operacionais das estações. Além da redução da espessura do meio filtrante, os nãotecidos fazem com que o “schmutzdecke” se forme na superfície desta, eliminando a necessidade de raspagem da areia para limpeza do filtro.

A composição dos nãotecidos normalmente é fornecida pelos fabricantes, assim como o título das fibras, a partir do qual pode ser calculado o diâmetro médio dos fios. No caso de nãotecidos constituídos por mais de um tipo de fibra, ou por fibras com títulos diferentes, a espessura dos nãotecidos pode ser medida diretamente no corpo do material. Já a porosidade, que é representada pela relação entre o volume de vazios e o volume total, dependerá da força de compressão aplicada (PATERNIANI, 1991), o que torna o procedimento complexo, uma vez que pode gerar a deformação ou o rompimento dos fios.

Os nãotecidos sintéticos são usados como meio filtrante em uma grande variedade de aplicações, tais como filtração de pós-industriais, produtos químicos, óleos e líquidos de refrigeração. Estudos recentes têm demonstrado que o sistema de filtração lenta com meio

filtrante complementado por nãotecidos sintéticos pode ser utilizado para tratamento de águas residuárias, com alta eficiência na redução da matéria orgânica e derivados de nitrogênio (MERMILLOD-BLONDIN, *et al.*, 2005; BEAVERS e TULLY, 2005), redução de espécies orgânicas tóxicas (CHEN e LU, 2004), de metais pesados de alto impacto ambiental como cádmio, cromo e chumbo (MUHAMMAD e HOOKE, 2003) e degradação de compostos organoclorados (CAMPOS, *et al.*, 2002).

Heller *et al.* (2006), em trabalho com filtro lento de areia observaram remoção elevada de oocistos de *Cryptosporidium* spp. e *Giardia* spp., independente do sentido do fluxo dos filtros lentos. Os esporos de bactérias anaeróbias e *Clostridium perfringens* foram os parâmetros que apresentaram os percentuais de remoções mais semelhantes aos dos protozoários.

Para complementar o sistema de filtração lenta, o uso de coagulantes naturais contribuem na retenção de partículas em suspensão. Aplicando uma dosagem adequada, é possível que o tratamento seja favorável para a retenção de flocos formados no processo, seguida da posterior retenção no filtro lento.

Franco (2010) observou a ação conjunta da filtração lenta e da coagulação com solução líquida de sementes de *Moringa oleifera*. Foi possível observar que a combinação potencializou a eficiência da filtração lenta, embora a adição de matéria orgânica em excesso diminuiu o tempo de duração da carreira. Arantes (2010) também observou a ação conjunta desse coagulante natural em filtros de nãotecidos, porém a elevada formação dos flocos gerou elevada perda de carga e o término da carreira em horas.

4.5 Remoção de *Cryptosporidium* spp. e microesferas por sistemas de filtração

Em estações de tratamento de água, a filtração é um processo utilizado para reter impurezas e organismos após a etapa de coagulação/floculação. Entretanto, em decorrência de surtos relacionados a presença desses organismos causadores de doenças, muitos pesquisadores conduzem novas tecnologias que visam melhorar o potencial de tratamento dos sistemas de filtração.

Devido à presença disseminada em água potável e sua resistência a tensões ambientais significativas, *Cryptosporidium* spp. é considerado como um dos mais importantes

parasitas relacionados à água. Existe um esforço substancial em elucidar os fatores físicos, químicos e biológicos que controlam o transporte e remoção de oocistos de *Cryptosporidium* spp. em ambientes naturais e instalações de tratamento de água potável (TUFENKJI *et al.*, 2006).

As propriedades da superfície da parede dos oocistos afeta as interações entre oocistos com a superfície química do meio filtrante (BRUSH *et al.*, 1998; EMELKO *et al.* 2005). Recentes estudos sugerem que as propriedades da superfície dos *Cryptosporidium* podem ser diferentes de outros organismos durante o processo de filtração, visto que um número significativo de oocistos podem ultrapassar as barreiras de filtração, enquanto que organismos menores como bactérias são retidas no meio filtrante (FORGEL *et al.*, citado por EMELKO *et al.*, 2005).

Diante das dificuldades existentes para compreender os mecanismos que levam os oocistos a ultrapassarem barreiras de tratamento, antigos e novos métodos são testados para evitar a presença do protozoário em água potável. Muitas são as pesquisas que objetivam introduzir melhorias no desempenho filtração, incluindo diferentes meios porosos para evitar a passagem dos oocistos.

Ahmad *et al.* (1997) e Emelko *et al.* (2003), mostraram o desempenho da filtração rápida em areia no tratamento de água em escala real e piloto, respectivamente, incluindo anteriormente o processo de coagulação/floculação e decantação.

Na filtração lenta, Tims *et al.* (1995) observaram que não houve influência na alteração da taxa de filtração de 0,3 m/h para 0,4 m/h, obtendo no tratamento até 4 log de remoção. Heller *et al.* (2006) verificaram o comportamento da filtração lenta diante de um aumento súbito na concentração de oocistos de *Cryptosporidium* e de turbidez na água, e apesar das condições transientes, foi observada elevada redução de oocistos, chegando também a 4 log de remoção. Hijnen *et al.* 2007, observaram a capacidade da filtração lenta reter oocistos de *Cryptosporidium* spp. e dois indicadores biológicos, verificando que houve 4,7 log de remoção de oocistos. Todos esses trabalhos empregaram na filtração lenta meio filtrante constituído por areia.

As dificuldades existentes na detecção dos oocistos levaram Emelko *et al.*(2001) a utilizar microesferas fluorescentes de poliestireno em sistemas de filtração. Após conduzido esses estudos, outros pesquisadores também empregaram essas microesferas para testar o

tratamento por filtração (CERQUEIRA, 2008; PANG *et al.* 2012, JAMES e AMBURGEY, 2011; TUFENKJI, 2005).

O emprego das microsferas aplicados nos sistemas de filtração atuando como substitutas dos oocistos de *Cryptosporidium* spp. tem apresentado redução similar a do protozoário. Além disso, a coagulação/floculação antecedendo a filtração pode ser uma alternativa promissora para garantir a retenção dos oocistos em meio filtrante.

5. MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa proposta foi desenvolvida no Laboratório de Hidráulica e Laboratório de Saneamento da Faculdade de Engenharia Agrícola/UNICAMP, sendo que a instalação do sistema de tratamento foi concentrada no Laboratório de Hidráulica e as análises físico-químicas e de detecção de microesferas de poliestireno foram desenvolvidas no Laboratório de Saneamento.

O experimento avaliou uma alternativa de tratamento empregando o uso do coagulante natural a base de sementes de *Moringa oleifera* seguida da filtração lenta, comparando cinco diferentes meios filtrantes para retenção de microesferas de poliestireno, que simulam oocistos do protozoário *Cryptosporidium* spp. De maneira geral, o trabalho foi desenvolvido em 3 etapas: a 1ª Etapa, para o preparo da água e seleção da dosagem de estudo, a 2ª Etapa, para a elaboração de ensaios preliminares e adaptações para o sistema real, e a 3ª Etapa, para a condução dos ensaios em sistema real (Figura 1).

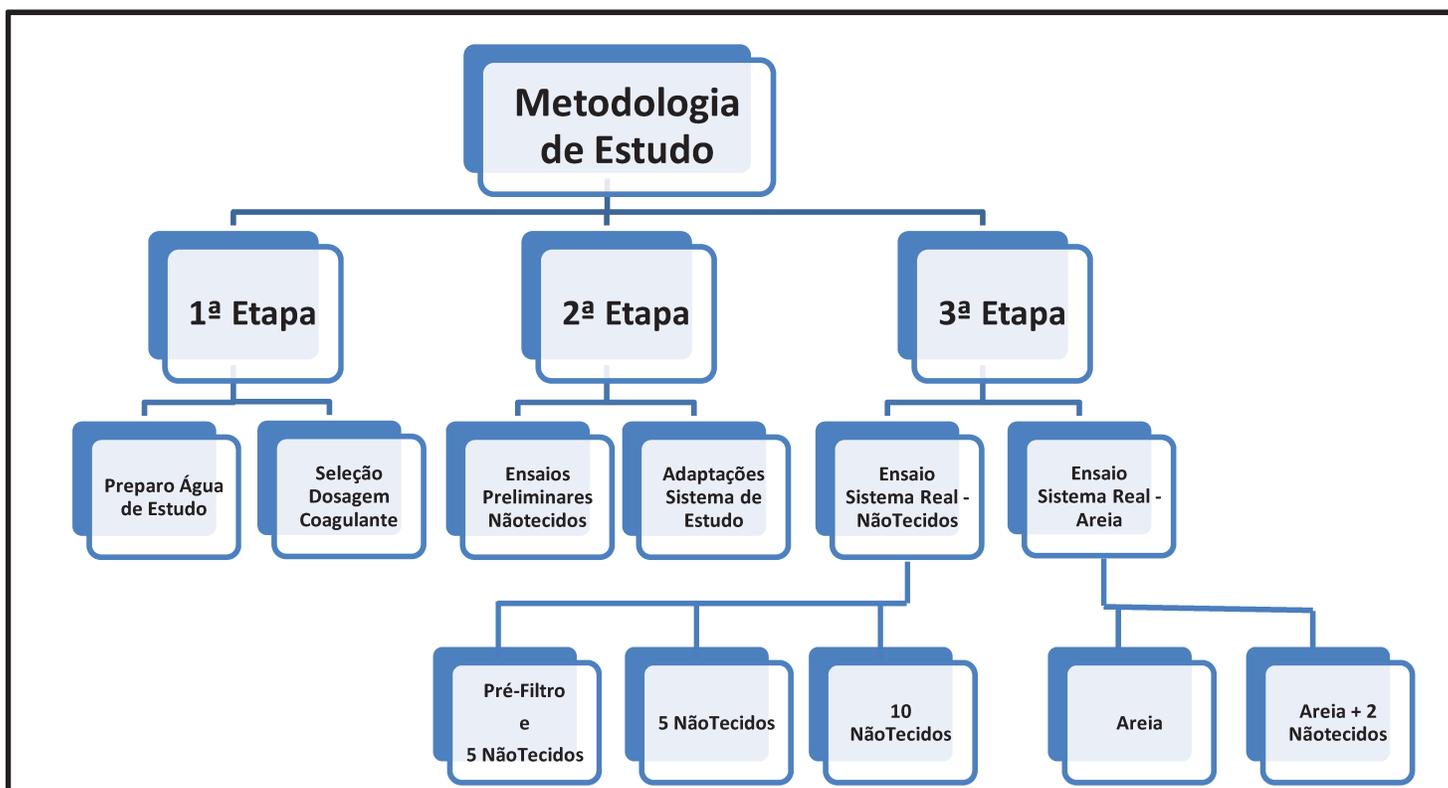


Figura 1: Fluxograma das etapas metodológicas da pesquisa.

Todo o experimento foi conduzido em escala de bancada, utilizando, para coagulação e floculação, reatores estáticos conhecidos como Jar Test, e materiais de baixo custo ou fácil obtenção para a construção dos filtros lentos.

O Jar Test compreende um conjunto de seis jarros, e no caso desse estudo, após a etapa de coagulação/floculação, as amostras desses jarros foram distribuídas nos filtros. O volume de 3 jarros foram encaminhados para um filtro lento, e o volume dos outros 3 jarros foram encaminhados para o outro filtro, de modo que o sistema geral funcionasse com 2 filtros lentos a cada ensaio. Assim, mesmo havendo 5 meios filtrantes, o sistema operou com dois filtros a cada ensaio.

É possível visualizar na figura 2, um esquema de como foi utilizado o Jar Test em conjunto com os sistemas de filtração. A princípio, o Jar Test foi posicionado para abastecer os filtros de nãotecidos. Após a realização de todas as repetições, os filtros de nãotecidos foram substituídos por filtros de areia.

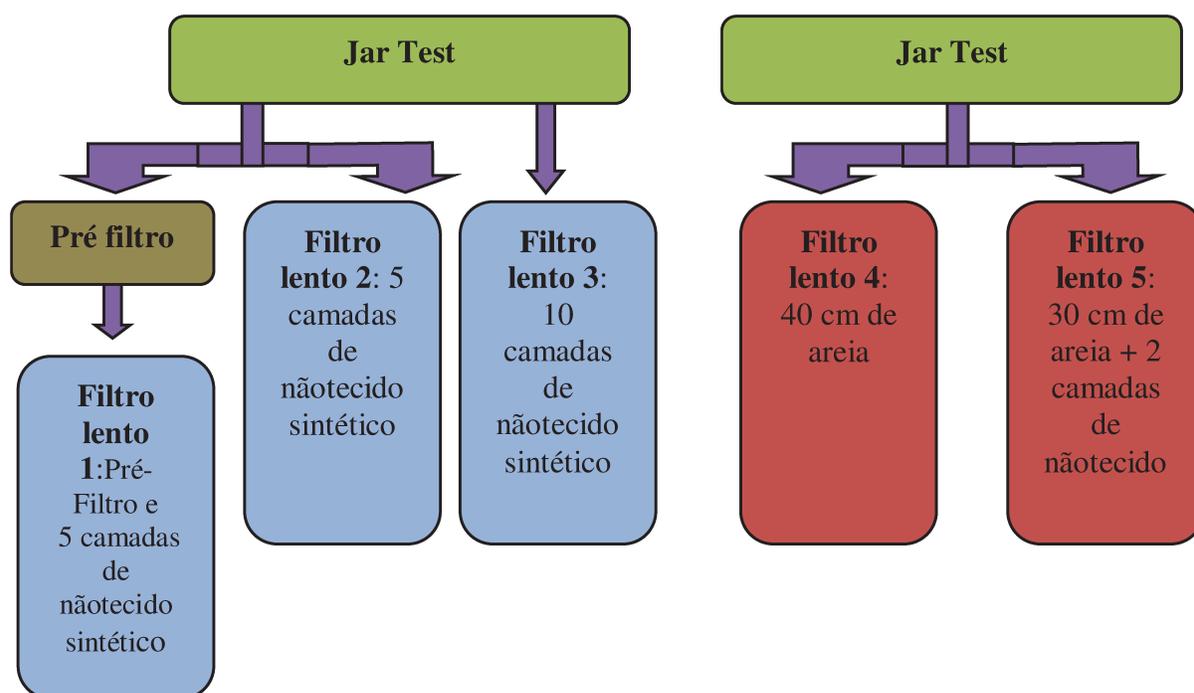


Figura 2: Esquema utilização Jar Test para tratamentos com filtros lentos.

Para a realização dos ensaios experimentais representados na figura 2, foram necessários efetuar a 1ª e a 2ª etapa, descritas anteriormente, para possibilitar a seleção de

variáveis que são de grande importância e que representam influência no tratamento com microesferas de poliestireno, como a definição da turbidez para o preparo da água de estudo, a seleção da dosagem adequada de coagulante e a definição dos gradientes de velocidade do equipamento Jar Test, para por fim realizar os ensaios preliminares.

5.1 Preparo da água de estudo e seleção da dosagem do coagulante (1ª Etapa)

5.1.1 Água de Estudo

No tratamento proposto, foi preparada em laboratório água sintética pela adição de bentonita (Figura 3), objetivando estabelecer faixa de turbidez de 17 a 20,0 NTU. Esses valores são considerados máximos, para que não haja dificuldades de visualização das microesferas e, mínimos para que se obtenha a formação adequada de flocos durante a etapa de floculação.



Figura 3: Bentonita utilizada no preparo da água para tratamento.

Arantes (2010) propôs o preparo da água concentrando o líquido nos jarros do Jar Test, com sequencial adição de bentonita e homogeneização durante 30 minutos. Entretanto, algumas alterações foram realizadas, como o preparo em um único recipiente. Neste estudo, que necessitou de água com baixa turbidez, 16 Litros de água destilada e deionizada foram colocados em um recipiente, seguida da adição de 0,9350 g de bentonita, sofrendo posterior homogeneização em agitador magnético durante 30 minutos. Após esse intervalo de tempo, a

água foi mantida em repouso por um período de 24 horas à 20°C. Essa adaptação não influenciou no valor da turbidez final desejada, e ainda contribuiu para a otimização do processo, que pôde ser conduzido de modo mais prático e rápido.

Ao final desse intervalo, o volume sobrenadante foi transferido cuidadosamente para outro recipiente. Essa transferência ocorreu até uma marca delimitada de 7 cm acima do fundo, preocupando-se para não ocorrer a suspensão do excesso de bentonita sedimentada no recipiente. Esse sobrenadante transferido para o recipiente, denominado água de estudo, estava pronta para seu posterior uso nos ensaios. A cada novo ensaio o mesmo procedimento foi realizado para o preparo da água de estudo.

Para a condução dos ensaios no sistema de tratamento, essa água de estudo foi distribuída nos jarros do equipamento Jar Test, com um volume de 2 Litros cada, aguardando o posterior tratamento.

Logo após o preparo da água de estudo, uma alíquota de aproximadamente 100 mL dessa água foi separada para a realização da caracterização dos parâmetros físico-químicos de interesse nesse estudo (Tabela 1).

Tabela 1: Parâmetros físico-químicos da água de tratamento.

Parâmetros	Valores	
	Mínimo	Máximo
Turbidez (NTU)	17	20,0
Cor Aparente (mg.L ⁻¹ de PtCo)	85	110,0
Condutividade Elétrica (µS.cm ⁻¹)	4,0	7,0
pH	6,0	7,5

5.1.2 Preparo da suspensão coagulante

O coagulante empregado neste estudo foi o extrato de sementes da árvore *Moringa oleifera*. Esta árvore possui vagens em seção triangular, e em seu interior encontram-se as sementes (Figura 4).

As sementes foram colhidas no campo experimental da Faculdade de Engenharia Agrícola, realizando os mesmos procedimentos conduzidos por Ramos (2005) e Arantes *et al.*

(2012), que efetuaram a colheita em períodos de estiagem, para evitar umidade proveniente da chuva, ou deterioração da semente por proliferação de micro-organismos, que interferem diretamente na qualidade das mesmas. Foram selecionadas vagens totalmente secas, aderidas e preservadas na árvore. Retiradas as sementes das vagens, essas foram colocadas em estufa à 65°C por 24 horas para secagem, chegando ao final com umidade em torno de 5%. Após esse procedimento, as sementes ainda com a casca foram separadas, armazenadas em lotes e refrigeradas à 20°C.

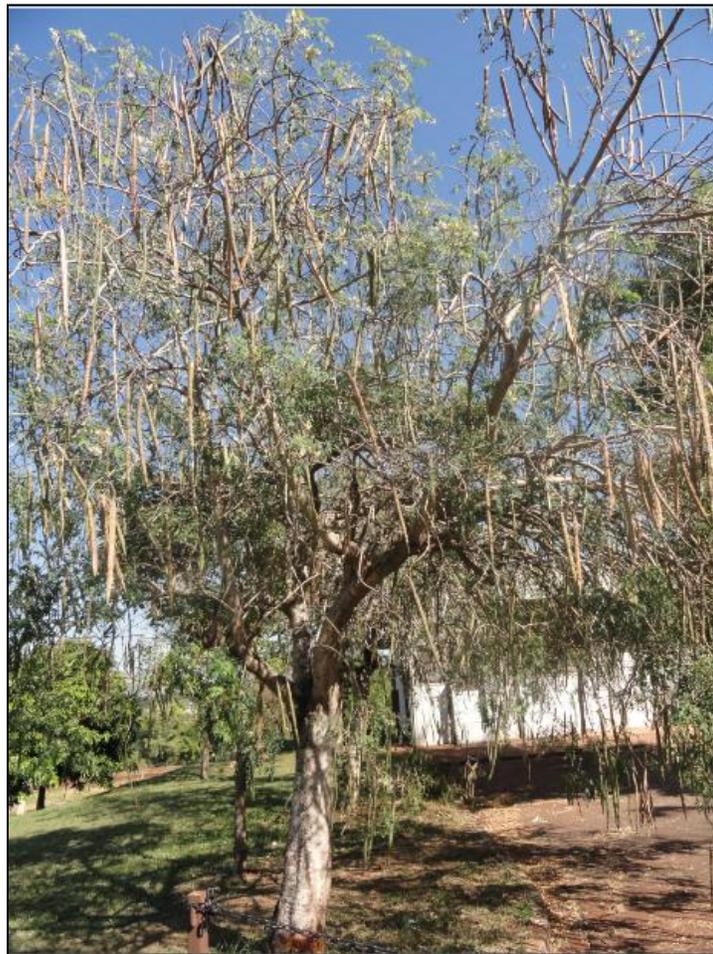


Figura 4: Árvore de *Moringa oleifera* da Faculdade de Engenharia Agrícola.

O extrato de sementes de *Moringa oleifera* foi preparado a partir de sementes pré-selecionadas. Por isso, foram utilizadas apenas as sementes que possuíam massa variando entre 0,200 a 0,300 gramas, seguindo recomendações de trabalhos de Ramos (2005), uma vez

que a qualidade da semente é influenciada pela sua massa.

Essas sementes foram processadas em um moedor manual com objetivo de transformá-las em pó. Em seguida, o conteúdo foi transferido para uma peneira com abertura de 0,84 mm, com objetivo de reter grãos mais grosseiros. O pó gerado desse processo foi medido em balança analítica com precisão de 0,0001 g. Os procedimentos para obtenção do pó da semente de *Moringa oleifera* encontram-se na figura 5.



Figura 5: Roteiro da obtenção do pó da semente de *Moringa oleifera*.

O preparo da suspensão coagulante de *Moringa oleifera* foi realizado de acordo com procedimentos conduzidos por Ramos (2005) e adaptados por Arantes (2010), cuja concentração peso/volume foi a 2%, ou seja, 2 gramas do pó para 100 mL de água deionizada. O extrato foi submetido à agitação magnética com homogeneização durante 3 minutos, e em seguida, o líquido foi passado por peneira com abertura de malha de 0,125 mm, para que todo o excesso de partícula sólida ficasse retido, e desta forma apenas o extrato líquido fosse

utilizado (Figura 6).



Figura 6: Extrato líquido do coagulante de semente de *Moringa oleifera*.

Logo após o preparo do extrato coagulante, iniciou-se rapidamente a aplicação do coagulante na dosagem estabelecida, visto que algumas partículas menores presentes na suspensão tendem a decantar com o tempo, fazendo com que se perca a ação coagulante durante o tratamento.

Algumas amostras do extrato coagulante foram separadas após seu preparo para a realização do teste de proteína total. Esse teste foi necessário, pois ao longo do tempo, o lote das sementes utilizadas poderia sofrer degradação de proteínas, mesmo ocorrendo o armazenamento adequado dessas sementes. O ensaio de proteína total foi realizado de acordo com o método de Lowry (1951), e adaptado por Madrona (2009). A leitura foi realizada em absorvância pelo espectrofotômetro. A conversão dos valores de absorvância foram realizados por meio de uma equação que convertia em concentração de mg.L^{-1} . Notando-se a diminuição do valor de proteína, o lote era substituído por outro mais recente.

5.1.3 Seleção da dosagem do extrato de sementes de *Moringa oleifera*

A coagulação e floculação utilizando extrato de sementes de *Moringa oleifera* foram realizadas em Jar Test, a fim de determinar a melhor dosagem de aplicação do coagulante, em

relação à massa do pó das sementes para o preparo de solução, condições de gradiente de velocidade e tempos de agitações.

Após a adição da água de estudo para avaliar o tratamento nos jarros, foram adicionadas três diferentes dosagens de coagulante com duas réplicas cada. O coagulante natural foi preparado a 2 % (peso/volume) e lançado nos jarros de acordo com a dosagem que seria selecionada.

Para obter uma dosagem adequada, pariu-se da seleção de 3 diferentes dosagens, consideradas baixa, média e alta. Essas dosagens foram representadas, respectivamente, pelas concentrações de 125, 225 e 425 mg.L⁻¹. Para a agitação nos jarros, adotaram-se gradientes de velocidade com mistura rápida de 400 s⁻¹ por 15 segundos e mistura lenta de 40 s⁻¹ por 30 minutos.

Ao final da etapa coagulação/floculação, ocorreu a sedimentação por um período de 60 minutos. Durante esse intervalo, foram realizadas coletas de amostras a cada 15 minutos para todos os tratamentos, obtendo em cada intervalo de tempo as coletas em 0, 15, 45 e 60 minutos.

Como nas leituras de turbidez não foi possível avaliar eficiência no tratamento, a sedimentação da amostra nos jarros foi prorrogada por mais 60 minutos, totalizando ao final 120 minutos. Com exceção do intervalo de sedimentação alterado, todas as condições experimentais mantiveram-se como nos ensaios anteriores.

A formação do floco e a decantação ocorreram apenas para a dosagem de 125 mg.L⁻¹, e por isso, as dosagens superiores foram descartadas. A partir dessa dosagem foram definidas outras dosagens com valores próximos a 125 mg.L⁻¹.

As próximas dosagens selecionadas foram 100, 125 e 150 mg.L⁻¹, com os mesmos gradientes de mistura e tempo de sedimentação anterior. A partir desses valores, outros intervalos foram criados em função das eficiências das dosagens selecionadas. Esse procedimento foi efetuado até atingir uma dosagem considerada “ótima”, a ser aplicada nas condições estabelecidas nesse estudo. O esquema da figura 7 mostra a seleção da dosagem ótima de acordo com o desempenho da formação do floco ao longo do intervalo de tempo de sedimentação.

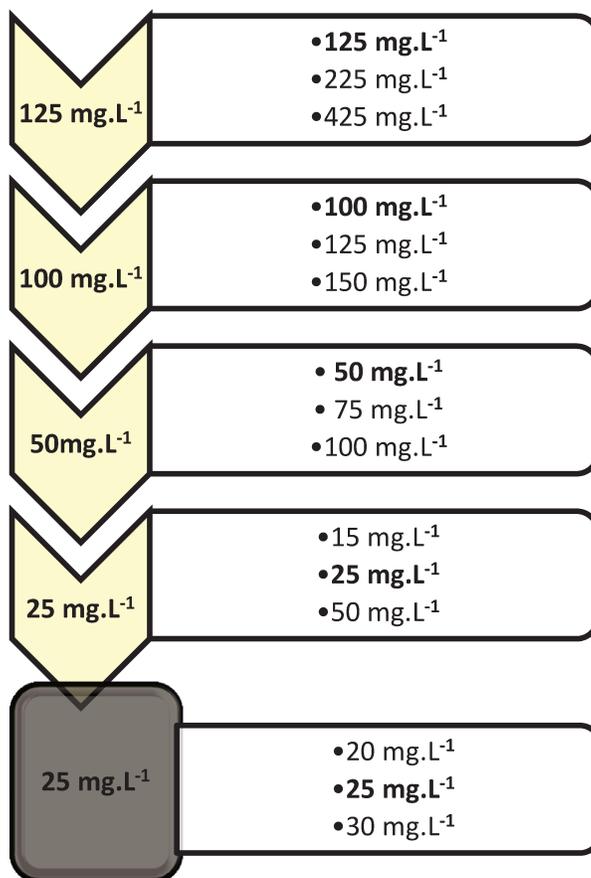


Figura 7: Dosagem de solução coagulante selecionada.

A concentração de 25 mg.L⁻¹ foi considerada a dosagem “ótima” para ser aplicada na água de estudo, por obter formação de flocos que levaram a água atingir baixos índices de turbidez. Mesmo, nesse caso, não sendo inoculadas microesferas na seleção da dosagem, a turbidez é considerada um parâmetro indireto para verificar a eficiência do tratamento.

5.2 Ensaios preliminares em filtros de nãotecidos e adaptações do sistema (2ª Etapa)

5.2.1 Ensaios preliminares com filtração em nãotecidos sintéticos

A água de estudo foi utilizada para observar a redução de turbidez durante o processo de floculação/coagulação com semente de *Moringa oleifera* seguida da sedimentação para a seleção da dosagem aplicada no sistema de tratamento. Depois dessa etapa, foi preciso verificar a redução de turbidez dessa água testando a coagulação/floculação seguida da

filtração. Para isso, foram selecionadas 5 camadas de nãotecidos sintético, pois havendo redução da turbidez nesse ensaio preliminar, possivelmente na aplicação do sistema real ocorreria o mesmo comportamento.

A água com bentonita preparada para o tratamento foi transferida para o conjunto jarros do equipamento Jar Test. Ao final do preparo da solução coagulante a base de sementes de *Moringa oleifera* foi dosada e em seguida iniciado o ensaio. Os gradientes de velocidade de mistura rápida e mistura lenta foram, respectivamente, 400 s^{-1} por 15 segundos, e 40 s^{-1} por um período de 30 minutos.

Passado o intervalo de mistura lenta, o equipamento jar Test foi desligado por alguns instantes para elevar a altura dos jarros com um apoio, permitindo que as paletas giratórias ficassem próximas do fundo. Essa adaptação evitou a sedimentação dos flocos ao longo da filtração. O equipamento foi novamente ligado efetuando a homogeneização da amostra com gradiente mínimo de mistura de 15 s^{-1} , para que os flocos permanecessem em suspensão durante a filtração (Figura 8).



Figura 8: Ilustração do sistema preliminar para tratamento de água.

O filtro, como mostrado na figura 7, foi colocado próximo à saída dos jarros do Jar Test. Nessas saídas conectaram-se mangueiras de silicone e mini-registros de plástico, que foram direcionadas para uma única saída, e em seguida encaminhadas para a entrada do filtro lento.

No sistema de filtração utilizaram-se apenas meio filtrante constituído por camadas de nãotecidos sintéticos, sendo colocadas 5 camadas em um filtro circular constituído por garrafa PET (Poli - Tereftalato de Etileno), apresentando diâmetro de 100 mm (Figura 9). Os nãotecidos sintéticos foram embebidos com água deionizada antes de posicioná-los no filtro, para melhorar o fluxo de água durante a filtração.



Figura 9: Imagem superior da 1ª camada de nãotecido do filtro de garrafa PET recebendo o líquido floculado.

A vazão foi regulada e monitorada a cada 15 minutos para que o sistema operasse em taxa de $4 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$ ao longo do ensaio . O tempo total de filtração passou a ser controlado no momento que surgiram as primeiras amostras filtradas. As amostras foram coletadas a cada 15 minutos, durante o período de 240 minutos (4 horas), somando um total de 18 amostras coletadas.

O parâmetro de controle para verificar a eficiência do tratamento foi a leitura dos valores de turbidez pelo método Nefelométrico em unidades de turbidez (NTU) (APHA, 2005).

Para verificar a influência da coagulação no desempenho dos filtros em nãotecidos

sintéticos foi realizado um ensaio controle. Neste ensaio foram aplicadas as mesmas condições que os ensaios preliminares, com exceção da aplicação do coagulante.

5.2.2 Adaptações do sistema de tratamento

Os ensaios preliminares foram conclusivos para estabelecer a construção do sistema de tratamento de água, já que diversas adaptações foram realizadas em função desses ensaios, para que ao final ocorresse o adequado funcionamento do experimento. Todos os materiais empregados para a construção do sistema de filtração foram adquiridos de materiais reutilizáveis e peças comerciais de instalações hidráulicas prediais.

O equipamento Jar Test utilizado neste estudo foi da marca Policontrol - modelo III (Figura 10), o qual apresenta a vantagem de programar a rotação, e com isso pode-se determinar os gradientes de misturas rápida e lenta, automaticamente. Entretanto, em virtude da sequencial filtração após os intervalos de mistura, foi preciso alterar o equipamento de modo que a água floculada fosse transferida para os filtros lentos, de modo que não ocorresse a sedimentação dos flocos no fundo dos jarros.

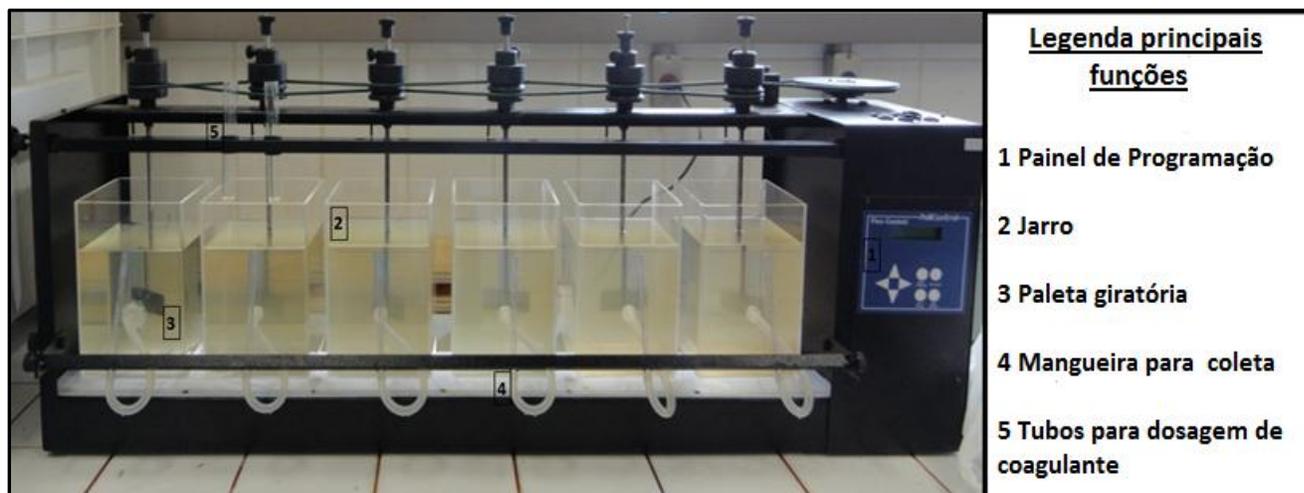


Figura 10: Foto equipamento Jar Test Policontrol e suas principais funções.

Entre os principais problemas observados nos ensaios preliminares, que levaram às adaptações no sistema foi a posição dos jarros durante a filtração, pois mesmo havendo homogeneização em rotação baixa, poderia ocorrer a decantação dos flocos. Deste modo, foi

necessário elevar todos os jarros por meio de um suporte fixo, para que a base ficasse alinhada ao equipamento.

Como o orifício de saída de água localizava-se na parte central dos jarros, nesse caso, nem toda a água seria conduzida para os filtros lentos. Por isso, foi preciso vedar essa saída existente e construir outra na parte inferior dos jarros. A nova saída foi construída com aproximadamente 0,9 cm de distância do fundo. Assim, garantiu-se que um maior volume de água fosse transferido para os filtros. A figura 11 apresenta todas as adaptações realizadas nos jarros, tanto a elevação quanto o orifício de saída da amostra, localizada na base do jarro.

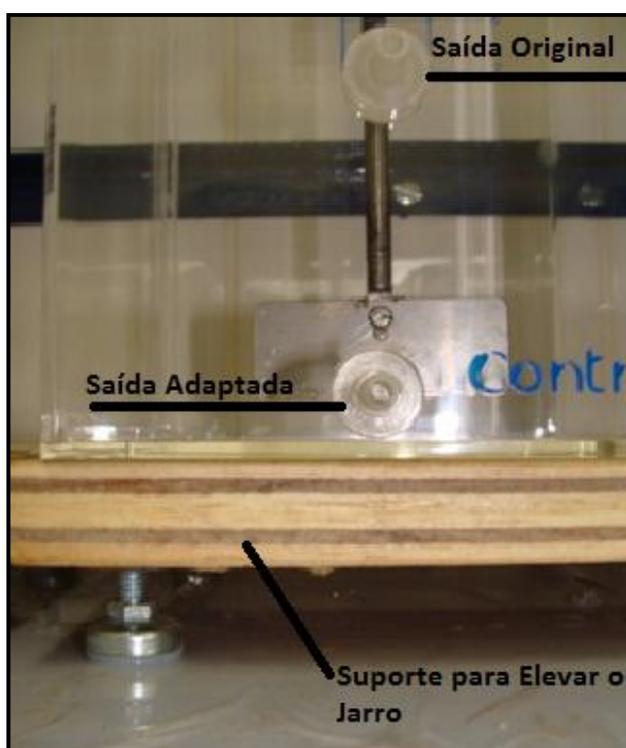


Figura 11: Suporte de elevação dos jarros para evitar sedimentação e adaptação do orifício de saída de amostra.

A alteração do orifício permitiu o aproveitamento de um maior volume disponível para a etapa de filtração, restando apenas para cada jarros um volume morto de aproximadamente 132 mL e um volume aproveitável que passou pelo sistema de filtração de 5,6 Litros.

As saídas dos jarros foram interligadas por tubos flexíveis para ter apenas uma única saída, por meio de uma válvula (Figura 12), e desta foram direcionados para um dos filtros lento. Os outros 3 jarros restantes, também interligados, foram direcionados para abastecer o

outro filtro lento.



Figura 12: Adaptação com válvula de saída única para cada 3 jarros em um filtro.

Mesmo havendo todas as adaptações no equipamento Jar Test, o aparelho manteve-se, durante as etapas de coagulação e floculação, com as mesmas características dimensionadas pelo fabricante. Isso ocorreu porque as paletas giratórias foram mantidas na mesma altura do equipamento da versão original, e com isso os gradientes de mistura permaneceram os mesmos.

Após intervalo de mistura dos gradientes (rápida e lenta), o equipamento Jar test foi desligado por alguns instantes para que as paletas de misturas fossem deslocadas para o fundo dos jarros. Ao religar o equipamento, este perdeu as características de Jar Test e passou a funcionar como um homogeneizador, evitando a sedimentação dos flocos.

5.3 Ensaio Sistema Real (3ª Etapa)

5.3.1 Construção Filtros Lentos

5.3.1.1 Filtro Lento de nãotecidos sintéticos

Três filtros lentos constituídos de garrafa PET contendo meio filtrante de nãotecidos sintéticos receberam a água pós-coagulação/floculação em Jar Test. No primeiro filtro, a água passava por um pré-filtro de pedregulho e em seguida para o filtro lento constituído por 5

camadas de não tecido sintético. No segundo filtro foram colocadas 5 camadas de não tecido sintético, sem passagem por pré-filtro. Para o terceiro filtro foram utilizadas 10 camadas de não tecido sintético.

A tabela 2 apresenta especificações do não tecido sintético utilizado nesta pesquisa, caracterizando o tipo de não tecido, sendo o fabricante, a indústria Ober. A figura 13 apresenta a imagem de uma camada recortada para o diâmetro de 100 mm, o mesmo diâmetro empregado nos filtros.

Tabela 2: Especificações do não tecido sintético.

Fabricante	Ober S/A Industria e Comércio
Material	100% Poliéster
Processo de confecção	Agulhado
Gramatura	500 g/m ²
Cor	Cinza
Massa Específica média	0,196 g/cm ³
Espessura	4 mm



Figura 13: Foto não tecido sintético.

Na figura 14 também é possível observar uma imagem de microscopia eletrônica de varredura (MEV) dos não tecidos sintéticos. Além disso, observa-se também nesta figura,a

medida indireta do diâmetro dos fios em μm , embora não seja recomendado considerar o diâmetro do fio dessa forma, já que se trata de um modo não muito preciso para determinar o diâmetro real dos fios.

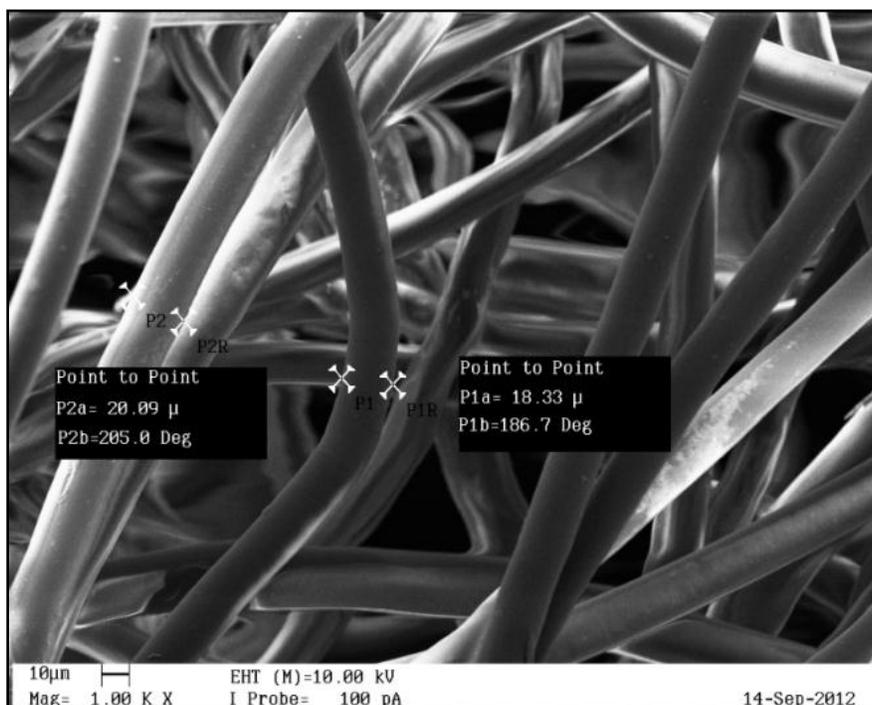


Figura 14: Imagem de Microscopia eletrônica de varredura dos fios da não tecidos sintéticos.

Os não tecidos sintéticos são amplamente empregados no topo da camada filtrante de areia em sistemas de filtração. Neste estudo, esses não tecidos foram aplicados como único meio filtrante, sendo disposto em camadas sobre o filtro lento.

Os filtros lentos com meio suporte de não tecidos sintéticos possuíam a base constituída por garrafas descartáveis, cujo modelo foi adaptado de estudos realizados por Arantes (2010), tendo em vista que é um material de fácil obtenção e sem custos adicionais para a finalidade a que se destina. Para ser convertida a filtro, esta garrafa foi recortada na base e sua posição invertida. Com o objetivo de suportar as camadas de mantas, uma grelha de PVC de 100 mm foi colada por dentro da garrafa. A figura 15 apresenta uma imagem do filtro lento de não tecidos sintéticos montado.

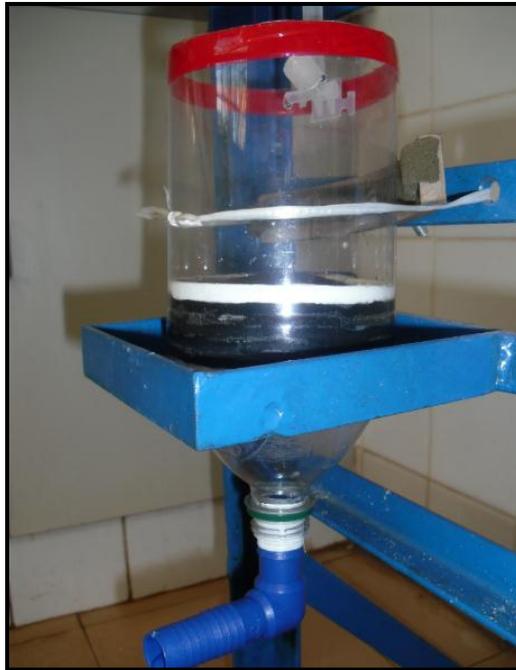


Figura 15: Foto filtro lento de garrafa PET e meio filtrante não tecidos sintético.

O pré-filtro que antecedeu um dos filtros lentos foi adquirido comercialmente e constituído de PVC, apresentando diâmetro interno de 100 mm (Figura 16). A filtração ocorreu em fluxo ascendente, com descargas de fundo e lavagem a cada execução do ensaio.



Figura 16: Unidade de Pré-Filtração constituído por camadas de pedregulho.

Nesta pesquisa as camadas de pedregulho foram dispostas a cada 10 cm de espessura para cada faixa granulométrica selecionada (Tabela 3). A taxa aplicada no pré-filtro foi de $12 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{dia})$, sendo este valor considerado mínimo sugerido por Di Bernardo *et al.* (1999).

Tabela 3: Faixas granulométricas do meio filtrante utilizado no pré-filtro de pedregulho

Camada	Faixa Granulométrica	Espessura
Superior	1,68 a 2,40 mm	10 cm
Intermediária	3,36 a 6,35 mm	10 cm
Inferior	9,52 a 12,7 mm	10 cm

5.3.1.2 Filtros Lentos de areia

Quando finalizados os ensaios com filtros lentos de não tecidos sintéticos, outros dois filtros lentos com meio filtrante de areia foram utilizados. Um dos filtros foi operado com meio filtrante com camada de espessura de 40 cm de areia, e o outro com 30 cm de areia e 2 camadas de não tecidos sintéticos na superfície do meio filtrante. Esses filtros de areia foram constituídos de material PVC, com diâmetro de 100 mm.

A areia utilizada foi a grossa de construção civil, sendo esta amplamente empregada na filtração lenta. Antes de realizar as lavagens, a areia foi passada por peneira de 1,0 mm para retirada de grãos mais grosseiros e 0,075 mm para retirada de grãos muito finos. Em seguida foi devidamente lavada por retro-lavagem com objetivo de retirar impurezas presentes, que geralmente interferem na turbidez e qualidade da água filtrada.

Após secagem em estufa à $105 \text{ }^\circ\text{C}$ por 24 horas, uma amostra da areia com 1000g foi separada para a realização do ensaio de granulometria, a fim de verificar se esta areia atendia as especificações exigidas para filtração lenta. A tabela 4 apresenta o resultado obtido do ensaio de granulometria para areia e as faixas de características recomendadas por Di Bernardo (1993).

Tabela 4: Valores obtidos em ensaio de granulometria para areia grossa na filtração lenta.

<u>Característica</u>	<u>Ensaio</u>	<u>Restrições</u>
	<u>Granulometria</u>	<u>estabelecidas</u>
Diâmetro Efetivo (D_{10})	0,13	$0,15 < D_{10} < 0,30$
Coefficiente de Desuniformidade (Cu)	3,55	$2 < Cu < 5$
$Cu = D_{60}/D_{10}$		
Tamanho efetivo dos grãos	0,08-1,00	$0,08 < T.g. < 1,00$

Todos os valores enquadraram-se dentro das restrições estabelecidas, com exceção ao diâmetro efetivo (D_{10}), que apresentou um valor pouco abaixo do intervalo restrito. Isso pode ser justificado pela quantidade de grãos finos que excederam em relação aos grãos mais grossos. Entretanto, esses valores foram mantidos, pois como o estudo visou o tratamento com microesferas, esses grãos finos não seriam um interferente no processo de tratamento.

A figura 17 mostra a curva granulométrica da areia. Aplicando uma equação polinomial de 4º grau, gerada pelo Excel (Microsoft Office) foi possível obter um fator R de 0,9996.

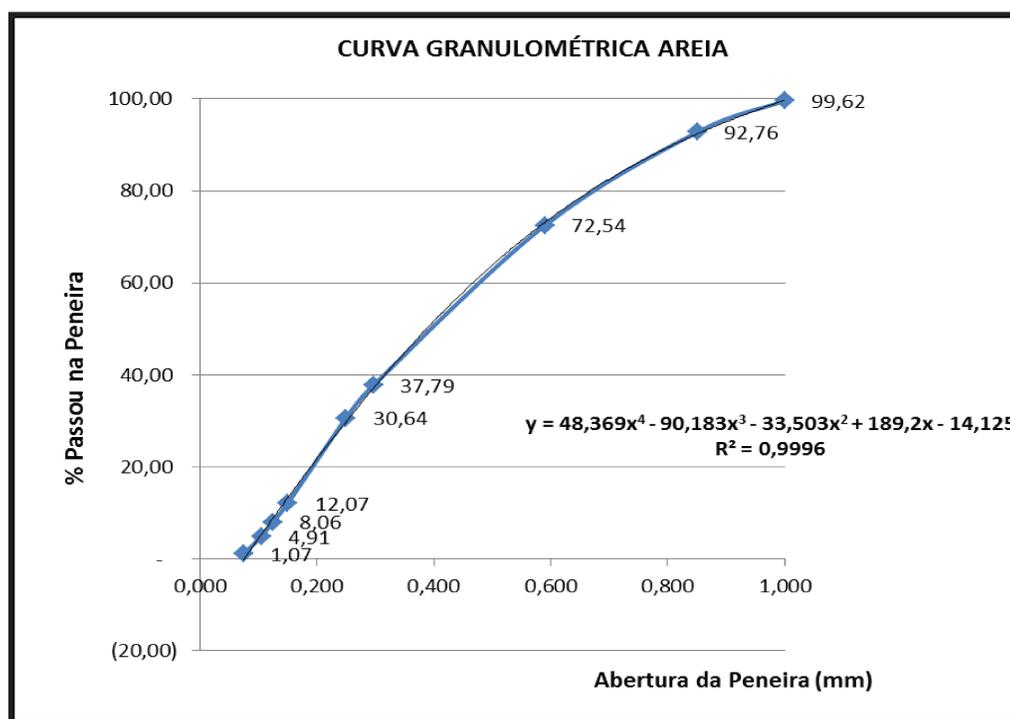


Figura 17: Curva granulométrica do ensaio de granulometria da areia dos filtros lentos.

5.3.2 Dimensionamento do sistema de tratamento

A taxa de filtração mínima sugerida por Di Bernardo *et al.* (1999) para filtros lentos em areia foi de $3 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{dia})$. Neste trabalho foi adotada taxa de filtração de $4 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{dia})$. Esse valor foi selecionado por estar dentro das recomendações para filtros lentos, e tratando-se de filtros com meio filtrante constituído apenas por nãotecidos sintéticos, preocupou-se em manter taxas menores, uma vez que não existiam dados disponíveis para filtros de nãotecidos. A partir da taxa de filtração adotada foi possível obter a vazão selecionada para cada filtro:

$$Q_F = (T)x(A) = 4 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 \cdot \text{dia}} \times 0,00785 \text{m}^2 = 0,0314 \frac{\text{m}^3}{\text{dia}} = 1,31 \frac{\text{L}}{\text{h}} = 21,81 \frac{\text{mL}}{\text{min}}$$

(Equação 1)

Onde:

- Q_F = Vazão do sistema de filtração ($\text{mL} \cdot \text{min}^{-1}$)
- T = Taxa de filtração ($\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$)
- A = Área do filtro (m^2)

O valor da vazão foi ajustado periodicamente ao longo da carreira de filtração. Considerando um volume de água disponível para filtração, foi possível através da equação 2, calcular o intervalo da carreira dos filtros com 5 camadas de nãotecidos, 10 camadas de nãotecidos, areia e areia+2 nãotecidos.

$$T_F = \frac{V_{FL}}{Q_F} = \frac{5,604 \text{L}}{1,31 \frac{\text{L}}{\text{h}}} = 4,28 \text{ horas}$$

(Equação 2)

Onde:

- T_F = Tempo de filtração (horas)
- V_{FL} = Volume filtro lento (L)
- Q_F = Vazão do sistema de filtração ($\text{mL} \cdot \text{min}^{-1}$)

O filtro lento com 5 camadas de nãotecidos e acompanhado pelo pré-filtro apresentou

duração da carreira de filtração menor que os outros filtros. Parte do volume que abastecia esse filtro também abastecia o pré-filtro, e por isso ocorria perda desse volume ao longo da filtração lenta. Considerando a perda do volume líquido com o abastecimento do pré-filtro, esse filtro lento foi operado com um volume menor em relação aos outros, e por isso, seu intervalo de filtração foi menor (Equação 3).

$$T_{Fpf} = \frac{V_{Fpf}}{Q_{Fpf}} = \frac{4,3 - L}{1,31 \frac{L}{h}} = 3,28 \text{ horas}$$

(Equação 3)

Onde:

- T_{Fpf} = Tempo de filtração – Pré-filtro (horas)
- V_{Fpf} = Volume pré-filtro (L)
- Q_{Fpf} = Vazão do sistema de filtração ($\text{mL} \cdot \text{min}^{-1}$)

5.3.3 Inoculação de Microesferas de Poliestireno

Segundo especificações do fabricante (Polyscience, Inc.), as microesferas possuem tamanho de $3 \mu\text{m}$, com 2,5 % em suspensão aquosa ($1,69 \times 10^9$ partículas/mL). A figura 18 mostra imagens de microscopia eletrônica de varredura das microesferas de poliestireno.

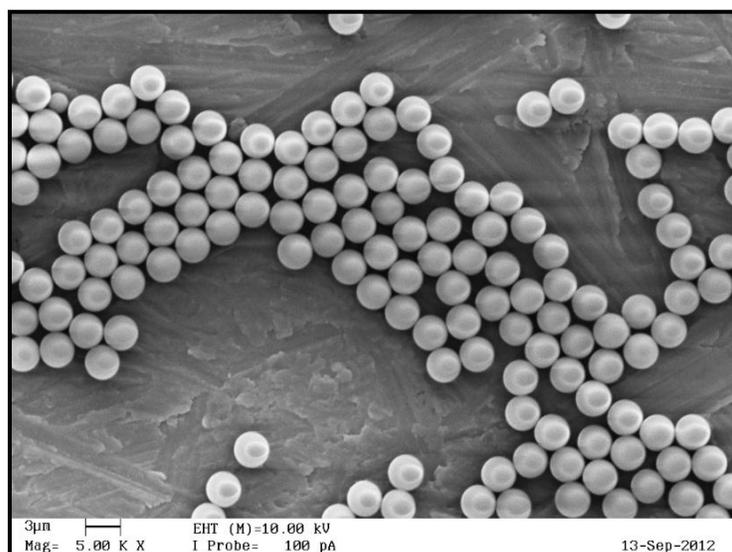


Figura 18: Imagem microesferas de poliestireno em microscopia eletrônica de varredura.

Após intensa agitação do frasco original das microesferas em vortex, uma alíquota de 10 μL foi retirada e transferida para um tubo de eppendorf contendo 990 mL de água destilada e deionizada, somando ao final um volume de 1000 μL (1,0 mL).

Antes de aplicar as microesferas no sistema de tratamento foi realizada a contagem em hemocitômetro (Câmara de Neubauer) para quantificação aproximada de microesferas a ser inoculada no sistema de tratamento. Este hemocitômetro consiste de uma lâmina diferenciada, por obter demarcações em áreas definidas. A figura 19 (A e B) mostra as imagens do tubo de eppendorf contendo solução de microesferas diluídas em água e do hemocitômetro destacando as áreas de contagem.

A.



B.



Figura 19: A. Tubo de Eppendorf com microesferas diluídas. B. Hemocitômetro

O hemocitômetro possui 3 diferentes campos de contagem, e neste estudo a contagem foi realizada no quadrante central, em que há 25 quadrantes menores com 16 subdivisões cada, tanto na parte superior como na parte inferior da lâmina. Desses 25 quadrantes menores, foram selecionados 5 campos de contagem em cada extremidade e um campo central (Figura 20).

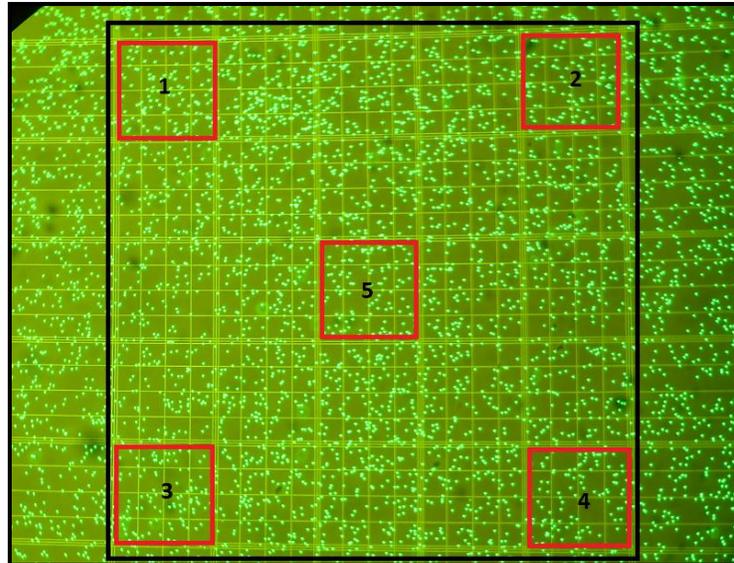


Figura 20: Contagem em câmara em hemocitômetro nos campos 1, 2, 3 e 4 e 5 para posterior extrapolação.

A contagem de microsferas foi realizada em microscópio de Epi-fluorescência (Motic, Mod. BA410), com um aumento de 100 vezes, por meio da combinação do campo claro, para visualizar as linhas do hemocitômetro, e do campo de fluorescência para visualização das microsferas de poliestireno.

Após a contagem dos 5 campos selecionados, obteve-se a média de 67,8 microsferas. Como se tratava de 25 quadrantes, essa média foi multiplicada por 25, e por 10.000, sendo esse ultimo o número representado pela área correspondente do hemocitômetro. A conversão final para o número de microsferas por mililitros em hemocitômetro foi obtida a partir da equação 4:

$$\text{N}^{\circ} \text{ de microsferas/ mL} = \text{média 5 quadrantes selecionados} \times 25 \times 10.000 \quad (\text{Equação 4})$$

$$\text{N}^{\circ} \text{ de microsferas/mL} = 67,8 \times 25 \times 10000 = 16.950.000$$

Este valor total de microsferas/mL foi de aproximadamente $1,7 \times 10^7$. Para saber a quantidade inoculada no sistema a partir da contagem de um volume conhecido em hemocitômetro, foi possível efetuar uma relação do volume contido no eppendorf por microsferas. Como 1 mL equivale a 1000 μL , foi possível efetuar essa relação da seguinte

maneira:

$$\frac{1000 \mu\text{L}}{10 \mu\text{L}} = \frac{1,7 \times 10^7}{x}$$

Em 10 μL existem 170.000 ou $1,7 \times 10^5$ microesferas. Em cada sistema composto por 3 jarros seguido de 1 filtro lento, condicionou-se ter no sistema cerca de 2×10^6 microesferas. Para isso então, em cada jarro foi retirado do eppendorf 40 μL . Essa relação pode ser visualizada abaixo:

$$\frac{10 \mu\text{L}}{40 \mu\text{L}} = \frac{170000}{x}$$

A partir dessa relação, foi observado que em 40 μL havia cerca de 680.000 microesferas, e como se tratavam de 3 jarros, foi possível multiplicar esse valor e obter o valor desejado de 2×10^6 no sistema para abastecer um filtro lento. Para o outro filtro o procedimento foi realizado da mesma maneira. Foi possível também, a partir do volume conhecido de água no jarro (2 L) obter a relação de microesferas. L^{-1} . Como em cada jarro foi inoculado cerca de $6,8 \times 10^5$ microesferas, a partir do volume de 40 μL do tubo de eppendorf, então no sistema haviam $3,4 \times 10^5$ microesferas. L^{-1} .

5.3.4 Coagulação/floculação com extrato coagulante de *Moringa oleifera*

Uma vez realizado o preparo do extrato coagulante de *Moringa oleifera*, e a inoculação de microesferas no sistema, a etapa de coagulação e floculação foi realizada, seguida posteriormente da filtração lenta. O teste foi iniciado no momento que o coagulante líquido foi lançado sobre os jarros.

Em testes preliminares foram definidos gradientes de mistura rápida à 400 s^{-1} por 30 segundos para que houvesse o processo de coagulação, e mistura lenta de 40 s^{-1} por 30 minutos para a aglutinação das partículas e formação dos flocos.

Após as etapas de mistura, o Jar Test foi modificado passando a funcionar como um homogeneizador. O equipamento foi desligado para deslocamento das paletas no fundo dos

jarros e novamente ligado para a homogeneização com gradiente de mistura de aproximadamente 20 s^{-1} . Neste intervalo, os registros foram abertos para que as mangueiras transportassem o afluente líquido floculado para os filtros. Uma coleta da saída dos jarros foi efetuada após o procedimento de coagulação, considerando o início da passagem para os filtros lentos.

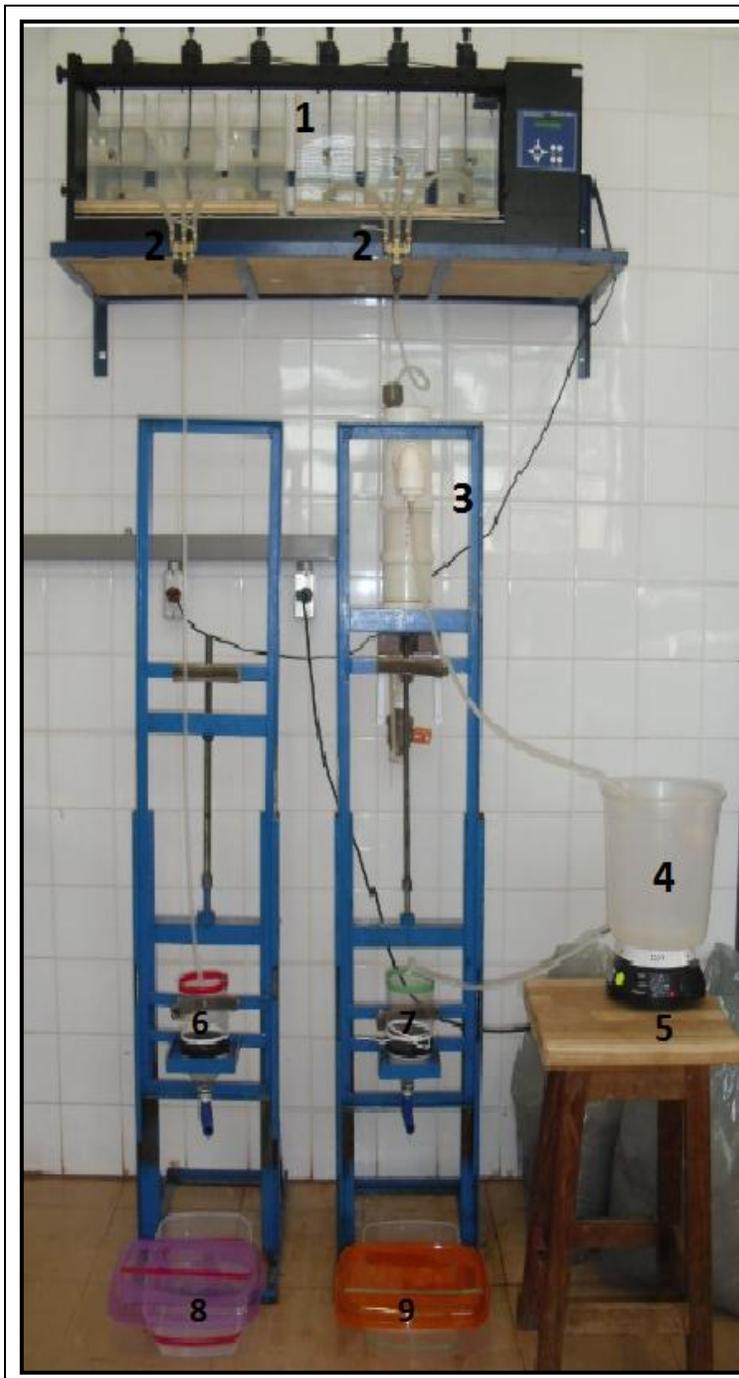
5.3.5 Tratamento filtros lentos de nãotecidos sintéticos

Como descrito no item (5.2.2.1), o tratamento empregando o uso de nãotecidos sintéticos compreendeu 3 filtros lentos, sendo 2 constituídos por 5 camadas cada e um com 10 camadas. A diferença entre os filtros com 5 camadas foi a instalação de um pré-filtro colocado antes do tratamento de um desses filtros lentos (Figura 21). Como o sistema de tratamento foi dimensionado para operar com 2 filtros por vez, o filtro que empregou 10 camadas de nãotecidos sintéticos foi operado após os ensaios conduzidos com os filtros de 5 camadas.

O filtro lento, que foi acompanhado do pré-filtro, operou com afluente alimentado por um mini-reservatório, instalado na saída desse pré-filtro. Como as taxas de operação do pré-filtro foram maiores que o filtro lento, foi necessário a presença desse reservatório, com agitação magnética constante para que a amostra não sedimentasse ao longo do ensaio. Além disso, o intervalo de filtração deste filtro foi menor em relação aos outros, já que parte da vazão abastecia o pré-filtro, como mostrado nos cálculos do item 5.2.3.

Após conduzidos os ensaios empregando filtros com 5 camadas, realizaram-se os ensaios com 10 camadas de nãotecidos sintéticos. Nesse sistema não foi utilizado pré-filtro, por isso, as condições do ensaio foram as mesmas aplicadas para o filtro com apenas 5 camadas de nãotecido sintéticos.

Os filtros foram operados em batelada, e na execução de um novo ensaio todo o sistema foi desmontado, limpo e por fim substituídas as camadas do não tecido nãotecidos sintéticos.



Legenda Figura:

1 Jar Test

2 Válvulas e mangueiras de transporte para os filtros

3 Pré-Filtro

4 Reservatório de água na saída do pré-filtro

5 Agitador magnético do reservatório

6 Filtro Lento sem pré-filtro

7 Filtro Lento com pré-filtro

8 Efluente final do filtro sem pré-filtro

9 Efluente final do filtro com pré-filtro

Figura 21: Imagem do sistema durante ensaio com filtros de nãotecidos sintéticos.

5.3.6 Tratamentos com Filtros Lentos Areia

Ao final dos intervalos de mistura (rápida e lenta) e adaptações do equipamento Jar Test, a água floculada encontrava-se pronta para a passagem pelos filtros lentos de areia. Os dois filtros lentos foram construídos com tubulação rígida de PVC com 100 mm de diâmetro, sendo que os meios filtrantes diferenciavam-se pela altura da camada, sendo um com 40 cm e o outro com 30 cm. Além disso, o filtro com 30 cm de areia foram adicionados na superfície da camada, 2 camadas de nãotecidos sintéticos, empregadas para substituir os 10 cm de camada de areia que não foram adicionados no filtros de 30 cm (Figura 22).

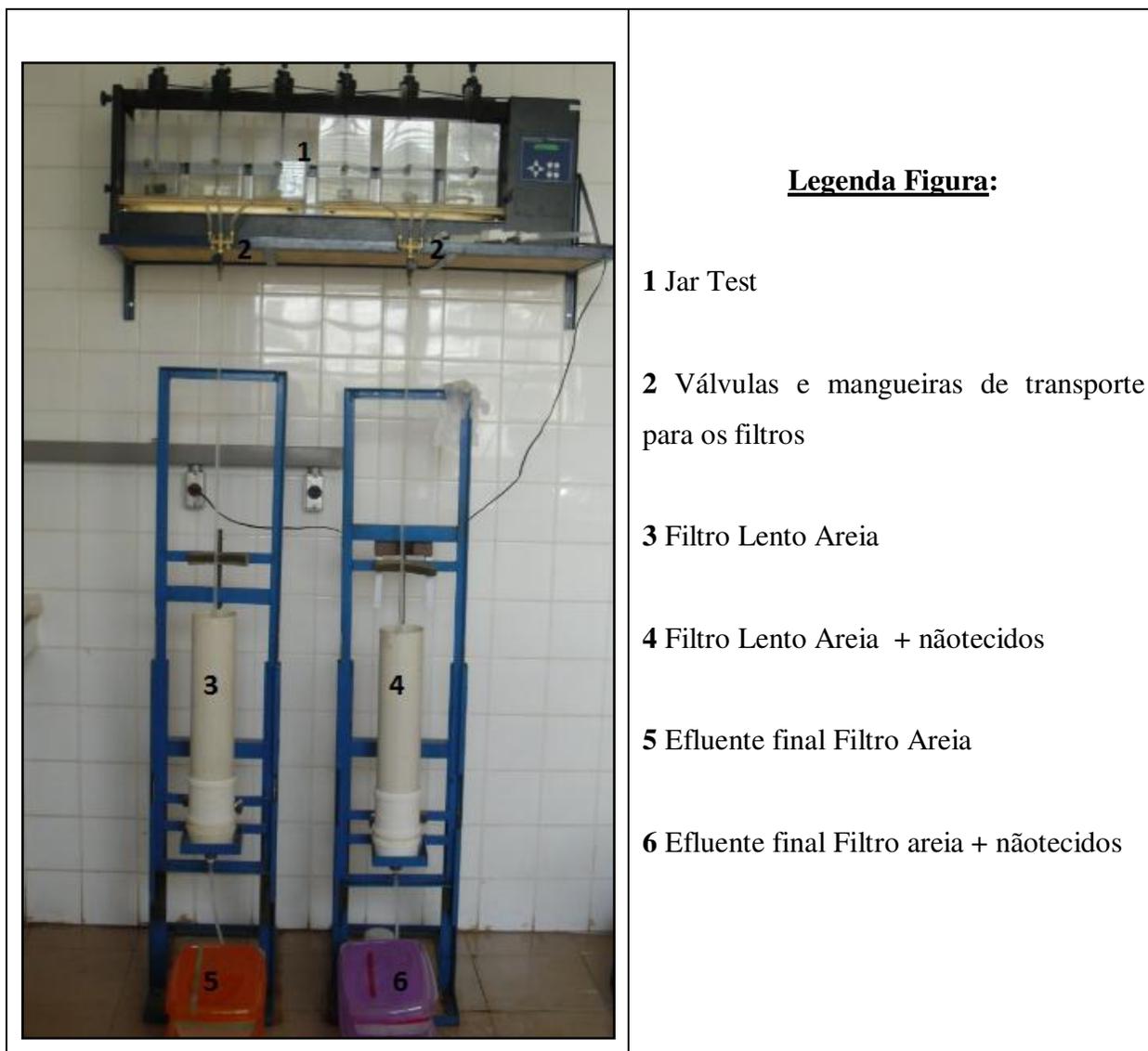


Figura 22: Imagem do sistema durante ensaio com filtros de areia.

Assim como os filtros de não tecidos sintéticos, a filtração lenta em areia também foi operada em sistema de batelada, com a finalização dos ensaios após 4 horas. Entretanto, quando finalizado o experimento, a limpeza ou troca da areia não foram efetuadas, apenas os jarros e as conexões passaram por lavagem, tendo novamente a montagem do sistema e a realização de um novo ensaio. Ao total foram conduzidos 5 ensaios consecutivos para avaliar o amadurecimento do filtro lento de areia no decorrer de cada procedimento. Efetuado esses 5 ensaios ocorreu a retirada da areia com posterior lavagem dos filtros. Para a execução de um novo ensaio houve a substituição da areia, já que a lavagem da areia não confirmava a ausência das microesferas. Por fim, realizou-se 3 repetições dos 5 ensaios.

5.4 Ensaios controle

Ao término de todos os ensaios conduzidos com filtros de não tecidos sintéticos e areia foi realizado o ensaio controle. Nesse ensaio não houve adição do extrato coagulante de *Moringa oleifera* e o objetivo principal deste ensaio foi verificar a influência do coagulante no tratamento proposto. Os ensaios foram conduzidos apenas com a inoculação de microesferas de poliestireno. Os intervalos de coleta foram os mesmos aplicados para os ensaios de não tecidos e areia.

5.5 Descontaminação do sistema e ensaios controle negativos

Ensaios controles negativos foram conduzidos no sistema de tratamento com o objetivo de garantir a total descontaminação do sistema de tratamento para um próximo ensaio. Nestes ensaios não houve inoculação de microesferas ao longo do sistema. Além disso, esses ensaios foram realizados entre cada repetição dos ensaios que empregamos uso de microesferas.

A limpeza do sistema foi efetuada com sucessivas lavagens de água corrente, esfregando-se com esponja e detergente neutro. Após esse procedimento, lavagens constantes com solução tween 80 à 0,1% foram efetuadas sob agitação intensa em Jar Test, com gradiente de mistura máximo (700 s^{-1}) nos jarros. Para finalizar o procedimento, foi passado por todo o sistema, água ultra pura por 3 vezes.

Após a lavagem, o sistema foi novamente montado e conduzido o ensaio controle negativo, com os mesmos procedimentos realizados para os ensaios com microesferas, com

exceção da inoculação das microesferas de poliestireno.

As coletas não foram realizadas a cada intervalo de tempo, como ocorreu nos ensaios com microesferas, e por isso foi analisado ao final da filtração todo o volume concentrado na saída do filtro em uma única vez. Isso pode ser justificado porque neste tipo de ensaio, obrigatoriamente, o objetivo não é identificar microesferas na água filtrada. Por isso, analisando toda a amostra filtrada ao final do ensaio, a resposta do ensaio é dada mais rapidamente.

Nos ensaios controle negativo, os quais foram identificadas microesferas, a lavagem foi efetuada novamente, seguido novamente de um novo ensaio negativo. A continuidade dos ensaios com microesferas foram seguidos apenas quando o ensaio controle negativo confirmasse a ausência de microesferas em lâmina.

5.6 Coletas e parâmetros analíticos

As coletas no sistema de tratamento de coagulação/floculação seguida de filtração lenta ocorreram, para todos os tratamentos, nos intervalos de 0, 30, 60, 120, 180 e 240 minutos. Todas elas foram realizadas em copos plásticos descartáveis (Figura 23), para evitar a contaminação de uma amostra para a outra, já que em frascos de coletas não descartáveis, alguns ensaios mostraram que a limpeza desses frascos não garantiu a ausência de microesferas para ensaios seguintes.



Figura 23: Coleta realizada em copo plástico descartável.

Após essas coletas, as amostras foram encaminhadas para leituras físico-químicas e detecção de microesferas de poliestireno em microscopia de fluorescência. As análises físico-químicas realizadas neste estudo foram:

Tabela 5: Parâmetros físico-químicos analisados.

Parâmetros físico-químicos	Unidades
pH	-
Turbidez	NTU
Cor Aparente	mg.L ⁻¹ de PtCo
Condutividade elétrica	μS.cm ⁻¹

Para a detecção das microesferas de poliestireno, as amostras foram coletadas separadamente e submetidas à metodologia de detecção, tendo-se realizados os mesmos procedimentos da metodologia de detecção de oocistos de *Cryptosporidium* spp., com exceção da aplicação do reagente FITC (Isotiocianato de fluoresceína), já que as microesferas já possuem fluorescência.

O método resumidamente consiste na filtração à vácuo da amostra em membrana em éster de celulose, com porosidade nominal de 1,2 μm. Após filtração, as membranas foram dispostas em placas de Petri, iniciando sequencialmente a etapa de extração mecânica com solução de eluição (Tween 80 a 0,1%) por duas vezes durante 10 minutos, com objetivo de extrair as microesferas das membranas. Ao final desta etapa, as amostras foram transferidas para tubo Falcon de 15 mL, completadas com solução de eluição a um volume de aproximadamente 12 mL e posteriormente levadas à centrifugação a 1.050 x g por 15 minutos. Esse último procedimento foi também realizado por duas vezes, levando em consideração retirar o excedente do tubo para a próxima centrifugação.

Por fim, as amostras foram homogeneizadas em vortex e concentradas em tubos eppendorf com um volume de aproximadamente 1 mL. Deste tubo, transferiu-se 10 μl para a lâmina. Aguardou-se a secagem, em seguida realizou-se a fixação com metanol seguida aplicação de metanol para fixação. Após 30 minutos efetuou-se leitura em microscópio de Epifluorescência.

Ressalte-se que toda metodologia para a extração e separação das microesferas de

poliestireno até o preparo das lâminas foi efetuada de maneira similar à realizada para oocisto de *Cryptosporidium* spp., de acordo com o protocolo adotado no Laboratório de Protozoologia do Instituto de Biologia (FRANCO *et al.*, 2001). A figura 24 apresenta um esquema simplificado para determinação das microesferas nas amostras tratadas.

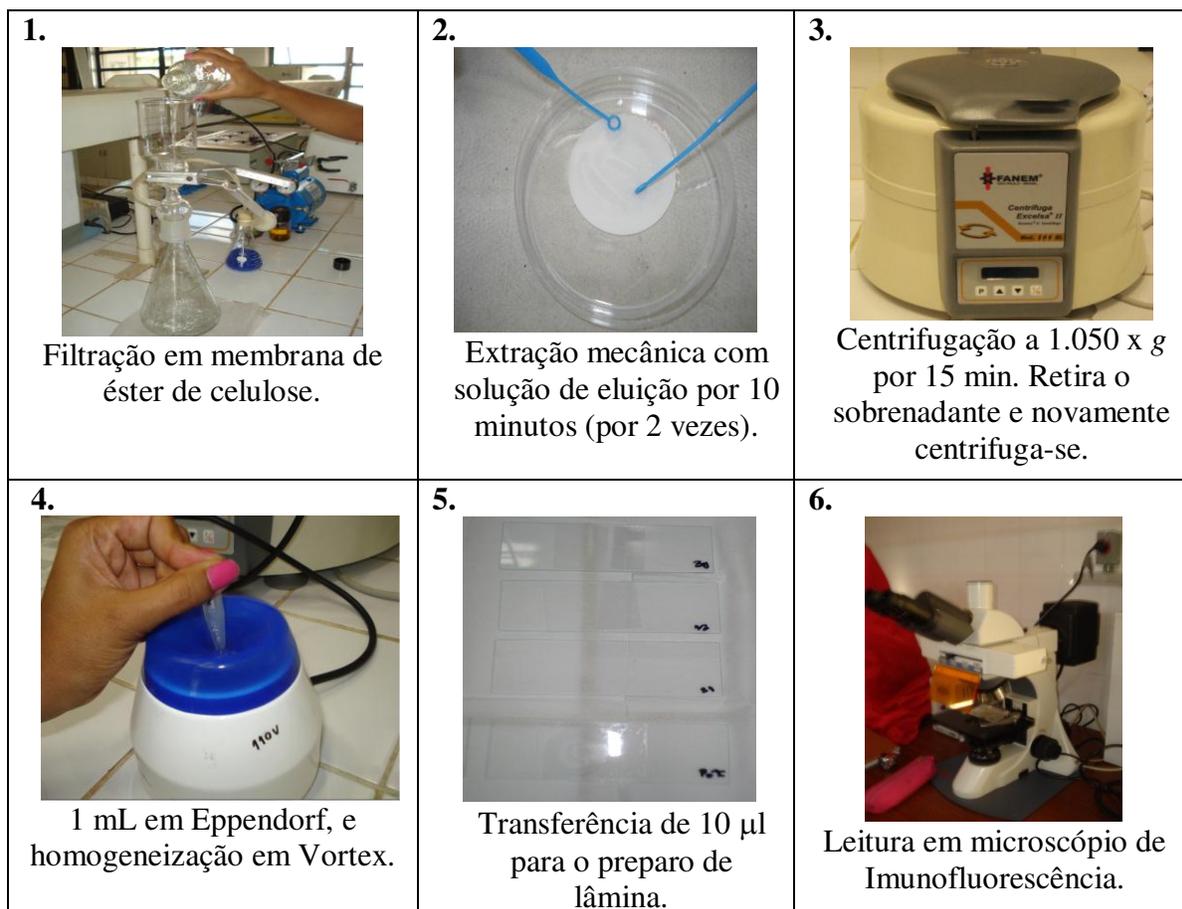


Figura 24: Ilustrações simplificadas do procedimento para purificação, extração e leitura de microesferas fluorescentes de poliestireno.

As lâminas preparadas foram visualizadas e as microesferas de poliestireno foram contadas por 3 diferentes pessoas em microscópio de Epi-fluorescência, com o objetivo de evitar erros de uma única contagem e desta forma aumentar o grau de confiabilidade do método. Essas contagens foram conduzidas com aumento de 100 x para a contagem de microesferas, e 400 x para confirmar formas duvidosas e também ler lâminas com grandes quantidades de microesferas. A fluorescência das microesferas é similar a dos oocistos de *Cryptosporidium* spp. em microscópio, embora seu brilho seja mais evidente e mais intenso,

tornando a identificação mais favorável para a distinção de falsos positivos.

Ao final foram registradas as médias das contagens dos indivíduos e o número final de microesferas por Litro, que foi convertido através de uma relação expressa pela equação 5 baseadas na EPA, 1999 e Cantusio Neto e Franco, 2004:

$$\text{microesferas.L}^{-1} = \frac{n^{\circ} \text{ de formas visualizadas}}{\text{Volume da alíquota}} \times \frac{\text{Volume do pellet no eppendorf}}{\text{Volume de amostra}}$$

(Equação 5)

Em que:

- N° de Formas visualizadas = microesferas contadas em lâmina
- Volume da alíquota = volume na lâmina (10 µl)
- Volume do pellet no eppendorf = o concentrado (1000µL)
- Volume da amostra= varia de acordo com a amostra: volume total – 4,0 L, volume por intervalo – 0,1 L

5.7 Análises Estatísticas

Nos parâmetros físico-químicos, que inclui turbidez, cor e condutividade elétrica foram realizadas análises de estatística descritiva (média, variância, desvio padrão e coeficiente de variação). Além disso, como os valores coletados não se enquadravam em nenhum tipo de distribuição paramétrica, não houve a análise da variância (ANOVA) para comparar os tratamentos. Por isso, foi empregado um teste não-paramétrico para possibilitar estatisticamente a comparação dos tratamentos e desta forma verificar qual obteve melhor desempenho no tratamento.

O teste não paramétrico de Kruskal-Wallis é uma alternativa não paramétrica do método ANOVA, que é utilizado para testar a hipótese de que k amostras quantitativas foram obtidas da mesma população CONOVER, (1999). Deste modo esse teste é aplicado quando, necessariamente, não se cumprem algumas condições que são exigidas para aplicação da ANOVA, o que foi o caso deste estudo (DÍAZ e LÓPEZ, 2005).

O teste foi realizado entre as repetições dos ensaios conduzidos para os filtros que aplicaram não tecidos, e o primeiro dia de ensaio com filtros de areia. Os demais dias de ensaio dos filtros com areia, incluindo o primeiro dia, o teste foi aplicado separadamente, uma vez que ocorreram procedimentos diferenciados dos ensaios com não tecidos, como foi descrito no item 5.6. Desta forma foi possível estabelecer uma comparação entre todos os tratamentos de meios filtrantes de acordo com a execução dos procedimentos experimentais com um nível de significância de 5%.

A estatística para avaliar os tratamentos com as microesferas foi aplicada diferentemente dos parâmetros físico-químicos. Neste estudo foi inoculado um número muito grande de microesferas no sistema de tratamento, e por isso foi necessário empregar um modelo que estimasse um valor para ser comparado com os valores reais. Assim, optou-se por realizar um estudo empregando o modelo de Poisson Inflacionado (LAMBERT, 1992; BOHNING, 1998; BOHNING *et al.*, 1999; NAGAMINE *et al.*, 2008).

Quando existe uma variabilidade maior do que a esperada pelo modelo, tem-se um fenômeno chamado dispersão. Esta alta variabilidade pode ser causada quando os dados contém um número excessivo de zeros, para essas situações, existem modelos alternativos chamados modelos inflacionados de zeros, tanto para a distribuição de Poisson como para a binominal negativa (FUMES, 2009).

Como nesse estudo os sistemas de filtração empregando o extrato coagulante de *Moringa oleifera* em grande maioria apresentaram um número muito elevado de zeros, existiu uma tendência dos tratamentos serem promissores, e por isso, realizaram a aplicação do modelo de Poisson Inflacionado de Zeros (ZIP). Para isso foi modelado apenas o número de formas visualizadas e após essa modelagem foi efetuada a conversão em microesferas por Litro. A significância testada para aplicação desse modelo também foi a 5%.

Toda análise estatística foi efetuada no programa “R” 2.14.0, utilizando o pacote “agricolae” e a função Kruskal.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir do desenvolvimento da metodologia foi possível obter resultados significativos em relação ao tratamento de água, com redução tanto dos parâmetros físico-químicos, como das microesferas de poliestireno. Os dados foram organizados de acordo com os parâmetros de estudo: turbidez, cor, condutividade elétrica e microesferas de poliestireno, exceto o pH, que não apresentou variação, permanecendo dentro da faixa de 6,5 a 7,5 em todos os pontos observados. Por essa razão, os valores desse parâmetro não foram incluídos.

Amaral *et al.* (2006) também verificaram que o pH e o gosto da água quando tratada com solução coagulante de *Moringa oleifera* não se alteraram. Ndabigengesere *et al.* (1998) mostraram que a solução a base de sementes de *Moringa oleifera* não acarretou alterações no pH da amostra, permanecendo com valor de 7,6. Quando da aplicação do coagulante a base de Sulfato de Alumínio, os autores observaram uma redução do pH da água que chegou a valores de 4,2.

6.1 Análise de Turbidez

A turbidez é um dos parâmetros físico-químicos de qualidade de água que permite avaliação rápida, simples e acessível para identificar partículas em suspensão. Dependendo da quantidade de partículas presentes em água, é possível observar a olho nu a aparência da água turva, e em regiões onde não há equipamentos adequados, esse procedimento torna-se um dos mais adequados.

Para avaliar a eficiência do coagulante a base de sementes de *Moringa oleifera*, a turbidez foi o parâmetro mais adequado, já que permitiu obter resultados rápidos e satisfatórios, a fim de verificar a eficiência da aplicação desse coagulante. Nesta pesquisa, a avaliação da redução da turbidez foi de grande importância, principalmente na seleção da dosagem adequada de coagulante durante os testes preliminares. Desta forma, evitou-se empregar parâmetros mais complexos, que exigem maiores intervalos de tempo.

6.1.1 Testes preliminares na redução de turbidez

Os ensaios preliminares empregando a coagulação a partir de sementes de *Moringa oleifera* em Jar Test seguida de filtração em nãotecidos sintéticos apresentaram valores significativos para a redução de turbidez, e desta forma mostrou-se favorável sua aplicação no sistema de tratamento de água proposto. Já o teste denominado ensaio controle (sem adição de solução coagulante), não apresentou eficiência na redução de turbidez na água de estudo.

A não aplicação do coagulante *Moringa oleifera*, fez com que a água permanecesse com valores iniciais de turbidez. Na tabela 6 é possível observar a média de todos os valores coletados ao longo do tempo e comparar também com valores do ensaio controle (sem adição do coagulante).

Tabela 6: Valores médios de turbidez nos ensaios preliminares.

	<u>Turbidez (NTU)</u>		<u>Eficiência de remoção [%]</u>	
	Ensaio Controle	Ensaio com <i>Moringa oleifera</i>	Ensaio Controle	Ensaio com <i>Moringa oleifera</i>
Turbidez Inicial (NTU)	17,10	17,09	-	-
Intervalo de coleta (s)				
15	14,30	1,99	16,37	88,35
30	15,80	1,13	7,60	93,41
45	15,80	0,89	7,60	94,77
60	15,90	0,76	7,02	95,55
75	16,20	0,57	5,26	96,67
90	15,70	0,70	16,37	95,89
105	15,90	0,71	7,02	95,83
120	15,80	0,66	7,60	96,17
135	16,20	0,63	5,26	96,30
150	16,00	0,63	6,43	96,30
165	16,20	0,63	5,26	96,32
180	16,60	0,58	2,92	96,59
195	16,00	0,53	6,43	96,91
210	16,30	0,52	4,68	96,94
225	16,50	0,55	16,37	96,78
240	16,90	0,50	1,17	97,09

A visualização torna-se mais evidente quando mostrada a redução em termos de

porcentagem de eficiência, onde observaram valores máximos de redução de 97%. As figuras 25 e 26 apresentam respectivamente, os valores de redução de turbidez da água filtrada (NTU) e a eficiência do tratamento em porcentagem (%).

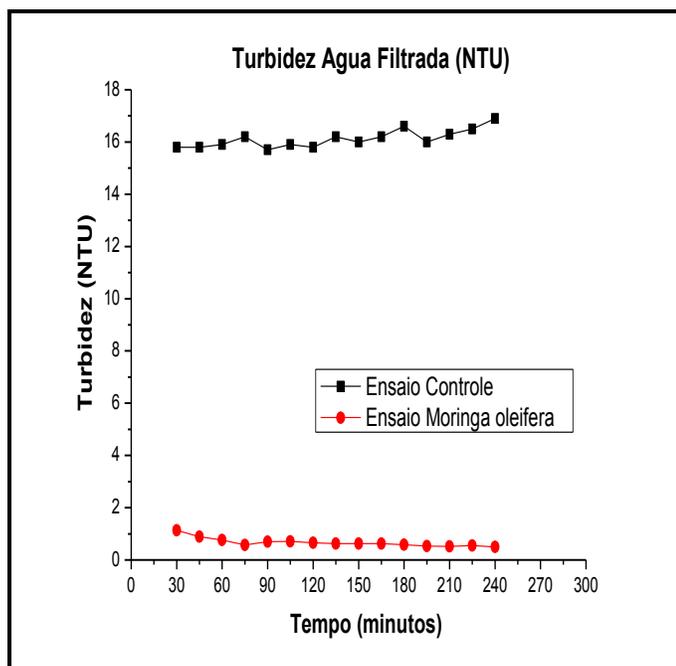


Figura 25: Redução dos valores de turbidez para a água filtrada

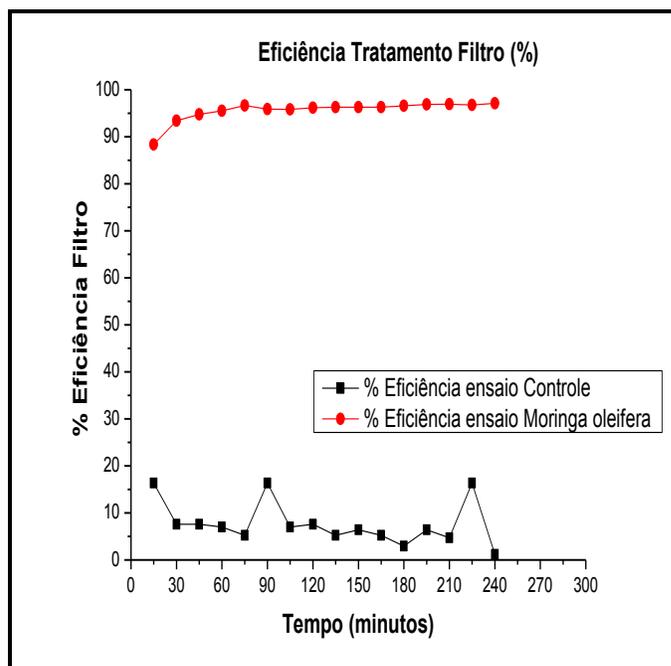


Figura 26: Eficiência de redução turbidez em porcentagem.

6.1.2 Ensaios sistema real de tratamento na redução de turbidez

Para analisar os resultados do sistema real dos 5 filtros aplicados foram designados as seguintes denominações: T1 – Pré-filtro e 5 nãootecido, T2 – 5 nãootecido, T3 – 10 nãootecido, T4 – Areia e T5 – Areia+nãootecido. Essa identificação atribuída para os tratamentos em todos os meios filtrantes será mencionada ao longo dos resultados. Por isso, os meios filtrantes citados acima podem ser considerados como sendo: T1, T2, T3, T4 e T5.

As tabelas 7, 8, 9, 10 e 11 apresentam valores de turbidez obtidos para os tratamentos T1, T2, T3, T4 e T5. Nessas tabelas também é mostrado o ensaio controle (sem adição do extrato de sementes de *Moringa oleifera*). Além disso, nessas tabelas encontram-se a estatística descritiva, que incluem os valores de média, variância, desvio padrão e coeficiente de variação.

Tabela 7: Valores de turbidez para tratamentos T1 – Pré-Filtro e 5 camadas de nãootecidos.

Tratamentos Filtros	Repetições	Pontos de Coleta (minutos) – Turbidez					
		0	30	60	120	180	240
5 NT+PF	Rep 1	2,04	0,90	0,48	0,43	0,30	*
	Rep 2	1,74	0,90	0,64	0,48	0,52	*
	Rep 3	1,05	1,14	1,22	0,91	0,74	*
	Média	1,61	0,98	0,78	0,60	0,52	*
	VAR	0,26	0,02	0,15	0,07	0,05	*
	DP	0,51	0,14	0,39	0,27	0,22	*
	CV (%)	31,53	14,28	49,59	44,09	41,91	*
	Controle	5,99	10,60	11,90	11,00	10,90	*

*Não há leitura para esse intervalo, pois o volume líquido desse filtro também abastecia o pré-filtro, e por isso o tempo de ensaio foi menor, com a última coleta ocorrendo no intervalo de 180 minutos.

Foi possível visualizar na tabela 7, que o valor médio de turbidez, ao final do tratamento, foi de 0,52 NTU.

Os tratamentos T2 e T3, que também empregaram nãootecidos, apresentaram, ao final do

tratamento, valores médios de turbidez em 0,57 e 0,55 NTU, respectivamente (Tabela 8 e 9). Na redução da turbidez os dois sistemas que empregaram apenas nãotecidos foram suficientes, independente do número de camadas de nãotecidos empregados.

Tabela 8: Valores de turbidez para tratamentos T2 - 5 camadasde nãotecidos.

Tratamentos Filtros	Repetições	<u>Pontos de Coleta (minutos) – Turbidez</u>					
		0	30	60	120	180	240
5 NT	Rep 1	1,05	0,46	0,29	0,34	0,39	0,32
	Rep 2	1,77	1,43	1,40	1,03	0,81	0,71
	Rep 3	1,51	1,21	1,30	0,95	0,57	0,67
	Média	1,44	1,03	1,00	0,77	0,59	0,57
	VAR	0,13	0,26	0,38	0,14	0,04	0,05
	DP	0,36	0,51	0,62	0,38	0,21	0,21
	CV (%)	25,26	49,57	62,00	48,99	35,86	37,62
	Controle	11,00	18,80	19,10	19,07	19,40	18,00

Tabela 9: Valores de turbidez para tratamentos T3 - 10 camadas de nãotecidos sintéticos.

Tratamentos Filtros	Repetições	<u>Pontos de Coleta (minutos) – Turbidez</u>					
		0	30	60	120	180	240
10 NT	Rep 1	2,08	0,68	0,79	0,53	0,55	0,45
	Rep 2	4,31	1,13	0,90	0,82	1,02	0,78
	Rep 3	1,76	1,45	1,39	1,05	0,81	0,41
	Média	2,72	1,09	1,03	0,80	0,79	0,55
	VAR	1,93	0,15	0,10	0,07	0,05	0,04
	DP	1,39	0,39	0,32	0,26	0,23	0,20
	CV (%)	51,17	35,78	31,07	32,72	29,41	36,28
	Controle	2,04	17,10	19,60	17,90	18,10	18,10

Ao final do tratamento, os filtros de areia obtiveram valores médios de turbidez em 1,64 NTU para o tratamento T4 (Tabela 10), e 1,79 NTU para o tratamento T5 (Tabela 11).

Tabela 10: Valores de turbidez para tratamento T4 - Areia.

Tratamentos Filtros	Repetições	<u>Pontos de Coleta (minutos) – Turbidez</u>					
		0	30	60	120	180	240
Areia	Rep 1	3,61	8,78	5,7	2,29	1,75	1,62
	Rep 2	7,98	6,96	2,19	1,01	0,69	1,00
	Rep 3	0,83	3,45	15,5	7,01	3,44	2,31
	Média	4,14	6,40	7,80	3,44	1,96	1,64
	VAR	12,99	7,34	47,59	9,99	1,97	0,43
	DP	3,60	2,71	6,90	3,16	1,39	0,66
	CV (%)	87,06	42,35	88,48	91,95	70,76	39,88
	Controle	3,93	21,6	21	17,6	18,9	15,4

Tabela 11: Valores de turbidez para tratamentos T5 - Areia + não-tecido sintético.

Tratamentos Filtros	Repetições	<u>Pontos de Coleta (minutos) – Turbidez</u>					
		0	30	60	120	180	240
Areia+NT	Rep 1	2,29	4,66	3,79	2,01	0,95	0,77
	Rep 2	9,59	16,5	2,45	2,1	1,08	0,98
	Rep 3	1,54	5,9	16	4,4	3,03	3,63
	Média	4,47	9,02	7,41	2,84	1,69	1,79
	VAR	19,78	42,35	55,75	1,84	1,36	2,54
	DP	4,45	6,51	7,47	1,35	1,11	1,59
	CV (%)	99,41	72,14	100,72	47,75	69,08	88,89
	Controle	4,33	21,6	18,3	21,3	17,4	16,7

O tratamento T5 apresentou o mesmo comportamento que o T4, cuja turbidez média ao final do intervalo de tratamento encontraram-se acima de 1 NTU. Entretanto, neste mesmo tratamento, os valores da turbidez para as repetições 1 e 2, ficaram abaixo de 1 NTU, porém a terceira repetição apresentou variação constante, e ao final do ensaio não ocorreu a estabilização do sistema com a redução de turbidez.

Mesmo a areia passando por lavagem intensa, posterior confirmação da limpeza com passagem de água tratada e verificação da redução de turbidez antes de iniciar os ensaios, esse filtro apresentou valores discrepantes em relação aos outros tratamentos com filtros apenas de nãotecidos sintéticos. Amirtharajah e Wetstein (1980), citado por Di Bernardo (2005), explicam que durante o início da carreira existem picos de turbidez na água filtrada pela existência de: a) água de lavagem remanescente em estado limpo, situada abaixo do meio filtrante e tubulações de saída; b) água de lavagem remanescente, no interior do meio filtrante e camada suporte; c) água de lavagem remanescente situada acima do topo do meio filtrante.

No caso desta pesquisa os picos iniciais de turbidez da água filtrada se devem a possível água de lavagem remanescente no interior do filtro, ou a presença de grãos argilosos se despreendendo de outros grãos, que não foram removidos durante o processo de lavagem.

A portaria nº 2914 do Ministério da Saúde que substitui a antiga portaria nº 518, delimita que entre os 5% das amostras que podem apresentar valores de turbidez superiores ao VMP (Valores Máximos Permitidos da Portaria), o limite máximo para qualquer amostra pontual deve ser menor ou igual a 1,0 NTU, para filtração rápida e menor ou igual a 2,0 NTU para filtração lenta.

Os filtros lentos de nãotecidos estão dentro dos valores estabelecidos pela portaria, em relação à filtração lenta. Para os filtros que empregaram meio filtrante de areia, ocorreu o mesmo, pois os valores médios ficaram abaixo de 2 NTU. Entretanto, quando visualizadas todas as repetições, ao final do tratamento, a terceira repetição para os filtros de areia, não ficaram dentro dos limites estabelecidos.

O teste não paramétrico de Kruskal-Wallis (CONOVER, 1999) foi executado para obter a comparação entre os tratamentos: T1, T2, T3, T4 e T5. Todas as figuras referentes ao teste de Kruskal Wallis devem ser interpretadas como o resultado do teste de médias aplicados para verificar a diferença entre os tratamentos, sendo que a diferença entre os tratamentos são representados por letras. As letras idênticas não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Kruskal Wallis ao nível de 5 %. Os valores no eixo “y” do gráfico representam os valores obtidos após aplicação do teste de média.

Na figura 27, é notável que os tratamentos com filtros de nãotecidos (T1, T2, e T3) são estatisticamente iguais e estão representados pela letra “b”. Já os tratamentos com filtros de

areia (T4 e T5), que estão representados pela letra “a”, são considerados iguais entre eles e diferentes dos tratamentos T1, T2 e T3.

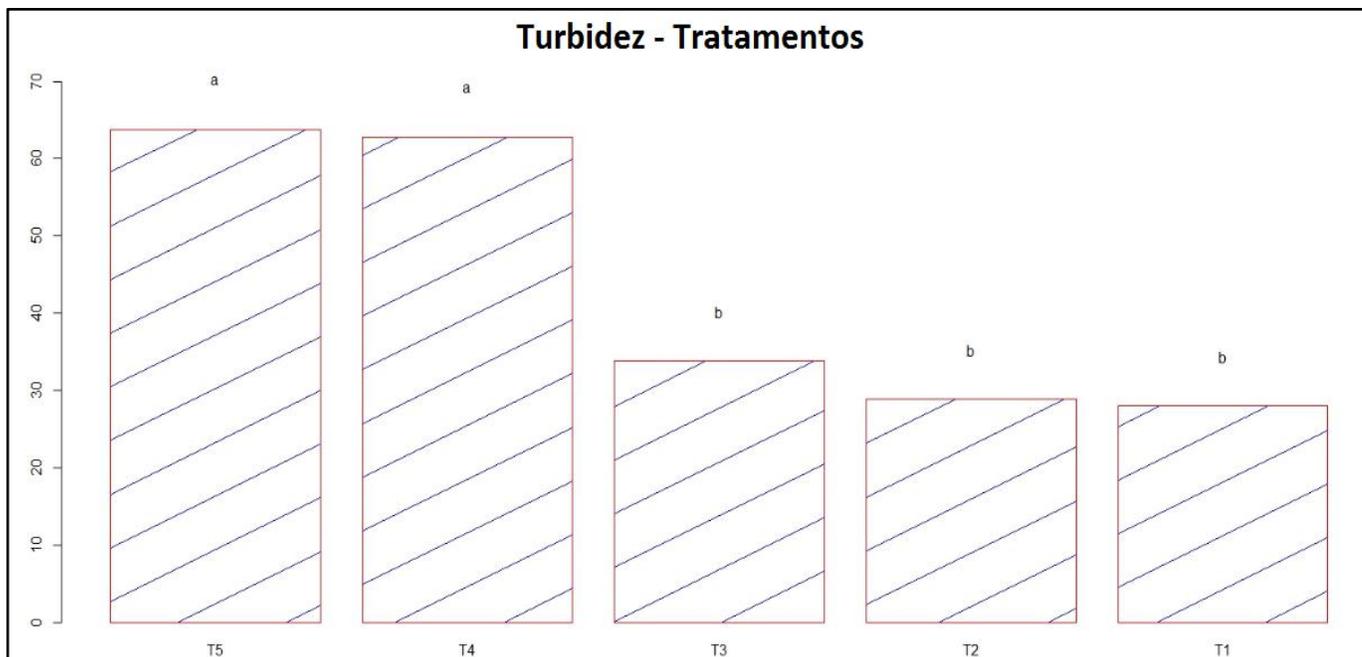


Figura 27: Comparação dos valores do teste de médias entre 5 diferentes meios filtrantes na redução de turbidez (Teste de Kruskal Wallis).

Em relação aos intervalos de coleta obteve-se também a comparação pelo teste de Kruskal-Wallis, onde foi possível observar a diferença dos tratamentos no decorrer do tempo. A figura 28 mostra que intervalo de tempo “0” todos os tratamentos apresentam as mesmas condições, onde: $T1=T2=T3$ e $T4=T5$. Nos outros intervalos de tempo, o mesmo comportamento se manteve, com exceção do intervalo de 180 minutos, em que: $T1=T2=T3$, $T2=T3=T4$ e $T5=T4=T3$.

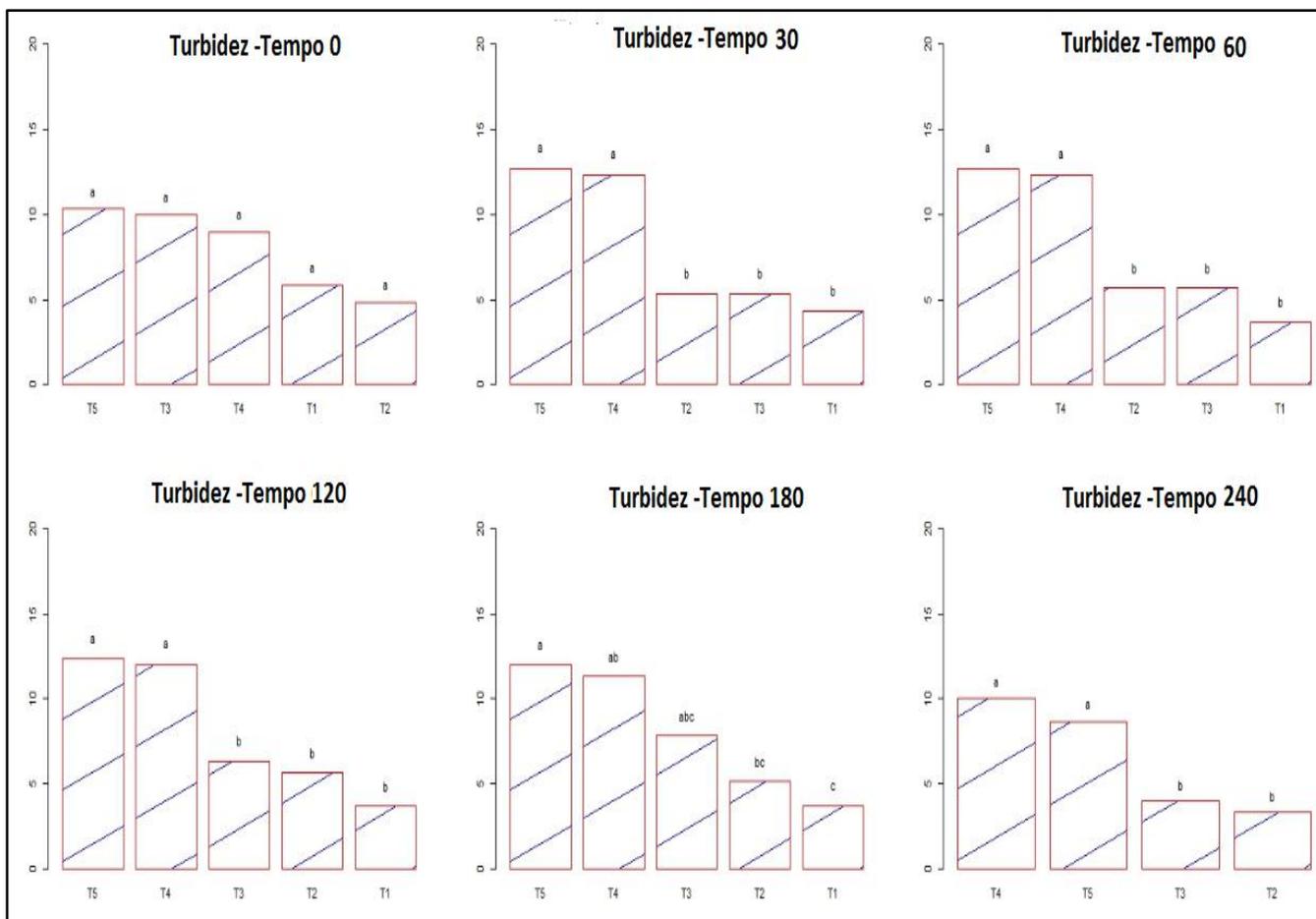


Figura 28: Comparação dos valores do teste de médias entre 5 diferentes meios filtrantes em cada intervalo de tempo na redução de turbidez (Teste de Kruskal Wallis), sendo que T1 no 240 minutos não foi representado por não haver vazão.

Para todos os filtros lentos não houve alteração significativa no ensaio controle, em relação aos valores iniciais de turbidez. Como explicado na metodologia, o preparo da água de estudo apresentou valores de turbidez na faixa de 17 à 20 NTU, e os valores para o ensaio controle permaneceram ao final do ensaio próximo aos valores iniciais.

A figura 29 apresenta a redução de turbidez para todos os tratamentos aplicando a coagulação seguida de filtração e o ensaio controle, cujos valores de turbidez permaneceram similares aos valores iniciais.

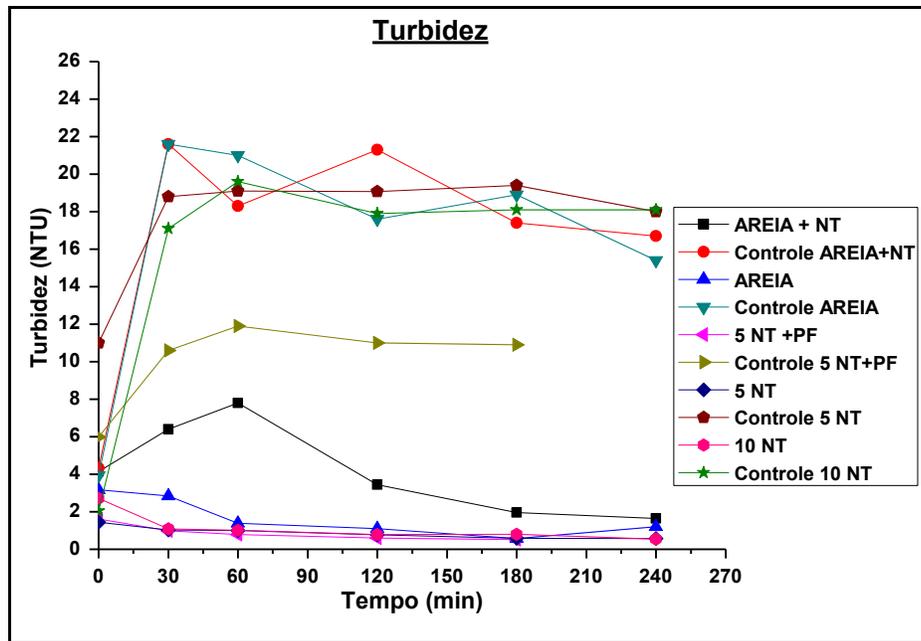


Figura 29: Valores de turbidez ao longo do tempo e ensaio controle.

Beltrán-Heredia e Sánchez-Martin (2009) empregaram a filtração lenta como auxiliar na coagulação utilizando o extrato de *Moringa oleifera* para a remoção de turbidez no tratamento de águas superficiais. Como a etapa de sedimentação da água ainda apresentava índices de turbidez elevados, em torno de 30 NTU, um filtro lento de areia foi colocado para complementar o tratamento. O filtro de areia utilizado por esses autores, possuía 3 cm de camada de cascalho como meio suporte, e 49 cm de camada de areia. A turbidez removida após a filtração atingiu valores de 100%.

No caso dos filtros lentos de areia deste estudo, que foram conduzidos 5 ensaios consecutivos, todos os dados incluindo o primeiro dia, que havia sido comparado com os filtros de nãotecido, foram avaliados separadamente, visto que neste tratamento ao longo do tempo foram observados o amadurecimento do filtro lento. A tabela 8 mostra a redução dos valores de turbidez de cada ensaio, tanto para o filtro T4 como para o filtro T5.

Tabela 12: Valores de turbidez dos intervalos de coleta para o ciclo de 5 dias de ensaio com filtros de areia.

Ensaio	Coleta (min)	AREIA							AREIA + 2 Nãotecidos						
		Rep 1	Rep 2	Rep 3	Méd	Var	DP	CV (%)	Rep 1	Rep 2	Rep3	Méd	Var	DP	CV (%)
1°	0	2,29	9,59	1,54	4,47	19,78	4,45	99	3,61	7,98	0,83	4,14	12,98	3,60	87
	30	4,66	16,5	5,90	9,02	42,35	6,51	72	8,78	6,96	3,45	6,40	7,34	2,71	42
	60	3,79	2,45	16,00	7,41	55,75	7,47	101	5,70	2,19	15,50	7,80	47,59	6,90	88
	120	2,01	2,1	4,4	2,84	1,84	1,35	48	2,29	1,01	7,01	3,44	9,99	3,16	92
	180	0,95	1,08	3,03	1,69	1,36	1,17	69	1,75	0,69	3,44	1,96	1,92	1,39	61
	240	0,77	0,98	3,63	1,79	2,54	1,59	89	1,62	1,00	2,31	1,64	0,43	0,66	40
2°	0	3,14	3,76	7,87	4,92	6,61	2,57	52	1,12	4,41	3,98	3,17	3,2	1,79	56
	30	2,58	4,34	1,06	2,66	2,69	1,64	62	3,22	3,08	2,21	2,84	0,3	0,55	19
	60	1,34	1,54	0,96	1,28	0,09	0,29	23	1,43	1,94	0,78	1,38	0,34	0,58	42
	120	0,87	1,11	0,73	0,90	0,04	0,19	21	0,79	1,94	0,59	1,11	0,53	0,73	66
	180	0,84	0,84	0,78	0,82	0,00	0,04	4	0,68	0,64	0,41	0,58	0,02	0,15	26
	240	0,61	0,79	0,59	0,66	0,01	0,11	16	0,54	2,49	0,57	1,20	1,25	1,12	93
3°	0	1,98	2,52	9,68	4,73	18,47	4,3	91	1,64	1,47	4,5	2,54	2,9	1,70	67
	30	1,24	2,94	2,75	2,31	0,87	0,93	40	1,82	1,54	4,53	2,63	2,73	1,75	63
	60	70	0,90	1,52	1,04	0,18	0,43	41	0,60	0,82	1,52	0,98	0,23	0,48	49
	120	0,45	0,57	1,48	0,83	0,32	0,56	67	0,39	0,61	0,92	0,64	0,07	0,26	41
	180	0,33	0,41	0,47	0,40	0,00	0,07	17	0,38	0,38	0,63	0,66	0,02	0,15	31
	240	0,32	0,37	1,22	0,64	0,26	0,51	79	0,31	0,34	0,67	0,44	0,04	0,20	45
4°	0	0,99	3,79	3,67	2,82	2,5	1,58	56	0,92	8,79	2,97	4,23	16,67	4,08	97
	30	1,4	4,12	5,22	3,58	3,87	1,97	55	1,45	1,37	3,94	2,25	2,14	1,46	65
	60	0,77	1,03	2,41	1,40	0,77	0,88	63	0,56	0,89	3,35	1,60	2,33	1,52	95
	120	0,49	0,37	1,78	0,88	0,61	0,78	89	0,52	0,64	2,76	1,31	1,59	1,26	97
	180	0,46	0,38	1,95	0,93	0,78	0,89	95	0,47	0,35	2,88	1,23	2,03	1,43	116
	240	0,58	0,76	1,31	0,88	0,14	0,38	43	0,51	0,56	2,10	1,06	0,82	0,91	86
5°	0	1,7	1,37	3,4	1,95	1,61	1,27	65	1,16	2,18	4,29	2,54	2,55	1,7	63
	30	1,16	2,42	1,85	1,81	0,4	0,63	35	1,28	0,92	2,26	1,49	0,48	0,69	47
	60	0,87	1,27	0,69	0,94	0,09	0,3	31	0,59	1,68	0,48	0,92	0,44	0,66	63
	120	0,66	1,58	0,44	0,89	0,37	0,61	68	0,45	0,47	0,36	0,43	0,00	0,06	13
	180	0,6	0,42	0,54	0,52	0,01	0,09	18	0,41	0,34	0,36	0,37	0,00	0,03	9
	240	0,40	0,50	0,42	0,44	0,00	0,05	12	0,38	0,37	0,30	0,35	0,00	0,04	13

Na tabela 12 foi possível observar os valores de turbidez obtidos para as 3 repetições dos ensaios com filtros de meio filtrante de areia, tanto para os pontos de coleta no período de 240 minutos, como para os ensaios contínuos de 5 dias. Os valores de turbidez diminuíram ao

longo dos 5 dias corridos, confirmando que a *Moringa oleifera* influência no desempenho da filtração.

As análises estatísticas para meios filtrantes empregando areia mostraram uma variação de turbidez muito elevada em relação a cada repetição, observando coeficientes muito elevados, principalmente no tempo inicial de coleta.

6.2 Análise de Cor

Assim como a turbidez, as leituras de cor aparente para os filtros que empregaram não tecidos apresentaram redução ao longo do tempo (Tabela 13, 14 e 15). O primeiro dia de ensaio com filtros de areia apresentou o mesmo comportamento das análises de turbidez, com valores elevados e entre as repetições apresentaram valores discrepantes.

Tabela 13: Valores de Cor aparente para tratamentos com 5 camadas de não tecido e pré-filtro.

Tratamentos Filtro	Repetições	<u>Pontos de Coleta (minutos) – Cor Aparente (mg.L⁻¹ de PtCo)</u>					
		0	30	60	120	180	240
5 NT+PF	Rep 1	9,0	1,0	2,0	1,0	1,00	*
	Rep 2	13,0	5,0	3,0	1,0	3,00	*
	Rep 3	4,0	3,0	2,0	1,0	1,00	*
	Média	8,7	3,0	2,3	1,0	1,67	*
	VAR	13,6	2,7	0,2	0,0	0,89	*
	DP	4,5	2,0	0,6	0,0	1,15	*
	CV (%)	52,0	66,7	24,7	0,0	69,28	*
Controle		*	*	*	*	*	*

*Não há leitura para esse intervalo, pois o volume líquido desse filtro também abastecia o pré-filtro, e por isso o tempo de ensaio foi menor, com a última coleta ocorrendo no intervalo de 180 minutos.

Tabela 14: Valores de Cor aparente para tratamentos com 5 camadas de nãotecidos.

Tratamento Filtro	Repetições	<u>Pontos de Coleta (minutos) – Cor Aparente (mg.L⁻¹ de PtCo)</u>					
		0	30	60	120	180	240
5 NT	Rep 1	6,0	1,0	0,0	0,0	1,0	0
	Rep 2	6,0	2,0	3,0	2,0	0,0	0
	Rep 3	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0
	Média	4,3	1,0	1,0	0,6	0,3	0
	VAR	8,3	1,0	3,0	1,3	0,3	0
	DP	2,9	1,0	1,7	1,2	0,6	0
	CV (%)	66,6	100,0	173,2	173,2	173,2	0
	Controle	58,0	103,0	108,0	107,0	108,0	104

Tabela 15: Valores de Cor aparente para tratamentos com 10 camadas de nãotecidos.

Tratamento Filtro	Repetições	<u>Pontos de Coleta (minutos) – Cor Aparente (mg.L⁻¹ de PtCo)</u>					
		0	30	60	120	180	240
10 NT	Rep 1	24,0	6,0	4,0	0,0	0,0	0,0
	Rep 2	13,0	4,0	2,0	0,0	0,0	0,0
	Rep 3	18,0	7,0	7,0	5,0	2,0	0,0
	Média	18,3	5,7	4,3	1,7	0,7	0,0
	VAR	30,3	2,3	6,3	8,3	1,3	0,0
	DP	5,5	1,5	2,5	2,9	1,2	0,0
	CV (%)	30,0	27,0	58,1	173,2	173,2	0,0
	Controle	13,0	93,0	103,0	101,0	106,0	101,0

Observando as tabelas 13, 14 e 15 observa-se que houve uma redução significativa dos valores de cor para os tratamentos empregando nãotecidos sintéticos, ao longo dos intervalos de tempo. Também pôde-se visualizar que o coeficiente de variação (CV) em alguns intervalos de coleta apresentaram valores elevados.

Os filtros de areia apresentaram o tratamento menos efetivo comparado aos filtros de nãotecidos sintéticos, embora no primeiro dia de ensaio, a areia eliminou grãos argilosos que elevaram a cor. Nas tabelas 16 e 17 observam-se valores de cor obtidos para os filtros com areia e areia+nãotecidos, respectivamente, sendo que ao final do ensaio, os valores de cor reduziram em relação aos valores de coletas iniciais.

Tabela 16: Valores de Cor aparente para tratamentos com Areia.

Tratamento Filtro	Repetições	<u>Pontos de Coleta (minutos) – Cor Aparente (mg.L⁻¹ de PtCo)</u>					
		0	30	60	120	180	240
Areia	Rep 1	18,0	46,0	29,0	10,0	8,0	10,0
	Rep 2	45,0	85,0	9,0	15,0	8,0	7,0
	Rep 3	10,0	27,0	67,0	19,0	16,0	12,0
	Média	24,3	52,7	35,0	14,7	10,7	9,7
	VAR	124,3	50,3	31,0	252,3	40,3	9,3
	DP	18,3	29,6	29,5	4,5	4,6	2,5
	CV (%)	75,4	56,1	84,2	30,7	43,3	26,0
	Controle	16,0	100,0	100,0	83,0	99,0	80,0

Tabela 17: Valores de Cor aparente para tratamentos com Areia+nãotecidos.

Tratamento Filtro	Repetições	<u>Pontos de Coleta (minutos) – Cor Aparente (mg.L⁻¹ de PtCo)</u>					
		0	30	60	120	180	240
Areia+ NT	Rep 1	8,0	22,0	16,0	8,0	5,0	4,0
	Rep 2	25,0	31,0	9,0	7,0	5,0	6,0
	Rep 3	4,0	17,0	20,0	35,0	16,0	10,0
	Média	12,3	23,3	15,0	16,7	8,7	6,7
	VAR	124,3	50,3	31,0	252,3	40,3	9,3
	DP	11,2	7,1	5,6	15,9	6,4	3,1
	CV (%)	90,4	30,4	37,1	95,3	73,3	45,8
	Controle	19,0	100,0	89,0	101,0	89,0	85,0

Aplicando o teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis comparado com todos os tratamentos, observa-se na figura 30, que o tratamento de melhor comportamento na redução de cor aparente foi o T2. Em seguida o melhor desempenho foi destacado para os tratamentos T1 e T3. Com menor desempenho, os tratamentos T4 e T5 foram considerados iguais.

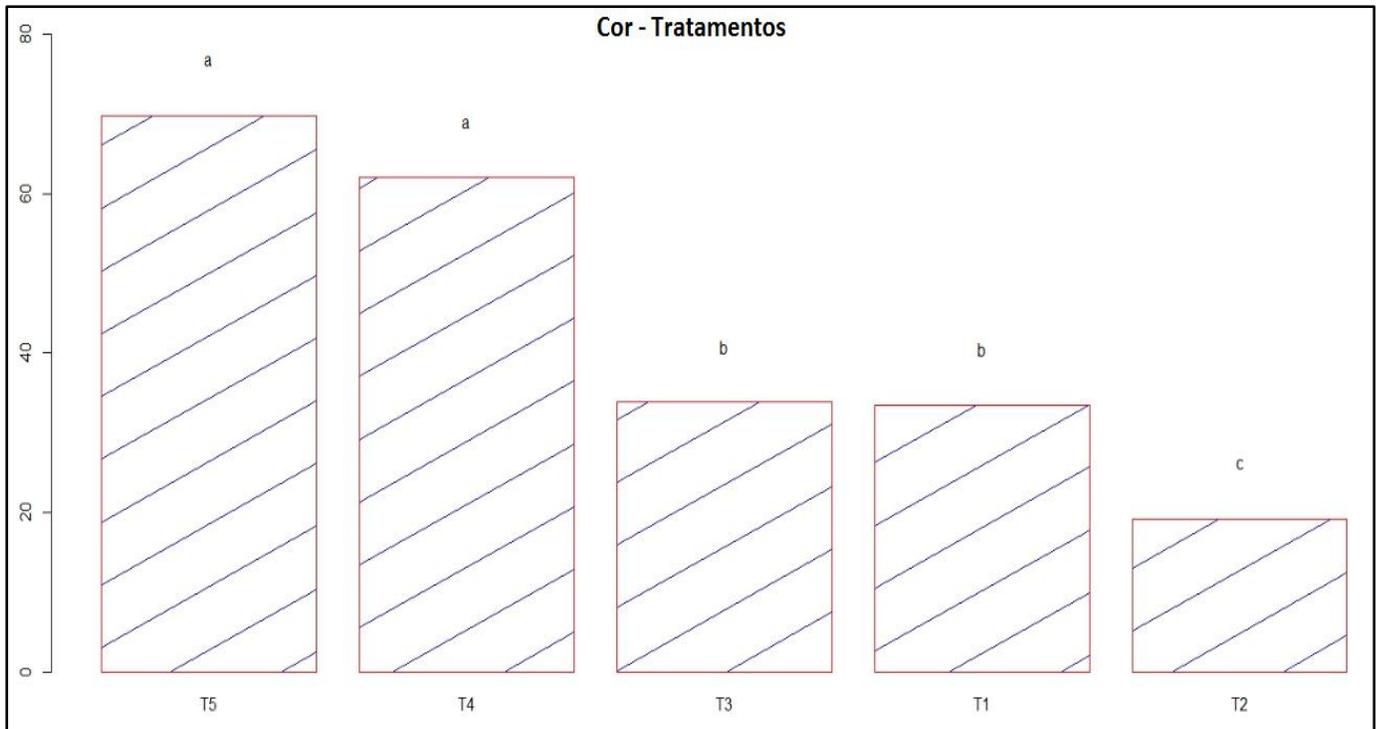


Figura 30: Comparação dos valores do teste de médias entre 5 diferentes meios filtrantes na redução de cor aparente (Teste de Kruskal Wallis).

Em relação aos intervalos de tempo de coleta, o teste de Kruskal-Wallis foi aplicado para verificar o desempenho dos tratamentos ao longo do tempo. Com isso, pode-se notar que o tratamento utilizando 5 camadas de não-tecidos (T2) apresentou redução maior ou equivalente que os tratamentos com 5 camadas de filtro+pré-filtro (T1) e 10 camadas de não-tecidos (Figura 31).

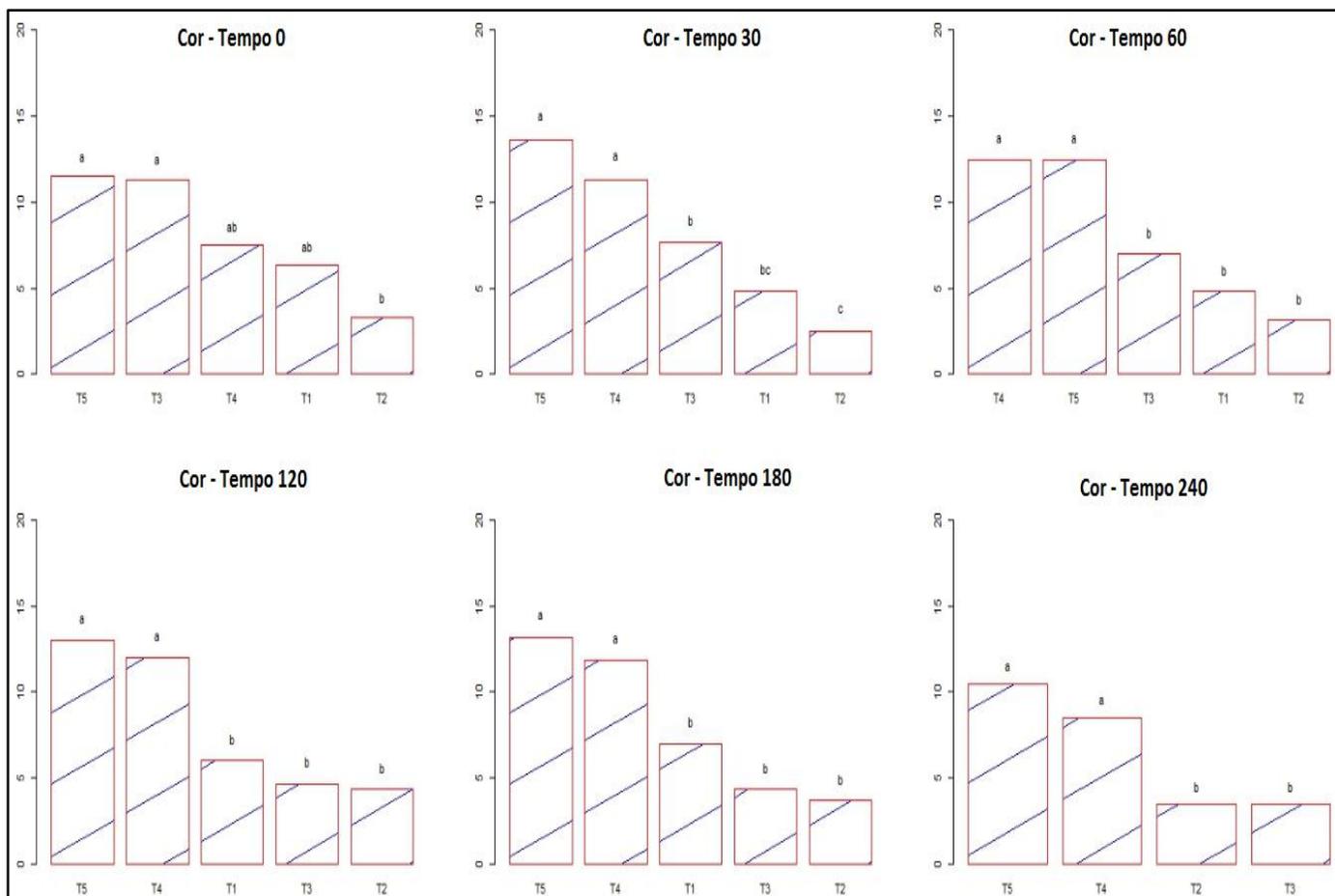


Figura 31: Comparação dos valores do teste de médias entre 5 diferentes meios filtrantes em cada intervalo de tempo na redução de cor aparente (Teste de Kruskal Wallis), sendo que T1 no 240 minutos não foi representado por não haver vazão.

Para as amostras controle, não houve redução significativa de cor, permanecendo com valores similares as amostras iniciais ao tratamento. Na figura 32 é possível melhor visualizar o decaimento da cor aparente para as amostras que utilizaram *Moringa oleifera* seguida da filtração lenta comparado com amostras que não aplicaram solução coagulante (controle).

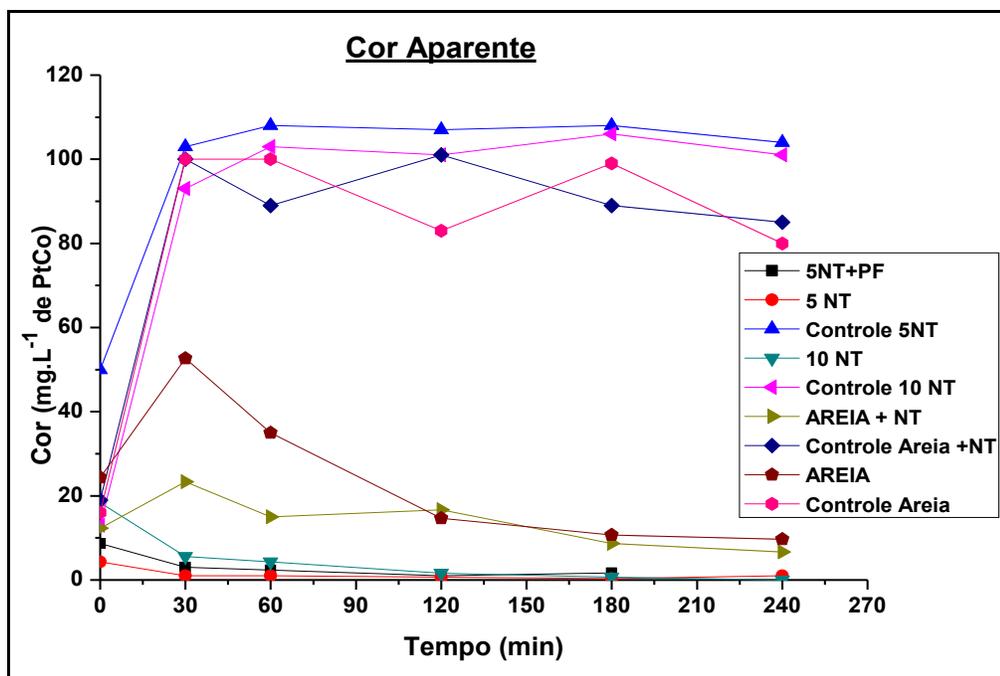


Figura 32: Valores de cor aparente ao longo do tempo e ensaio controle.

As leituras de cor aparente para as amostras que utilizaram meio filtrante de areia apresentaram redução ao longo dos ensaios realizados em 5 dias. A tabela 18 mostra os valores de cor aparente para o tratamento com *Moringa oleifera* seguido de filtração com o filtro de areia e o filtro de areia+camada de não tecido. Além disso, encontram-se os valores da estatística descritiva compostas pela média, variância, desvio padrão e coeficiente de variação.

O coeficiente de variação (CV) para muitas amostras de cor foram altas. Isso se deve principalmente a areia empregada neste estudo, que mesmo havendo a lavagem adequada, a presença dos grânulos que eliminam impurezas para a amostra de água, fizeram com que a turbidez e a cor apresentassem tal variação.

Ao longo dos 5 dias de ensaio para cada repetição, essa variação foi diminuindo, e em muitos intervalos de coleta no tempo final, os valores de cor aparente chegaram a atingir redução completa.

Tabela 18: Leituras de Cor aparente para os tratamentos com filtros de areia.

Dia	Coleta (min)	AREIA +MANTA							AREIA						
		Rep 1	Rep 2	Rep 3	Méd	Var	DP	CV (%)	Rep 1	Rep 2	Rep 3	Média	Var	DP	CV (%)
1º	0	8	25	4	12	124	11	90	18	45	10	24	336	18	75
	30	22	31	17	23	50	7	30	46	85	27	53	874	30	56
	60	16	9	20	15	31	6	37	29	9	67	35	868	29	84
	120	8	7	35	17	252	16	95	10	15	19	15	20	5	31
	180	5	5	16	9	40	6	73	8	8	16	11	21	5	43
	240	4	6	10	7	9	3	46	10	7	12	10	6	3	26
2º	0	5	25	18	16	103	10	63	18	25	36	26	82	9	34
	30	14	20	11	15	21	5	31	12	29	12	18	96	10	56
	60	5	14	4	8	30	6	72	4	13	6	8	22	5	62
	120	2	12	1	5	37	6	122	2	9	2	4	16	4	93
	180	3	4	1	3	2	2	57	4	2	2	3	1	1	43
	240	1	10	1	4	27	5	130	1	3	1	2	1	1	69
3º	0	11	11	22	15	40	6	43	8	7	46	20	494	22	109
	30	6	4	21	10	86	9	90	11	3	13	9	28	5	59
	60	3	6	7	5	4	2	39	2	2	7	4	8	3	79
	120	2	2	4	3	1	1	43	0	2	1	1	1	1	100
	180	0	0	3	1	3	2	173	0	0	2	1	1	1	173
	240	0	0	2	1	1	1	173	0	0	5	2	8	3	173
4º	0	6	43	13	21	386	20	95	5	23	18	15	86	9	61
	30	8	6	14	9	17	4	45	7	22	24	18	86	9	53
	60	4	2	11	6	22	5	83	4	3	5	4	1	1	25
	120	0	3	8	4	16	4	110	0	0	5	2	8	3	173
	180	0	0	11	4	40	6	173	0	0	8	3	21	5	173
	240	0	0	6	2	12	3	173	0	0	4	1	5	2	173
5º	0	4	4	19	9	75	9	96	6	1	16	8	58	8	100
	30	2	1	10	4	24	5	114	7	5	9	7	4	2	29
	60	0	10	0	3	33	6	173	5	7	3	5	4	2	40
	120	0	0	0	0	0	0	0	2	6	0	3	9	3	115
	180	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	240	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

6.3 Análise da Condutividade elétrica

A condutividade elétrica foi o único parâmetro de estudo que apresentou redução dos valores iniciais ao longo do intervalo de tratamento para todas as amostras, independente do uso do coagulante, como no caso dos ensaios controle. As tabelas 19, 20, 21, 22 e 23 mostram os tratamentos dos filtros 5 não-tecidos+pré-Filtro, 5 não-tecidos, 10 não-tecidos, areia e areia+não-tecidos, respectivamente.

Tabela 19: Valores de Condutividade elétrica para tratamentos com 5 não-tecidos+pré-Filtro.

		Condutividade Elétrica					
		Pontos de Coleta (minutos) – Condutividade elétrica ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)					
Tratamento Filtro	Repetições	0	30	60	120	180	240
5 NT+PF	Rep 1	50,4	32,2	11,3	21,2	18,1	*
	Rep 2	7,1	7,4	7,7	7,4	7,8	*
	Rep 3	0,4	14,8	14,0	13,6	11,9	*
	Média	19,3	18,1	11,0	14,1	12,6	*
	VAR	736,1	162,2	10,1	47,7	26,6	*
	DP	27,1	12,7	3,2	6,9	5,2	*
	CV (%)	140,5	70,2	28,8	49,1	40,9	*
	Controle	48,4	14,2	8,3	6,0	5,9	*

Tabela 20: Valores de Condutividade elétrica para tratamentos com 5 não-tecidos.

		Condutividade Elétrica					
		Pontos de Coleta (minutos) – Condutividade elétrica ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)					
Tratamento Filtro	Repetições	0	30	60	120	180	240
5 NT	Rep 1	7,4	7,1	7,5	7,2	8,3	7,05
	Rep 2	10,1	8,6	8,5	11,8	7,1	7,8
	Rep 3	10,7	7,1	7,1	7,0	6,5	7,4
	Média	9,4	7,6	7,7	8,7	7,3	7,4
	VAR	3,0	0,7	0,5	7,3	0,9	0,1
	DP	1,7	0,9	0,7	2,7	0,9	0,4
	CV (%)	18,5	11,2	9,5	31,3	12,7	5,0
	Controle	94,6	16,5	8,7	5,3	5,9	4,4

Tabela 21: Valores de Condutividade elétrica para tratamentos com 10 nãotecidos.

Tratamento Filtro		Condutividade Elétrica					
		Pontos de Coleta (minutos) – Condutividade elétrica ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)					
Repetições		0	30	60	120	180	240
10 NT	Rep 1	125,4	33,1	15,8	10,0	7,0	5,1
	Rep 2	127,6	25,1	6,6	6,3	5,2	6,1
	Rep 3	196,8	18,8	9,3	6,9	7,3	6,8
	Média	149,9	25,7	10,6	7,7	6,5	6,0
	VAR	1648,6	51,1	22,3	3,9	1,2	0,7
	DP	40,6	7,1	4,7	2,0	1,1	0,8
	CV (%)	27,1	27,8	44,6	25,7	17,1	14,0
	Controle	174,6	24,9	7,9	5,0	4,8	4,7

Tabela 22: Valores de Condutividade elétrica paratratamentos com areia.

Tratamento Filtro		Condutividade Elétrica					
		Pontos de Coleta (minutos) – Condutividade elétrica ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)					
Repetições		0	30	60	120	180	240
Areia	Rep 1	209,0	141,0	54,9	17,9	7,9	10,3
	Rep 2	14,0	19,3	10,6	9,5	9,2	9,8
	Rep 3	251,0	220,0	34,2	15,8	9,8	11,5
	Média	88,8	98,4	23,0	12,4	10,1	9,5
	VAR	17137,7	9376,9	107,3	9,9	1,3	0,1
	DP	130,9	96,8	10,4	3,2	1,2	0,3
	CV (%)	147,4	98,4	45,0	25,4	11,5	3,4
	Controle	214,0	12,6	9,0	8,5	8,3	7,6

A coagulação com extrato a base de *Moringa oleifera* não influenciou no desempenho dos filtros lentos para redução de condutividade elétrica. O ensaio controle mostrou que a filtração lenta é o suficiente para reduzir a condutividade elétrica. Nos primeiros intervalos de tempo coletados observa-se que a condutividade elétrica apresentam valores oscilatórios, e com o passar do tempo esses valores tendem a diminuir e estabilizar

Tabela 23: Valores de Condutividade elétrica para tratamentos com areia+nãotecidos.

Tratamento Filtro	Repetições	Condutividade Elétrica					
		Pontos de Coleta (minutos) – Condutividade elétrica ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)					
		0	30	60	120	180	240
Areia+NT	Rep 1	12,1	48,6	26,3	14,3	11,0	9,8
	Rep 2	14,5	36,6	11,4	8,8	8,8	9,4
	Rep 3	240,0	210,0	31,3	14,2	10,6	9,2
	Média	88,8	98,4	23,0	12,4	10,1	9,5
	VAR	17137,7	9376,9	107,3	9,9	1,3	0,1
	DP	130,9	96,8	10,4	3,2	1,2	0,3
	CV (%)	147,4	98,4	45,0	25,4	11,5	3,4
Controle		214,0	12,6	9,0	8,5	8,3	7,6

Apesar da condutividade elétrica não ser influenciada pelo tratamento com *Moringa oleifera*, foram realizados o teste de Kruskal-Wallis para determinar a diferença entre os tratamentos. Independente da não influência da semente de *Moringa oleifera*, o tratamento T2 obteve redução mais efetiva, seguido do tratamento similar T3, T1, T4 e T5 (Figura 33).

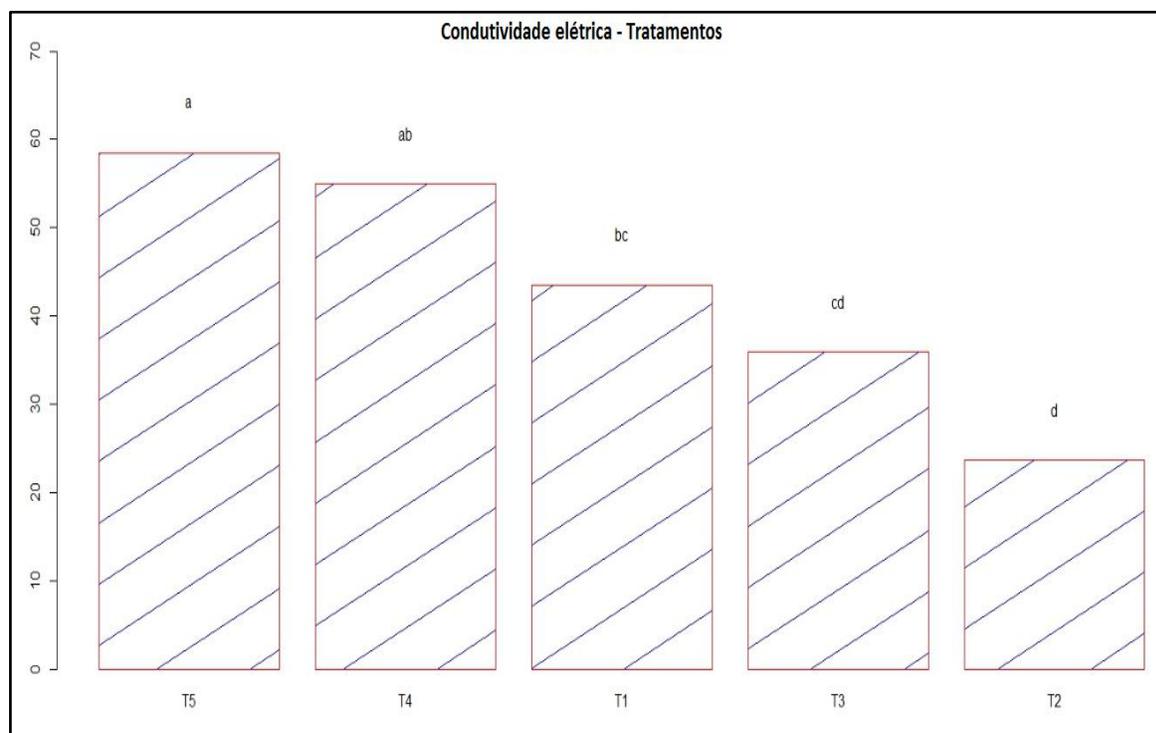


Figura 33: Comparação dos valores do teste de médias entre 5 diferentes meios filtrantes na redução da condutividade elétrica (Teste de Kruskal Wallis).

De modo geral, o tratamento filtro 10 não-tecido (T3) apresentou equivalência com o tratamento 5 não-tecido (T2) e 5 Pré-Filtro e não-tecido (T1), embora em relação aos valores, o tratamento T2 foi o que apresentou o melhor desempenho. Os tratamentos filtro de areia (T4) e areia+ não-tecidos (T5), assim como ocorreram para os outros parâmetros, foram os que menos acarretam a redução da condutividade elétrica.

Quando aplicado o teste de Kruskal-Wallis para comparar cada intervalo de tempo (Figura 34), o tratamento T2 obteve o melhor desempenho nas coletas iniciais. Nos intervalos finais de coleta, o melhor tratamento foi o T3, embora em alguns casos, esses tratamentos (T2 e T3) foram considerados equivalentes entre eles e o tratamento T1.

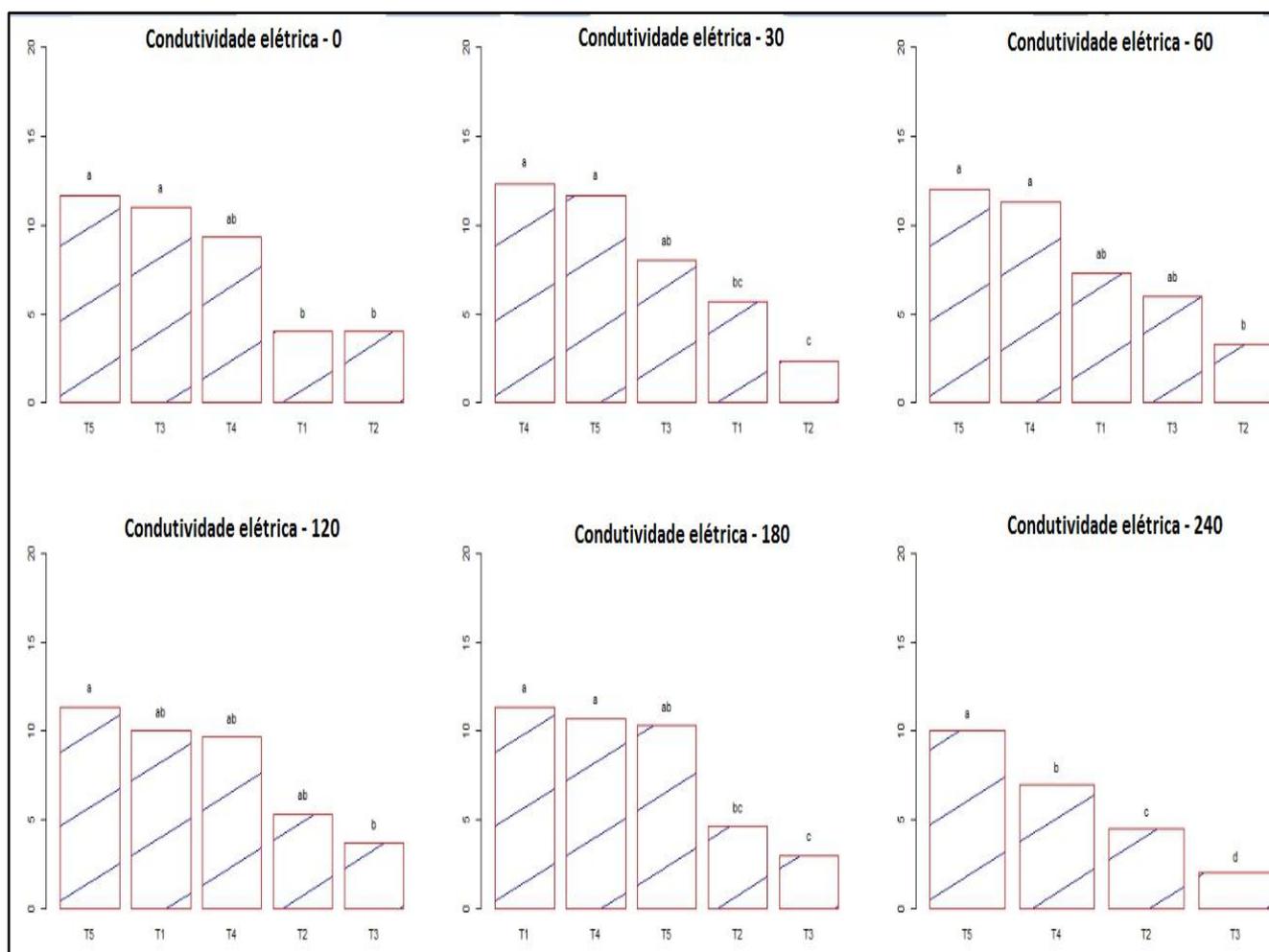


Figura 34: Comparação dos valores do teste de médias entre 5 diferentes meios filtrantes em cada intervalo de tempo na redução de condutividade elétrica (Teste de Kruskal Wallis), sendo que T1 no 240 minutos não foi representado por não haver vazão.

Como descrito anteriormente, a condutividade elétrica diminuiu ao longo do intervalo do tempo de coleta independente da adição do coagulante. Este foi o único parâmetro que não apresentou diferença em relação à aplicação do coagulante líquido. Na figura 35 visualiza-se o gráfico da redução de condutividade elétrica em todos os tratamentos, incluindo o ensaio controle.

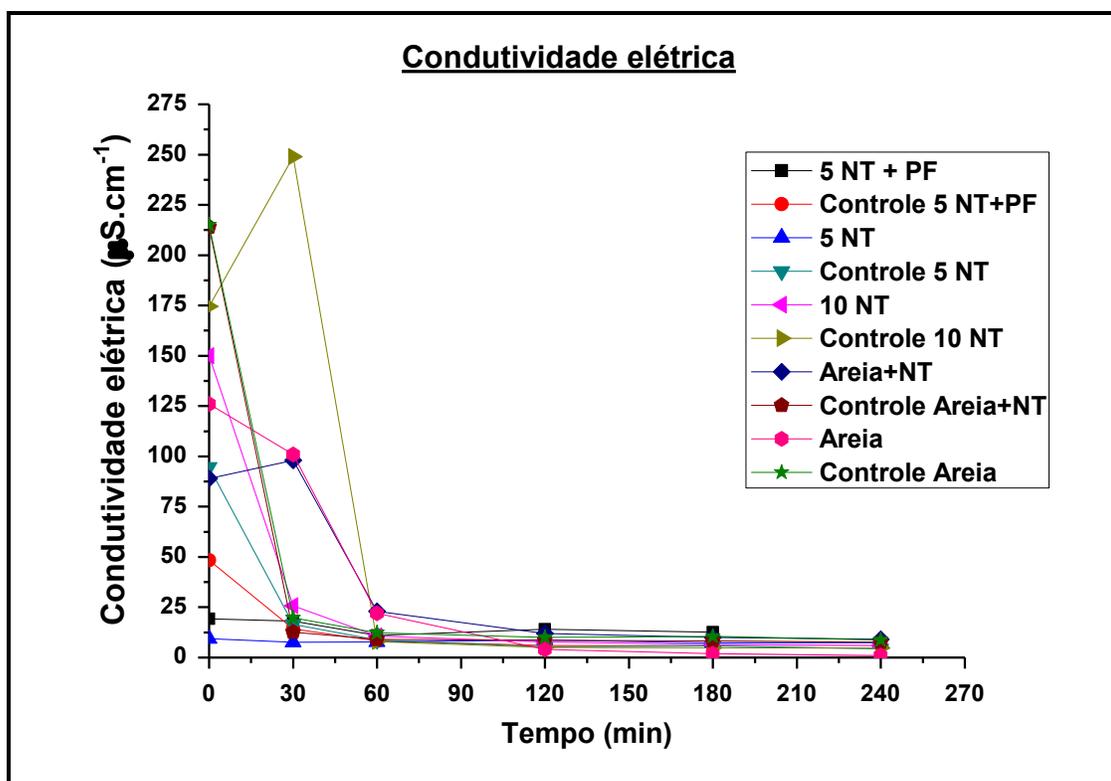


Figura 35: Valores de Condutividade Elétrica ao longo do tempo e ensaio controle.

A condutividade elétrica também apresentou redução para as amostras provenientes do filtro lento de areia ao longo dos 5 ensaios consecutivos (Tabela 24).

Tabela 24: Leituras de Condutividade elétrica para os tratamentos com filtros de areia.

Ensaio	Coleta (min)	AREIA + MANTA							AREIA						
		Rep 1	Rep 2	Rep 3	Méd	Var	DP	CV (%)	Rep 1	Rep 2	Rep 3	Méd	Var	DP	CV (%)
1°	0	12,1	14,5	240,0	88,9	17138,0	131,0	147	209,0	14,0	251,0	158,0	15.990,0	126,0	80
	30	48,6	36,6	210	98,4	9377,0	97,0	98	141,0	19,3	220,0	126,8	10.221,0	101,0	80
	60	26,3	11,4	31,3	23,0	107,0	10,0	45	54,9	10,6	34,2	33,2	490,0	22,0	67
	120	14,3	8,8	14,2	12,4	10,0	3,0	25	17,9	9,5	15,8	14,4	19,0	4,0	30
	180	11	8,8	10,6	10,1	1,0	1,0	11	7,9	9,2	12,4	9,8	6,0	2,0	24
	240	9,8	9,4	9,2	9,5	0,0	0,0	3	10,3	9,8	11,5	10,6	1,0	1,0	8
2°	0	10,4	13,4	11	11,6	2,0	2,0	13	11,9	12,1	12,5	12,2	0,0	0,0	3
	30	22,1	36,3	28	28,8	51,0	7,0	25	11,6	13,0	11,0	11,9	1,0	1,0	9
	60	12	9,5	10,6	10,7	1,0	1,0	11	9,8	9,4	11,2	10,1	1,0	1,0	9
	120	8,4	9,3	9,4	9,0	0,0	1,0	6	8,8	8,2	9,9	9,0	1,0	1,0	10
	180	8,1	7,7	9,6	8,5	1,0	1,0	12	8,7	8,1	10,2	9,0	1,0	1,0	12
	240	8,1	8,5	9,3	8,6	0,0	1,0	7	9,0	8,1	9,5	8,9	1,0	1,0	8
3°	0	11	8,2	11,6	10,3	3,0	2,0	18	11,7	8,3	10,6	10,2	3,0	2,0	17
	30	18,7	25,8	26,3	23,6	18,0	4,0	18	12,0	8,9	11,6	10,8	3,0	2,0	15
	60	9	11,4	11,6	10,7	2,0	1,0	13	9,8	12,3	9,5	10,5	2,0	2,0	14
	120	8,6	7,7	9,5	8,6	1,0	1,0	10	8,8	7,4	9,8	8,7	1,0	1,0	14
	180	8,8	7,1	9,2	8,4	1,0	1,0	13	8,3	7,1	9,0	8,1	1,0	1,0	12
	240	8,3	7	9,1	8,1	1,0	1,0	13	8,4	7,0	9,3	8,2	1,0	1,0	14
4°	0	10,1	9,6	8,8	9,5	0,0	1,0	7	10,3	8,7	9,6	9,5	1,0	1,0	9
	30	11,5	30,1	10,6	17,4	121,0	11,0	63	11,2	10,8	10,0	10,7	0,0	1,0	6
	60	12,8	9,7	7,7	10,1	6,0	3,0	25	9,2	8,3	8,0	8,5	0,0	1,0	7
	120	8,5	9	7,4	8,3	1,0	1,0	10	8,4	8,3	7,6	8,1	0,0	0,0	5
	180	8,3	8,3	7,6	8,1	0,0	0,0	5	10,2	8,2	7,6	8,7	2,0	1,0	16
	240	8	9	7	8,0	1,0	1,0	12	8,2	8,5	7,8	8,2	0,0	0,0	4
5°	0	11,7	8,8	9,1	9,9	3,0	2,0	16	11,1	9,6	9,3	10,0	1,0	1,0	9
	30	21,2	10,6	24,3	18,7	52,0	7,0	39	11,4	10,0	19,1	13,5	24,0	5,0	36
	60	10,1	7,7	9,4	9,1	1,0	1,0	13	10,0	8,0	9,0	9,0	1,0	1,0	11
	120	8,7	7,4	7,9	8,0	0,0	1,0	8	8,8	7,6	7,7	8,0	0,0	1,0	8
	180	8,2	7,6	7,3	7,7	0,2	0,4	6	8,2	7,6	7,4	7,7	0,2	0,4	6
	240	8,1	7	7,2	7,4	0,0	1,0	8	8,2	7,8	7,5	7,8	0,0	0,0	4

6.4 Análises de microesferas fluorescentes de poliestireno

A utilização das microesferas de poliestireno para o sistema de tratamento proposto mostrou que a aplicação do coagulante a base de sementes de *Moringa oleifera* influencia diretamente na qualidade da água para as etapas de filtração.

Durante a etapa de floculação/coagulação com os gradientes de mistura adequados, há formação de flocos por meio da aglutinação de partículas presentes na água. Juntamente com essas partículas, as microesferas ficaram aderidas na superfície do floco, e este retido no meio filtrante durante a etapa de filtração (Figura 36).

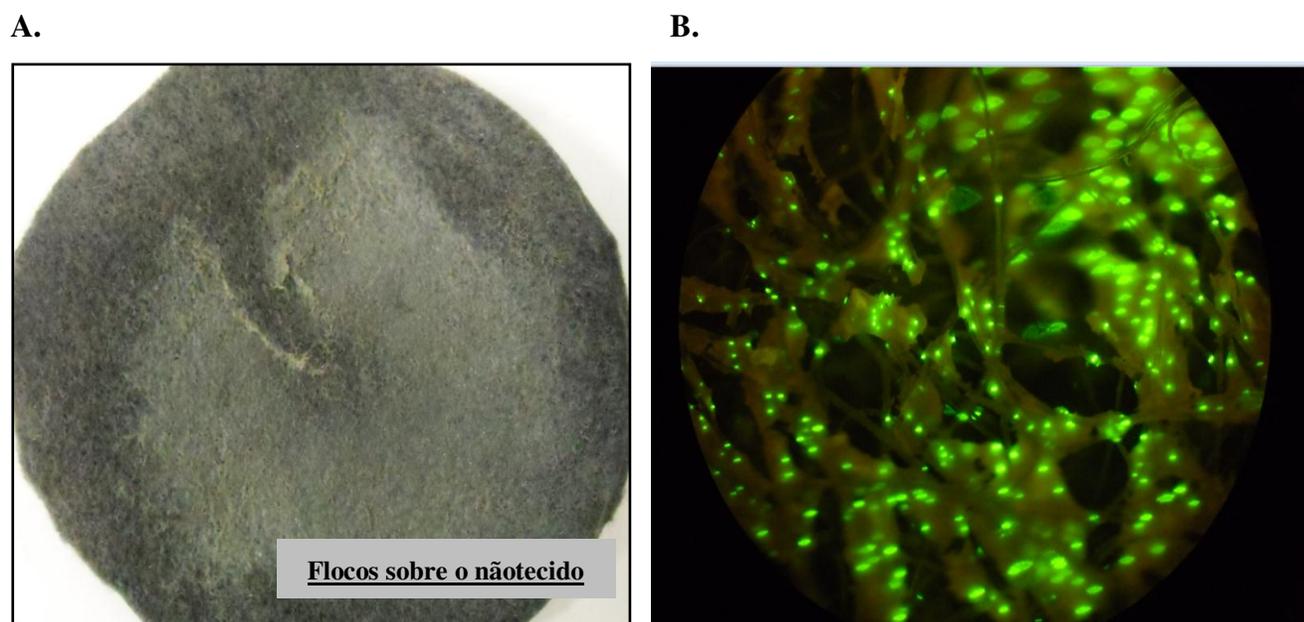
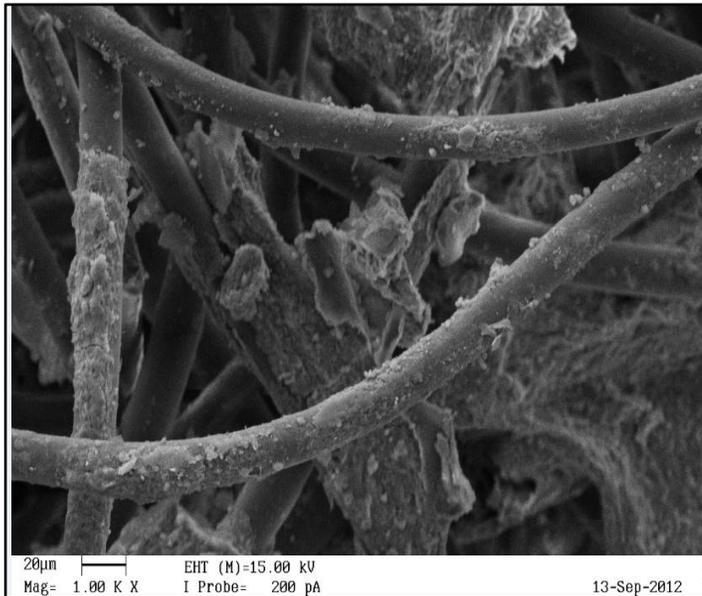


Figura 36: A. Nãotecido com flocos aderidos na superfície (Visualização à olho nu). B. Flocos e microesferas aderidos nos nãotecidos (Microscopia; aumento: 100x).

Na figura 37, é possível melhor visualizar por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) a adesão dos flocos nos fios do nãotecidos. Entretanto, nesta figura não foi possível visualizar as microesferas de poliestireno, devido as condições deste tipo de microscopia e a heterogeneidade da amostra.

A.



B.

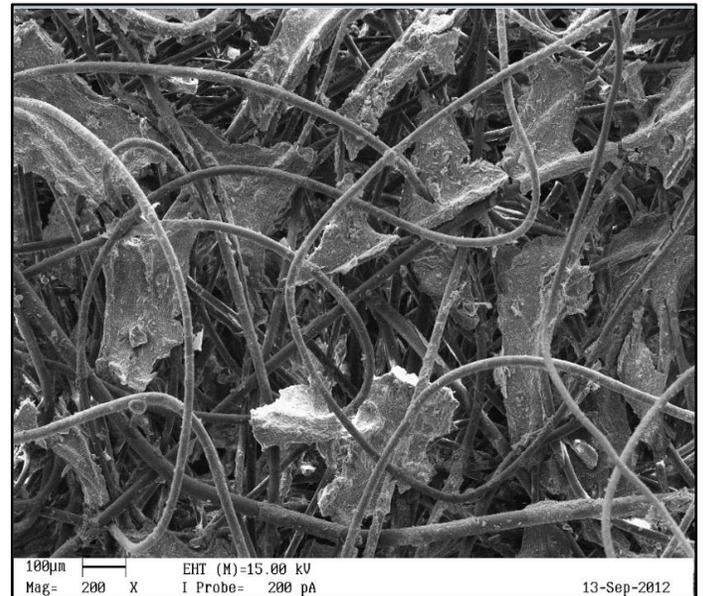


Figura 37: Flocos aderidos nos nãotecidos - A. (1000 x) e B. (200 x).

Foi possível visualizar na figura 37 a presença de flocos retidos nos fios dos nãotecidos. Sem a formação desses flocos, os fios do nãotecido apenas não são capazes de promover a retenção das microesferas. A *Moringa oleifera* mostrou ser o fator determinante para promover a aglutinação das microesferas nos flocos.

Quando são comparados os fios de nãotecidos sintéticos antes e após o tratamento com coagulante a base de *Moringa oleifera* (Figura 37), é possível confirmar que as substâncias aderidas nos fios correspondem aos flocos formados após o ensaio, visto que os fios que não foram submetidos a qualquer tratamento, não apresentam camadas aderidas em sua superfície (Figura 38).

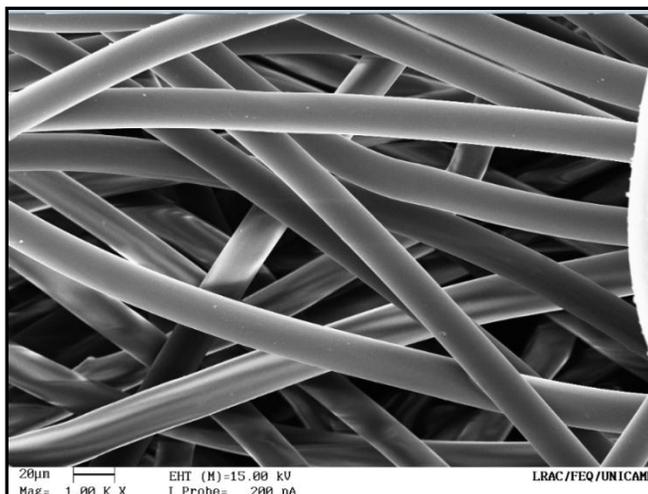


Figura 38: Fios dos não tecidos sintéticos limpos no aumento de 1000 x.

Patania e colaboradores (1995) examinaram a filtração convencional, filtração com baixa taxa superficial e de filtração em linha na escala piloto. Sem o processo de coagulação, a etapa de filtração apenas mostrou-se ineficaz na remoção de oocistos de *Cryptosporidium*.

Emelko *et al.* (2003) realizou a coagulação com sulfato alumínio seguida da filtração rápida com dupla e tripla camada para remoção de oocistos de *Cryptosporidium* spp.. Nesse estudo foi observado que filtração dependia diretamente do sucesso obtido pela etapa de coagulação. Quando a dosagem do coagulante foi aplicada corretamente, os autores observaram a remoção dos oocistos de *Cryptosporidium* spp..

Gitis (2008), também relatou a importância das condições otimizadas da coagulação para melhorar o desempenho da filtração. Desta forma durante o processo de filtração rápida foi possível atingir em água filtrada, turbidez de 0,3 NTU e reduzir a concentração de oocistos em pelo menos 3 log de remoção (99,9%). Em experimentos sem o processo coagulação ou com coagulante com a dosagem abaixo do nível ideal, os autores não observaram eficiência significativa durante a etapa de filtração.

Nem todos os coagulante são capazes de influenciar no comportamento e retenção dos oocistos. As propriedades eletrocinéticas de oocistos de *Cryptosporidium* spp. em contato com coagulantes sendo um a base de ferro, e o outro, de alumínio, foram estudadas por Bustamante *et al.* (2001). Os autores mostraram que o coagulante a base de ferro não alterou o potencial zeta e os oocistos apresentaram baixa adesão aos flocos. Já para o coagulante de alumínio resultou na alteração do potencial zeta e a formação do floco, permitindo que ocorresse a

interação com os oocistos. O mecanismo de floculação sugerido pelos autores foi o processo de neutralização de cargas.

A remoção de oocistos de *Cryptosporidium* e microesferas de poliestireno foram observadas por Bronw e Emelko (2009) onde foi verificada a influência de 3 diferentes coagulantes, quitosana, alumínio e cloreto férrico, seguido da filtração em linha. Os autores observaram que resultados foram semelhantes na remoção de microesferas e oocistos de *Cryptosporidium* spp. utilizando coagulantes a base de alumínio e ferro. No entanto, para quitosana não foi favorável a aplicação de microesferas de poliestireno.

Nesse estudo, embora não se tenha elucidado qual o mecanismo de coagulação realizado pela *Moringa oleifera* para promover a remoção de microesferas, acreditasse que tenha ocorrido a junção dos mecanismos de adsorção e neutralização de cargas. Desta forma, o mecanismo de coagulação da *Moringa oleifera* na remoção de microesferas pode ter ocorrido de forma similar ao coagulante a base de alumínio. Ndabigengesere *et al.* (1995), investigou o mecanismo de coagulação da *Moringa oleifera*, e verificou que tratava-se dos mecanismos de adsorção e neutralização de cargas.

Amagloh e Benang (2009), Ghebremichael, *et al.* (2005), Ndabigengesere e Narasiah (1998) e Ndabigengesere *et al.* (1995) mostraram em suas pesquisas que o coagulante a base de *Moringa oleifera* apresentou eficiência similar ao sulfato de alumínio na redução de turbidez.

Durante a visualização das lâminas de microscopia, não houveram dificuldades para a identificação e a contagem, visto que a fluorescência intensa das microesferas contribuiu para a realização desse procedimento, mesmo havendo impurezas que poderiam interferir nessa observação. Nas figuras 39 e 40 é possível observar imagens de duas lâminas, que mostram com e sem a presença de microesferas de poliestireno.

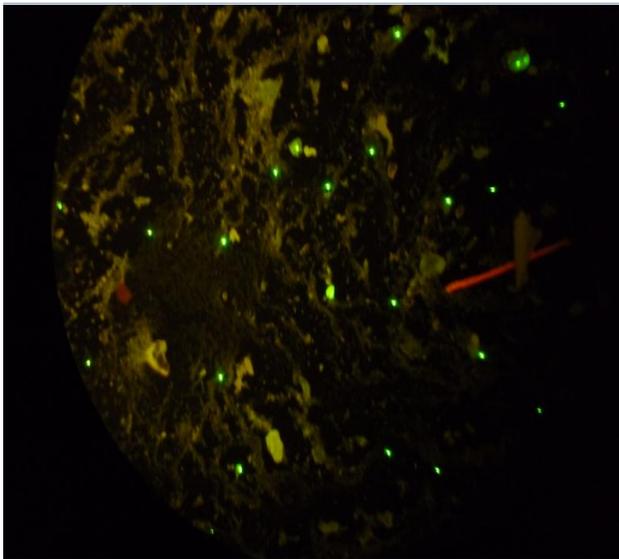


Figura 39: Presença de microesferas de poliestireno em lâmina.

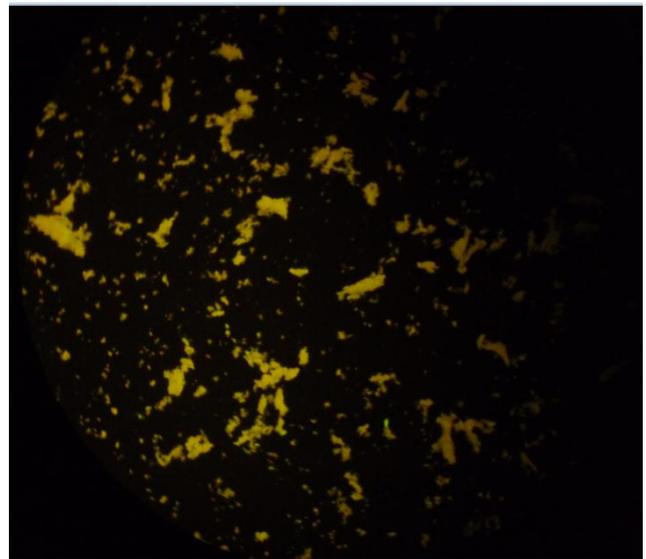


Figura 40: Ausência de microesferas de poliestireno em lâmina.

6.4.1 Microesferas de poliestireno – Filtro de nãotecidos sintéticos e 1º dia filtros areia

Assim como os outros parâmetros de qualidade de água, os dados de microesferas também foram divididos e analisados separadamente entre os sistemas de filtração com nãotecidos e o primeiro dia de ensaio com filtros de areia. Os 5 dias de tratamento com filtros de areia foram avaliados posteriormente.

Para os sistemas que empregaram o uso de nãotecidos sintéticos foi possível observar que houve redução de microesferas de poliestireno, obtendo eficiência de 99,95%. Entretanto, numa situação real não pode ser aceitável que oocistos de *Cryptosporidium* spp. ultrapassem barreiras de filtração, visto que há sérias consequências à saúde de humanos. As tabelas 25, 26 e 27 apresentam para cada intervalo de tempo coletado, os valores de microesferas visualizadas em lâminas e os valores convertidos em microesferas.L⁻¹.

Tabela 25: Valores de microesferas por Litro do tratamento Pré-Filtro e 5 nãotecidos.

Repetições	Tempo	Microesferas		Microesferas.L ⁻¹	Eficiência (%)
		Visualizadas	mL de coleta		
1	0	0	100	0	-
2	0	1	100	1000	-
3	0	2	100	2000	-
	Controle 0	45	100	45000	-
1	30	0	100	0	-
2	30	0	100	0	-
3	30	1	100	1000	-
	Controle 30	169	100	169000	-
1	60	1	100	1000	-
2	60	0	100	0	-
3	60	2	100	2000	-
	Controle 60	202	100	202000	-
1	120	0	100	0	-
2	120	0	100	0	-
3	120	4	100	4000	-
	Controle 120	117	100	117000	-
1	180	0	100	0	-
2	180	0	100	0	-
3	180	0	100	0	-
	Controle 180	130	100	130000	-
1	240	*	100	*	-
2	240	*	100	*	-
3	240	*	100	*	-
	Controle 240	*	100	*	-
1	T1	0	4000	0	100
2	T1	14	4000	350	99,83
3	T1	14	4000	350	99,83
	Controle T1	3078	4000	76950	61,52

Tabela 26: Valores de microesferas por Litro do tratamento 5 não tecidos.

Repetições	Tempo	Microesferas Visualizadas	mL de coleta	Microesferas.L ⁻¹	Eficiência (%)
1	0	1	100	1000	-
2	0	11	100	11.000	-
3	0	0	100	0	-
	Controle 0	65	100	65.000	-
1	30	0	100	0	-
2	30	0	100	0	-
3	30	1	100	1000	-
	Controle 30	130	100	130.000	-
1	60	0	100	0	-
2	60	5	100	5000	-
3	60	0	100	0	-
	Controle 60	79	100	79.000	-
1	120	0	100	0	-
2	120	0	100	0	-
3	120	0	100	0	-
	Controle 120	186	100	186.000	-
1	180	1	100	1.000	-
2	180	0	100	0	-
3	180	0	100	0	-
	Controle 180	111	100	111.000	-
1	240	2	100	2.000	-
2	240	0	100	0	-
3	240	0	100	0	-
	Controle 240	202	100	202.000	-
1	T2	4	4000	100	99,95
3	T2	11	4000	275	99,86
2	T2	58	4000	1.450	99,27
	Controle T2	10229	4000	255.725	-0,28

O coagulante contribuiu para diminuir, e em alguns casos reter por completo a presença de microesferas. Entretanto, o meio filtrante constituído apenas de camadas de não tecidos sintéticos apresentou falhas no meio filtrante, visto que não foi possível impedir por completo a passagem das microesferas nas amostras filtradas.

Tabela 27: Valores de microesferas por Litro do tratamento 10 nãotecidos.

Repetições	Tempo	Microesferas Visualizadas	mL de coleta	Microesferas.L ¹	Eficiência (%)
1	0	0	100	0	-
2	0	0	100	0	-
3	0	0	100	0	-
	Controle 0	75	100	75.000	-
1	30	0	100	0	-
2	30	0	100	0	-
3	30	4	100	4.000	-
	Controle 30	41	100	41.000	-
1	60	0	100	0	-
2	60	0	100	0	-
3	60	2	100	2.000	-
	Controle 60	123	100	123.000	-
1	120	2	100	2.000	-
2	120	2	100	2.000	-
3	120	1	100	1.000	-
	Controle 120	147	100	147.000	-
1	180	3	100	3.000	-
2	180	3	100	3.000	-
3	180	1	100	1.000	-
	Controle 180	115	100	115.000	-
1	240	0	100	0	-
2	240	0	100	0	-
3	240	0	100	0	-
	Controle 240	145	100	145.000	-
1	T3	18	4000	450	99,78
2	T3	38	4000	950	99,52
3	T3	43	4000	1.075	99,46
	Controle T3	11584	4000	289.6125	-0,45

Para os filtros que empregaram nãotecidos foi possível verificar a presença de microesferas em quase todos os intervalos de tempo. Entretanto para os ensaios controle, o número de microesferas foi muito elevado comparado com os ensaios que empregaram o coagulante a base de *Moringa oleifera*.

Os tratamentos empregando o uso de coagulante a base de sementes de *Moringa oleifera* seguida de filtração com filtros de areia apresentaram remoção total das microesferas no sistema de tratamento. As tabelas 28 e 29 mostram que não houve a presença de

microesferas em lâminas visualizadas tanto para o filtro com areia, como para o filtro que utiliza areia e não tecidos.

Tabela 28: Valores de microesferas por Litro do tratamento areia.

Repetições	Tempo	Microesferas Visualizadas	mL de coleta	Microesferas.L ⁻¹	Eficiência (%)
1	0	0	100	0	-
2	0	0	100	0	-
3	0	0	100	0	-
	Controle 0	0	100	0	-
1	30	0	100	0	-
2	30	0	100	0	-
3	30	0	100	0	-
	Controle 30	55	100	55000	-
1	60	0	100	0	-
2	60	0	100	0	-
3	60	0	100	0	-
	Controle 60	44	100	44000	-
1	120	0	100	0	-
2	120	0	100	0	-
3	120	0	100	0	-
	Controle 120	98	100	98000	-
1	180	0	100	0	-
2	180	0	100	0	-
3	180	0	100	0	-
	Controle 180	80	100	80000	-
1	240	0	100	0	-
2	240	0	100	0	-
3	240	0	100	0	-
	Controle 240	40	100	40000	-
1	T4	0	4000	0	100
2	T4	0	4000	0	100
3	T4	0	4000	0	100
	Controle T4	1660	4000	41500	79,25

Tabela 29: Valores de microesferas por Litro do tratamento areia+nãotecidos.

Repetições	Tempo	Microesferas Visualizadas	mL de coleta	Microesferas.L⁻¹	Eficiência (%)
1	0	0	100	0	-
2	0	0	100	0	-
3	0	0	100	0	-
	Controle 0	2	100	2000	-
1	30	0	100	0	-
2	30	0	100	0	-
3	30	0	100	0	-
	Controle 30	116	100	116000	-
1	60	0	100	0	-
2	60	0	100	0	-
3	60	0	100	0	-
	Controle 60	68	100	68000	-
1	120	0	100	0	-
2	120	0	100	0	-
3	120	0	100	0	-
	Controle 120	103	100	103000	-
1	180	0	100	0	-
2	180	0	100	0	-
3	180	0	100	0	-
	Controle 180	88	100	88000	-
1	240	0	100	0	-
2	240	0	100	0	-
3	240	0	100	0	-
	Controle 240	93	100	93000	-
1	T5	0	4000	0	100
2	T5	0	4000	0	100
3	T5	0	4000	0	100
	Controle T5	1717	4000	42925	78,54

Comparado com os nãotecidos, o ensaio controle da areia obteve um desempenho superior na redução de microesferas de poliestireno. O filtro de areia foi capaz de reduzir cerca de 100% de microesferas, enquanto que os filtros de nãotecido apresentou redução de 99% (2 log de remoção), na grande maioria dos pontos.

A filtração lenta aplicada com meio filtrante de areia nesta pesquisa apresentou redução completa de microesferas, sendo consideradas um excelente meio filtrante para reter

oocistos de *Cryptosporidium* spp.. No caso de filtros com nãotecidos, a redução mesmo não sendo completa apresentou valores consideráveis. Dependendo da taxa de aplicação e espessura da camada, a redução pode aumentar ainda mais.

Nos ensaios controles foi possível observar que o filtro que acompanhado do pré-filtro apresentou redução superior em relação aos filtros lentos que utilizaram apenas nãotecidos sintéticos. Aplicando os filtros de areia observou-se que os valores estão acima dos filtros de nãotecido. Entretanto, como não há adição de coagulante, os valores de redução foram muito inferiores comparados com os tratamentos que empregaram *Moringa oleifera*.

De acordo com estudos de Timms (1995), a filtração lenta com leito de areia foi capaz de reduzir 99,97% de oocistos de *Cryptosporidium* spp. e a maior parte dos oocistos identificados, retidos no meio filtrante, foram encontrados nas camadas superficiais da areia.

Para os filtros de nãotecidos, que não obtiveram remoção total de microesferas, e os filtros que utilizaram areia aplicou-se o modelo de Poisson Inflacionado de Zeros (ZIP). A partir desse modelo foi possível estimar valores próximos às formas visualizadas, e assim obter uma conversão, por meio da equação 5, o qual pode ser considerada mais coerente com o valor real.

A figura 41 mostra a distribuição dos valores observados e os valores estimados entre os dados de contagem observados. Essa distribuição tem como consequência a predição do modelo, porém nesta primeira distribuição não foram incluídas correlações entre as covariáveis tratamento e tempo. O modelo de Poisson Inflacionado de Zeros (ZIP) foi utilizado neste estudo justamente pela quantidade de zeros que foi observada ao longo das contagens. Por isso, o modelo é estimado em função da probabilidade de não haver formas visualizadas após a filtração, já que as contagens obtiveram uma grande quantidade de “zeros” (0).

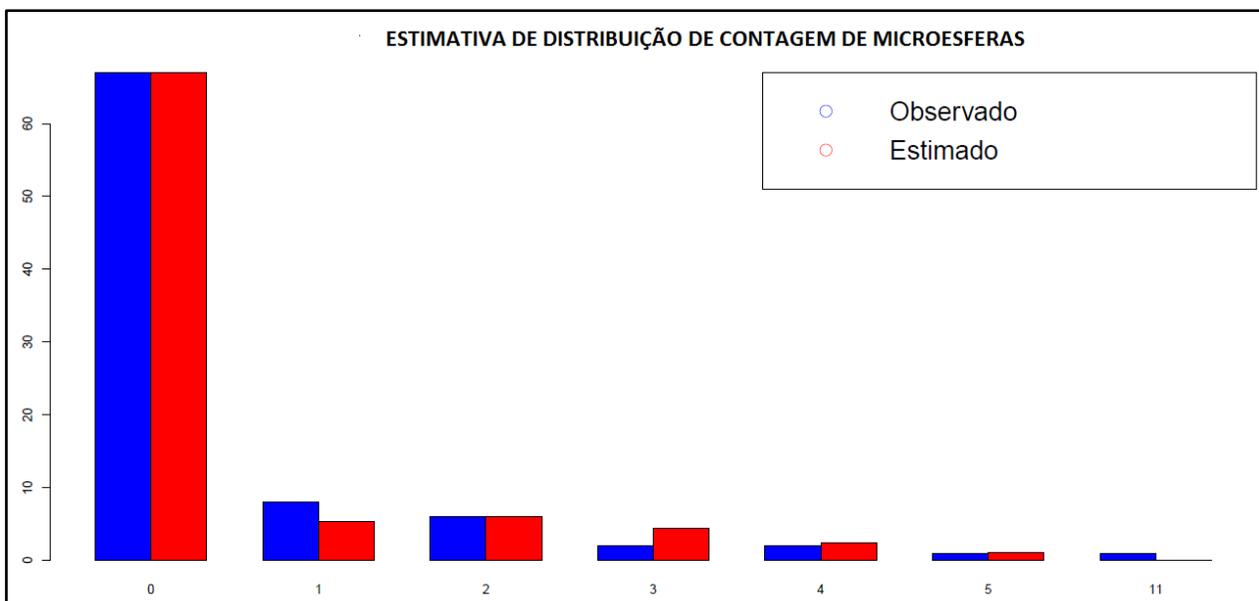


Figura 41: Distribuição da estimativa de contagem para valores observados.

Como observado na figura 40, a estimativa de contagem para a grande maioria dos pontos ficou muito próxima aos valores observados. A partir dessa estimativa foi possível obter os resultados do ajuste do modelo de Poisson Inflacionado de Zero (ZIP), incluindo as co-variáveis de tratamento e de tempo. A tabela 30 mostra os resultados dos valores estimados no modelo para cada tratamento, e a tabela 31 para o tempo.

Tabela 30: Valores estimados de microesferas.L⁻¹ no modelo ZIP para cada tratamento.

Tratamento	Valores		Limite Inferior	Microesfera.L ⁻¹		Limite Superior	Microesferas.L ⁻¹ Lim.Superior
	Estimados	Microesferas.L ⁻¹		Lim.Inferior	Superior		
Tratamento 1	2,0445	51,1129	0,9849	24,6217	4,2443	4244	
Tratamento 2	2,5620	64,0502	1,2200	30,5002	5,3802	5380	
Tratamento 3	2,1019	52,5477	0,9808	24,5198	4,5045	4505	
Tratamento 4	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,000	
Tratamento 5	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,000	

Tabela 31: Valores estimados de microesferas.L⁻¹ no modelo ZIP para cada Tempo.

Tempo	Valores estimados	Microesferas. L⁻¹	Limite Inferior	Microesferas.L⁻¹ Lim.Inferior	Limite Superior	Microesferas. L⁻¹ Lim. Superior
Tempo 0	2,0445	2045	0,9849	99	4,2443	4243
Tempo 30	0,3936	394	0,1885	189	0,822	822
Tempo 60	0,679	679	0,2859	286	1,6123	1612
Tempo 120	0,5368	537	0,1384	138	2,0817	2082
Tempo 180	0,3773	377	0,1618	162	0,8798	8818
Tempo 240	0,1597	160	0,0819	81,9	0,3111	311

A partir dos valores estimados, observados nas tabelas 30 e 31 do modelo de Poisson Inflacionado de Zeros (ZIP), para os tratamentos e os tempos, respectivamente, foi possível criar uma interação entre as co-variáveis (tratamento e tempo). Essa interação, tratamento x tempo, pode ser visualizada na tabela 32, que demonstra a junção das linhas verticais (tratamento) com as linhas horizontais (tempo). Desta forma aplicou-se o modelo ZIP gerando valores para a tabela 33. Ao final tem-se como resposta o efeito de cada combinação dessa interação.

Tabela 32: Combinação da interação Tratamento x Tempo para modelo ZIP.

Tratamentos	Tempo (minutos)					
	0	30	60	120	180	240
T1	T1 0	T1 30	T1 60	T1 120	T1 180	T1 240
T2	T2 0	T2 30	T2 60	T2 120	T2 180	T2 240
T3	T3 0	T3 30	T3 60	T3 120	T3 180	T3 240
T4	T4 0	T4 30	T4 60	T4 120	T4 180	T4 240
T5	T5 0	T5 30	T5 60	T5 120	T5 180	T5 240

Aplicando a equação do modelo para cada interação tratamento x tempo, iniciando pelo intercepto “T1 x 0” (T1 versus 0) foi possível obter os valores gerados na tabela 33, e desta maneira estimar por meio da interação, os valores de formas visualizadas em lâmina.

Tabela 33: Valores estimados pelo modelo ZIP da interação Tratamento x Tempo

<u>Tratamentos</u>	<u>Tempo (minutos)</u>					
	0	30	60	120	180	240
T1	2,04	0,8047	0,8549	1,0977	0,7714	0,3264
T2	5,2383	2,0616	3,5566	2,8123	1,9762	0,8364
T3	4,2974	1,6913	2,91	2,31	1,6213	1,8651
T4	$3,36 \times 10^{-12}$	$9,30 \times 10^{-13}$	$1,60 \times 10^{-12}$	$1,27 \times 10^{-12}$	$8,92 \times 10^{-12}$	$1,03 \times 10^{-12}$
T5	$3,36 \times 10^{-12}$	$9,30 \times 10^{-13}$	$1,60 \times 10^{-12}$	$1,27 \times 10^{-12}$	$8,92 \times 10^{-12}$	$1,03 \times 10^{-12}$

Observando a tabela 33 foi possível notar a partir da aplicação do modelo, que os tratamentos T4 e T5, que aplicaram filtros de areia, obtiveram valores muito próximos de 0. Neste caso, a probabilidade de ser visualizada alguma forma em lâmina para esses dois tratamentos, é muito pequena em relação aos outros tratamentos que empregaram o uso de não tecidos. Aplicando a equação 5, é possível converter os valores observados na tabela 33 em termos de $\text{microesferas.L}^{-1}$, gerando neste caso a tabela 34.

Tabela 34: Valores convertidos em $\text{microesferas.L}^{-1}$ da interação Tratamento x Tempo.

<u>Tratamentos</u>	<u>Tempo (minutos)</u>					
	0	30	60	120	180	240
T1	2040	805	855	1098	771	326
T2	5238	2062	3557	2812	1976	836
T3	4297	1691	2910	2310	1621	1865
T4	$3,36 \times 10^{-9}$	$9,30 \times 10^{-10}$	$1,60 \times 10^{-9}$	$1,27 \times 10^{-9}$	$8,92 \times 10^{-9}$	$1,03 \times 10^{-9}$
T5	$3,36 \times 10^{-9}$	$9,30 \times 10^{-9}$	$1,60 \times 10^{-9}$	$1,27 \times 10^{-9}$	$8,92 \times 10^{-9}$	$1,03 \times 10^{-9}$

A partir dos valores convertidos na tabela 34 foi possível notar que o filtro T3, composto por 10 camadas de não tecidos, foi o que obteve menor desempenho na filtração para redução de microesferas de poliestireno. Isso ocorreu possivelmente devido o número de camadas ser um pouco mais elevado que nos outros filtros, fazendo com que ocorresse deformações no posicionamento dessas camadas nos filtros. As características dos não tecidos

não permite modelar muitas camadas, e por isso a água filtrada deve ter realizado caminhos preferenciais, e desta forma não passando por todas as camadas de nãotecidos.

Emelko (2005) descreve a ocorrência de caminhos preferenciais de fluxo, conhecidos também como “buracos de minhocas”. Esse problema pode acarretar na diminuição significativa da ligação da partícula ao meio filtrante, fazendo com que a capacidade do leito filtrante diminua.

O tratamento T2, que empregou 5 camadas de nãotecidos, foi o segundo meio filtrante que apresentou menos eficiência no tratamento. Já o tratamento T1, que empregou o uso do pré-filtro, apresentou o melhor desempenho na retenção de microesferas de poliestireno, embora tenha ocorrido a visualização em lâmina. O Pré-filtro contribuiu para reter a grande maioria dos flocos ao longo da filtração, e mesmo assim não interrompeu a ação do filtro com nãotecidos.

Os tratamentos que empregaram filtros de areia foram considerados os mais promissores na retenção de microesferas de poliestireno no sistema de tratamento. Além de não terem sido observadas microesferas em lâminas, o modelo também estimou que seria muito baixa a possibilidade das microesferas ultrapassarem as barreiras de filtração durante o tratamento.

6.4.2 Microesferas de poliestireno na filtração com meio filtrante de areia

Ao contrário do sistema de filtração empregando como meio filtrante nãotecidos, o uso da areia mostrou-se eficiente na retenção de microesferas de poliestireno. Observando todos os pontos de leitura das amostras que passaram pelos dois filtros de areia obteve-se retenção de 100% das microesferas de poliestireno para os 5 dias seguidos nos quais aplicou-se o tratamento.

Os filtros lentos de areia são amplamente recomendados quando acompanhados por nãotecidos sintéticos no topo da camada do meio filtrante, já que segundo Paterniani (1991), apresenta a vantagem da formação da camada “schumustdache” (comunidade microbiológica), que contribui juntamente com as partículas retidas no meio filtrante o desempenho dos filtros.

Para este estudo, mesmo os dois filtros de areia que apresentaram eficiência de 100%, o tratamento mais adequado seria a combinação do uso de nãotecido com areia. Em um

sistema real, juntamente com essa camada biológica formada, os flocos de *Moringa oleifera* podem ficar retidos na camada e desta forma facilitando a limpeza do sistema, uma vez que é possível conservar a lavagem da areia por mais tempo, e desta forma havendo menos risco de contaminação.

Em razão do número de repetições serem limitados neste trabalho, para confirmar a efetividade do tratamento seria necessário obter um maior número de repetições para tornar-se mais representativo para uma população maior de amostragem.

De qualquer forma, também é importante salientar que este estudo foi aplicado para uma característica específica de areia, cujo teste de granulometria determinou condições ideais, que limitam para este uso específico, já que o estudo mostrou que esse meio filtrante obteve eficiência considerável no tratamento. Por isso, é necessário avaliar outros sistemas de filtração com areia.

James e Amburgey (2011) investigaram filtros de areia, com e sem complementação de perlita para avaliar o desempenho da filtração de águas de piscinas na remoção de oocistos de *Cryptosporidium*spp. utilizando microesferas de poliestireno. Os resultados mostraram que sem a perlita, o meio filtrante de areia obteve eficiência de apenas 19%, e na adição de perlita, essa eficiência atingiu 98%. Isso comprova o quanto é importante não considerar apenas a areia, e sim realizar ensaios de granulometria para adequar a areia nas características recomendadas para determinar o tratamento de água.

7. CONCLUSÕES

A partir do estudo da avaliação do sistema de tratamento empregando o uso do coagulante natural a base de sementes de *Moringa oleifera* seguida de filtração com filtros de não tecidos sintéticos e areia para a retenção de microesferas de poliestireno, que simulam os oocistos de *Cryptosporidium* spp., foi possível obter as seguintes conclusões:

- A solução coagulante a base de *Moringa oleifera* é eficiente para contribuir na redução de microesferas de poliestireno em sistemas de filtração lenta. Sem a aplicação dessa solução coagulante os filtros não apresentam a capacidade de reter essas microesferas e conseqüentemente oocistos de *Cryptosporidium* spp.
- O sistema de filtração lenta com não tecidos sintéticos apresentaram eficiência significativa, embora principalmente nos pontos iniciais de coleta tenha ocorrido a passagem de microesferas no filtro lento. De qualquer forma, o floco formado pelo coagulante aderiu na superfície dos fios de mantas retendo grande parte dessas microesferas. Entretanto, em condições reais não é recomendado que esses oocistos ultrapassem as barreiras de tratamento.
- Os filtros com meio filtrante de areia e areia com manta mostraram-se promissores no tratamento empregando a retenção de microesferas de poliestireno simulando oocistos de *Cryptosporidium* spp. Houve retenção de 100% de microesferas de poliestireno.
- Os 5 ensaios sequenciais de areia foram essenciais para mostrar uma pequena fase do amadurecimento dos filtros lentos, devido a redução da turbidez ao longo do tempo, e a eficiência de 100% mantida na remoção de microesferas.
- Os parâmetros físico-químicos contribuíram para demonstrar o desempenho do tratamento com o uso do coagulante a base de *Moringa oleifera*, embora a leitura de condutividade elétrica tenha apresentado diminuição ao longo do tempo, mesmo para os ensaios controles (sem aplicação do coagulante).
- O uso de microesferas de poliestireno demonstrou-se viável para perfis investigativos de *Cryptosporidium* spp. para avaliar a eficiência de qualquer tratamento. As vantagens em relação a visualização em lâminas e a não adição de reagentes para detecção torna a avaliação do tratamento mais rápida e prática.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHMAD, R.A.; LEE, E.; TAN, I.T.L.; MOHAMAD-KAMEL, A.G. Occurrence of *Giardia* cysts and *Cryptosporidium* oocysts in raw and treated water from two water treatment plants in selangor, Malaysia. **Water Research**, 31 (2): 3131-3136, 1997.

AMAGLOH, F. K.; BENANG, A. **Effectiveness of *Moringa oleifera* seed as coagulant for water purification**. African Journal of Agricultural Research, Vol. 4(1), p. 119-123, 2009.

AMARAL, L.A.; ROSSI JUNIOR, O.D.; SOARES E BARROS, L.S.; NUNES, A.P. Tratamento alternativo da água utilizando extrato de semente de *Moringa oleifera* e Radiação Solar. **Arquivos do Instituto Biológico**, 73 (3): 287-293, 2006.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA). **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 21ª Ed. Washington: APHA, AWWA, WEF, 2005.

ARANTES, C.C.; **Utilização de coagulantes naturais à base de sementes de *Moringa oleifera* e Tanino como auxiliares da filtração em mantas não tecidas**. 2009. 109p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, 2010.

ANWAR, F.; LATIF, S.; MUHANNAD, A.; GILANI, A.H. *Moringa oleifera*: A food plant with multiple medicinal uses. **Phytotherapy Research**, 21: 17-25, 2007.

BAEZA, C.; DUCOSTE, J. A non-biological surrogate for sequential disinfection processes. **Water Research**, 38 (14-15): 3400-3410, 2004.

BANDYOPADHYAY, K.; KELLAR, K.L.; MOURA, I.; CAROLLO, M.C.C.; GRACZYK, T.K.; SLEMENDA, S.; JOHNSTON, S.P.; da SILVA, J. Rapid Microsphere assay for identification of *Cryptosporidium hominis* and *Cryptosporidium parvum* in stool and environmental samples. **Journal of Clinical Microbiology**, 45 (9): 2835-2840, 2007.

BEAVERS, P.D. e TULLY, I.K. Nutrient reduction evaluation of sewage effluent treatment options for small communities. **Water Science and Technology**, v. 51, n.10, p. 221-229, 2005.

BELTRÁN-HEREDIA, J. e SÁNCHEZ-MARTIN, J. Improvement of water treatment pilot plant with *Moringa oleifera* extract as flocculant agent. **Environmental Technology**, 30 (6): 525-534, 2009.

BETANCOURT, W.Q.; ROSE, J.B. Drinking water treatment process for removal of *Cryptosporidium* and *Giardia*. **Veterinary Parasitology**, 126 (1-2): 219-234, 2004.

BEZERRA, A.M.E.; MOMENTÉ, V.G.; MEDEIROS FILHO, S. Germinação de sementes e desenvolvimento de plântulas de moringa (*Moringa oleifera* Lam.) em função do peso da semente e do tipo de substrato. **Revista Horticultura Brasileira**, 22 (2): 295-299, 2004.

BOHNING, D. Zero-inflated Poisson models and C. A. MAN: A tutorial collection of evidence. **Biometrical Journal**, 40 (7): 833–843, 1998.

BOHNING, D.; DIETZ, E.; SCHLATTMANN, P.; MENDONCA, L.; KIRCHNER, U. The Zero-inflated Poisson model and the decayed, missing and filled teeth index in dental epidemiology. **Journal of the Royal Statistical Society. Series A (Statistics in Society)**, 162 (2):195–209, 1999.

Brasil. Ministério da Saúde. **Portaria nº 2914, de 12 de Dezembro de 2011**. Publicada no D.O.U. Nº 239, Seção 1, página 39 de 14/12/2011. Brasília. 2011.

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

BRUSH, C.F.; WALTER, M.F.; ANGUISHI, L.J.; GHIORSE, W.C. Influence of pretreatment and experimental conditions on electrophoretic mobility and hydrophobicity of *Cryptosporidium parvum* oocysts. **Applied and Environmental Microbiology**, 64 (11): 4439-4445, 1998.

BUSTAMANTE, H.A.; SHANKER, S.R.; PASHLEY, R.M.; KARAMAN, M.E. Interaction between *Cryptosporidium* oocysts and water treatment coagulants. **Water Research**, 35 (13): 3179-3189, 2001.

CAMPOS, L.C.; SU, M.F.J.; GRAHAM, N.J.D. e SMITH, S.R. Biomass development in slow sand filters **Water Research** v. 36, n. 18, p. 4543-4551, 2002.

CANTUSIO NETO, R. & FRANCO, R.M.B. - Ocorrência de oocistos de *Cryptosporidium* spp. e cistos de *Giardia* spp. em diferentes pontos do processo de tratamento de água, em Campinas, São Paulo, Brasil. **Higiene Alimentar**, 18 (118): 52-59, 2004.

CERQUEIRA, D.A. **Remoção de oocistos de *Cryptosporidium parvum* e de indicadores no tratamento de água por ciclo completo, filtração direta descendente e dupla filtração, em escala piloto**. 2008.194p. Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, 2008.

CHEN, C.Y. e LU, C.J. Characterization of natural organic matters effect on the biodegradation in the slow sand filter. **Journal of Environmental Biology**, v. 25, n 4, p. 477-483, 2004.

CONOVER, W. J. **Practical Nonparametric Statistics**. 3.ed. Wiley, 1999. 584p.

CURRENT, W.L.; GARCIA, L. Cryptosporidiosis. **Clinical Microbiology Review**, 4 (3): 325-358, 1991.

DAÍ, X.; HOZALSKI, R.M.; EValuation of microspheres as surrogates for *Cryptosporidium parvum* oocysts in filtration experiments. **Environmental Science and Technology**, 37 (5):1037-1042, 2003.

DAWSON, D. Foodborne protozoan parasites. **International Journal of Food Microbiology**, 103: 207-227, 2005.

DI BERNARDO, L. **Métodos e Técnicas de Tratamento de Água**. v. 2. 1ed.: Rio de Janeiro: ABES, 1993.

DI BERNARDO, L.; BRANDÃO, C.S.S.; HÉLER, L. Tratamento de Águas de Abastecimento por Filtração Em Múltiplas Etapas. 1. ed. Rio de Janeiro: **PROSAB-ABES**, 1999. 114 p.

DÍAZ, F.R.; LÓPEZ, F.J.B. **Bioestatística**. 1.ed. Thomson Learning, 2007. 284p.

DUFFY, G.; MORIARTY, E.M. *Cryptosporidium* and its potential as a foodborne pathogen. **Animal Health Research Review**, 4 (2): 95-107, 2003.

EMELKO, M. B.; DOUGLAS, I. P.; VAN DEN OEVER, J. Assessing *C. parvum* removal by filtration using pilot- and full-scale microsphere removal data. In: WATER QUALITY TECHNOLOGY CONFERENCE, Nashville, USA. Proceedings... **Nashville, USA: AWWA**, 2001.

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

EMELKO, M.B.; HUCK, P.M.; COFFEY, B.M. A review of *Cryptosporidium* removal by granular media filtration. **Journal of American Water Works Association**, 97 (12): 101-115, 2005.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - E.P.A. Method 1623: *Cryptosporidium* and *Giardia* in water by filtration/IMS.FA. Washington, U.S. Environmental Protection Agency, 1999. (EPA 821 R99 - 006 April).

ETHELBERG, S.; LISBY, M.; VESTERGAARD, L.S; ENEMARK, H.L.; OLSEN, K.E.P.; STENSVOLD, C.R.; NIELSEN, H.V.; PORSBO, L.J.; PLESNER, A.M.; MOLBAK, K. A foodborne outbreak of *Cryptosporidium hominis* infection. **Epidemiology Infection.**, 137 (3): 348-356, 2009.

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

FERRAZ, C.F.; PATERNIANI, J.E.S. Redução da espessura da camada suporte através da substituição por nãotecidos sintéticos na filtração lenta de águas de abastecimento. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, 7 (1): 8-15, 2002.

FRANCO, M. **Uso de coagulante extraído de sementes de *Moringa oleifera* como auxiliar no tratamento de água por filtração em múltiplas etapas**. 2010. 90 p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, 2010.

FRANCO, R.M.B.; SANTOS, L.U. Criptosporidiose. In: Vicente Amato Neto; Ronaldo Cesar Borges Gryschek; Valdir Sabbaga Amato; Felipe Francisco Tuon. (Org.). **Parasitologia: uma abordagem clínica**. 1ª ed. v. 01, p. 59-65. São Paulo: Editora Elsevier, 2008.

FRANCO, R.M.B.; ROCHA-EBERHARDT, R.; CANTUSIO NETO R. Occurrence of *Cryptosporidium* oocysts and *Giardia* cysts in raw water from the Atibaia River, Campinas, Brazil. **Revista do Instituto de Medicina Tropical de São Paulo**, 43: 109-111, 2001.

FUMES, G. **Uso de modelos inflacionados de zeros na análise de questionários de frequência alimentar**. 2009. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de São Paulo - UNESP, 2009.

GAJADHAR, A.A.; ALLEN, J.R. Factors contributing to the public health and economic importance of waterborne zoonotic parasites. **Veterinary of Parasitology**, 126 (1-2): 3-14, 2004.

GAMBA, R.C.; CIAPINA, E.M.P.; ESPÍNDOLA, R.S.; PACHECO, A.; PELLIZARI, V.H. Detection of *Cryptosporidium* spp. Oocysts in groundwater for human consumption in Itaquaquecetuba city. **Journal of Microbiology**, v. 31, p. 151-153, 2000.

GASSENSCHMIDT, U.; JANY, K.K.; TAUSCHER, B.; NIEBERGALL, H.; Isolation and characterization of a flocculation protein from *Moringa oleifera* Lam. **Biochemical et Biophysica Acta**, 1243, 477-481,1995.

GITIS, G. Rapid sand filtration of *Cryptosporidium parvum*: effects of media depth and coagulation. **Water Science & Technology: Water Supply – WSTWS**, 8 (2): 129-134, 2008.

GHEBREMICHEL, K.A.;GUNARATNA, K.R.; HENRIKSSON, H.; BRUMER, H.; DALHAMMAR, G. A simple purification and activity assay of the coagulante protein from *Moringa oleifera* seed. **Water Research**, 39: 2338-2344, 2005.

GHEBREMICHAEL, K. A. ***Moringa* seed and pumice as alternative natural materials for drinking water treatment**. 2004. 56 p. KTH Land and Water Resources Engineering.

GREBREMICHAEL, K.A.; GEBREMEDHIN, N.; AMY, G. Performance of *Moringa oleifera* as a biosorbent for chromium removal, **Water Science and Technology**, 62 (5):1106 - 1111, 2010.

GUY, R. A.; PAYMENT, P.; KRULL, U.J.; HORGEN, P.A. Real-Time PCR for

Quantification of *Giardia* and *Cryptosporidium* in Environmental Water Samples and Sewage. **Applied and Environmental Microbiology**, 69(9): 5178–5185, 2003.

HARVEY, R.W., METGE, D.W., SHAPIRO, A.M., RENKEN, R.A., OSBORN, C.L., RYAN, J.N., CUNNINGHAM, K.J., AND LANDKAMER, L. Pathogen and Chemical Transport in the Karst Limestone of the Biscayne Aquifer: 3. Use of Microspheres to Estimate the Transport Potential of *Cryptosporidium parvum* oocysts. **Water Resources Research**, 44 (W08431): 12p., 2008.

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.

HELLER, L.; MARTINS VIEIRA, M.B.C.; DE BRITO, L.L.A. e SALVADOR, D.P. Desempenho da filtração lenta em areia submetida a cargas de pico de oocistos de *Cryptosporidium* spp., bactérias e sólidos: uma avaliação em instalação piloto. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, 11 (1): 27-38, 2006.

HIJNEN, W.A.M.; DULLEMONT, Y.J.; SCHIJVEN, J.F.; HANZENS-BROUWER, A.J.; ROSIELLE, M.; MEDEMA, G. Removal and fate of *Cryptosporidium parvum*, *Clostridium perfringens* and small-sized centric diatoms (*Stephanodiscus hantzschii*) in slow sand filters. **Water Research**, 41:2151-2162, 2007.

HSU, B.; YEH, H. Removal of *Giardia* and *Cryptosporidium* in drinking water treatment: a pilot-scale study. **Water Research**, 37: 1111-1117, 2003.

JAMES, E. AMBURGEY, PhD. Removal of *Cryptosporidium*-Sized Polystyrene Microspheres from Swimming pool water with a sand filter with and without added perlite filter media. **Journal of Environmental Engineering**, 137 (12): 1205-1208, 2011.

KARAMAN, M.E.; PASHLEY, R.M.; BYSTAMANTE, H.; SHANKER, S.R. Microelectrophoresis of *Cryptosporidium parvum* oocysts in aqueous solutions of inorganic and surfactant cations colloids surf. **Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**, 146: 217-225, 1999.

KORICH, D.G.; MEAD, J.R.; MADORE, M.S.; SINCLAIR, N.A.; STERLING, C. R. Effects of ozone, chlorine dioxide, chlorine, and monochloramine on *Cryptosporidium parvum* oocyst viability. **Applied and Environmental Microbiology**, 56: 1423–1428, 1990.

KOSEK, M.; ALCANTARA, C.; LIMA, A.A.; GUERRANT, R.L. Cryptosporidiosis: an update. **The Lancet Infectious Diseases**, 1 (4): 262-269, 2001.

LAMBERT, D. Zero-inflated Poisson regression, with an application to defects in manufacturing. **Technometrics**, 34 (1), 1–14, 1992.

LONDE, L.R. e PATERNIANI, J.E.S. Filtração lenta para reutilização de água em irrigação. **Irriga**, 8 (1):10-20, 2003.

LOWRY, O. H.; ROSEBROUGH, N. J.; FARR, A. L.; RANDALL, R. J. Protein measurement with the folin phenol reagent. **Journal Biological Chemistry**, 193, p. 265-275, 1951.

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.; DAVIS, J.P. A massive outbreak in Milwaukee of *Cryptosporidium* infection transmitted through the public water supply. **The New Engl. J. Med.** 331 (3): 161-167, 1994.

MADRONA, G.S.; SERPELLONI, G.B.; SALCEDO, A.M.; NISHI, L.; CARDOSO, R.B. "Study of the effect of saline solution on the extraction of of *Moringa oleifera* seed's active component for water treatment". **Water Air Soil Pollution**, 2009.

MARIÑAS, B.J.; RENNECKER, J.L.; TEEFY, S.; RICE, E.W. Assessing ozone disinfection with nonbiological surrogates. **Journal of American Water Works Association**, 91 (9), 1999.

MC EVOY, J.M; DUFF, G.; MORIARTY, E.M.; LOWERY, C.J.; SHERIDAN, J.J. BLAIR, I.S.; MC DOWELL, D.A. The prevalence and characterisation of *Cryptosporidium* spp. in beef abattoir water supplies. **Water Research**, 39: 3697-3703, 2005.

METGE, D.W.; HARVEY, R.W.; ANDERS, R.; ROSENBERRY, D.O.; SEYMOUR, D.; JASPERSE, J. Use of carboxylated microspheres to assess transport potential of *Cryptosporidium parvum* oocysts at the Russian river water supply facility, Sonoma Count, California. **Geomicrobiology Journal**, 24 (3-4): 231-245, 2007.

MERMILLOD-BLONDIN, F.; MAUCLAIRE, L. e MONTUELLE, B. Use of slow filtration columns to assess oxygen respiration, consumption of dissolved organic carbon, nitrogen transformations, and microbial parameters in hypothetical sediments. **Water Research**, v. 39, p.1687-1698, 2005.

MOHANRAM, A.; CHITTARANJAN, R.; HARVEY, R.W.; METGE, D.W.; RYAN, J.N.; CHOROVER, J.; EBERL, D.D. Comparison of transport and attachment behaviors of *Cryptosporidium parvum* oocysts and oocysts-sized microspheres being advected through three mineralogically different granular porous media. **Water Research**, 44: 5334-5344, 2010.

MORRIS, R.D; NAUMOVA, E.N.; LEVIN, R. MUNASINGHE, R.L. Temporal variation in drinking water turbidity and diagnosed gastroenteritis in Milwaukee, **American Journal of Public Health**, 86 (2): 237-239, 1996.

MUYIBI, S.A.; EVISON, L.M.; *Moringa oleifera* seeds for softening hardwater. **Water Research**, 29 (4): 1099-1105, 1995.

MUHAMMAD, N. e HOOKE, A.M. Toxicity of heavy metals for microorganisms isolated from slow sand filter scmutzdecke. **Environmental Technology**, 24 (9): 1097-1102, 2003.

MURTHA, N.A. e HELLER, L. Avaliação da influência de parâmetros de projeto e das características da água bruta no comportamento de filtros lentos. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, 8 (4): 257-267, 2003.

NAGAMINE, C. M. L.; CANDOLO, C.; MOURA, M. S. A. Uma aplicação de modelos para dados de contagem inflacionados de zeros na modelagem do número de ovos do mosquito *Aedes Aegypti*. **Revista Brasileira de Biometria**, 26, (1): 99–114, 2008.

NDABIGENGESERE, A.; NARASIAH, K.S.; TALBOT, B.G. Active and mechanism of coagulation of turbid waters using *Moringa Oleifera*. **Water Research**, 29 (2): 703-710, 1995.

NDABIGENGESERE, A.; NARASIAH, K.S. Quality of water treatment by coagulation using *Moringa Oleifera* seeds. **Water Research**., 32(3): 781-791, 1998.

NICHOLS, R.A.B.; CAMPBELL, B.M.; SMITH, H.V. Identification of *Cryptosporidium* spp. oocysts in united kingdom noncarbonated natural mineral waters and drink waters by using a modified nested PCR-restriction fragment length polymorphism assay. **Applied and Environmental Microbiology**, 69 (7): 4183-4189, 2003.

NISHI, L.; VIEIRA, A.M.S.; VIEIRA, M.; SILVA, G.F.; BERGAMASCO, R. Application of hybrid processo of coagulation/flocculation and membrane filtration for the removal of protozoan parasites from water. **Procedia Engineering**, 42: 173-185, 2012.

NISHI, L.; MADRONA, G.S.; VIEIRA, A.M.S.; BASSETTI, F.J.; SILVA, G.F.; BERGAMASCO, R. *Moringa oleifera* Lam para remoção de cistos de *Giardia* spp. e oocistos de *Cryptosporidium* spp. da água. **Cleaner production initiatives and challenges for a sustainable world**. May 18-20, 2011.

OKUDA, T.; BAES, A. U.; NISHIJIMA, W.; OKADA, M. Isolation and characterization of coagulant extracted from *Moringa oleifera* seed by salt solution. **Water Research**, 35: 405-410, 2001.

PANG, L.; NOWOSTAWSKA, U.; WEAVER, L.; HOFFMAN, G.; KARMACHARVA, A.; SKINNER, A.; KARKI, N. Biotin-and Glycoprotein-Coated Microspheres: Potential Surrogates for Studying Filtration of *Cryptosporidium parvum* in Porous Media. **Environmental Science and Technology**, 46 (21): 11779-11787, 2012.

PATANIA, N. L.; et al. **Optimization of Filtration for Cyst Removal**. Ed. AWWA, USA, 153 p., 1995.

PATERNIANI, J.E.S.; RIBEIRO, T.A.P.; MANTOVANI, M.C.; SANT'ANNA. Water treatment by sedimentation and slow fabric filtration using *Moringa oleifera* seeds, **African Journal of Agricultural Research**, 5 (11):1256-1263, 2010.

PATERNIANI, J.E.S. **Utilização de nãotecidos sintéticos na filtração em areia de águas de abastecimento**. 262 p.Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 1991.

PILARCZYK, B.; BALICKA-RAMISZ, A. Prevalence of *Cryptosporidium* spp. in farm animals in western Pomerania. **Electronic Journal of Polish Agricultural Universities**, 1 (5), 2002.

PRITCHARD, M.J.; CRAVEN, T.; MKANDAWIRE, T.; EDMONDSON, A.S; O'NEILL, J.G. A comparison between *Moringa oleifera* and chemical coagulants in the purification of drinking water – An alternative sustainable solution for developing countries. **Physics and Chemistry of the Earth**, 35: 798-805, 2010.

PONTIUS, F.W.; AMY, G.L.; HERNANDEZ, M.T. Fluorescent microspheres as virion surrogates in low-pressure membrane studies. **Journal of Membrane Science**, 335: 43-50, 2009.

ROCHELLE, P.A.; MARSHALL, M.M.; MEAD, J.R.; JOHNSON, A.M.; KORICH, D.G.; ROSEN, J.S.; DE LEON, R. Comparison of in vitro cell culture and a mouse assay for measuring infectivity of *Cryptosporidium parvum*. **Applied and Environmental Microbiology**, 68 (8): 3809-3817, 2002.

SÁ, J.C. **Influência das características da camada filtrante e da taxa de filtração na eficiência de remoção de *Microcystis aeruginosa* e microcistina na filtração lenta em areia**. Tese(Doutorado), Universidade Federal de Brasília, Brasília, 2006.

SCARCELLI, E.; PIATTI, R.M. Patógenos emergentes relacionados à contaminação de alimentos de origem animal. **Biólogo**, 64 (2): 123-127, 2002.

SHIELDS, J.M.; GLEIM, E.R.; BEACH, M.J. Prevalence of *Cryptosporidium* spp and *Giardia intestinalis* in swimming pools, Atlanta, Georgia. **Emerging Infectious Diseases**., 14(6): 948-950, 2008.

SILVA, C.G.M.; ANDRADE, S.A.C.; STAMFORD, T.L.M. Ocorrência de *Cryptosporidium* spp. e outros parasitas em hortaliças consumidas in natura, no Recife. **Ciência & Saúde Coletiva**., 10 (Sup), 63-69, 2005.

TANGERINO, E. e DI BERNARDO, L. Remoção de substâncias húmicas por meio da oxidação com ozônio e peróxido de hidrogênio e FIME. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, 10 (4): 290-298, 2005.

TALREJA, T. Screening of crude extract of flavonoids of *Moringa oleifera* against bacteria and fungal pathogen. **Journal of Phytology**, 2(11):31-35, 2010.

TIMMS, S.; SLADE, J.S.; FRICKER, C.R. Removal of *Cryptosporidium* by slow sand filtration. **Water Science and Technology**, 31 (5-6): 81-84, 1995.

THURSTON-ENRIQUEZ, J.A.; WATT, P.; DOWD, S.E.; ENRIQUEZ, R.; PEPPER, I.L.; GERBA, C.P. Detection of protozoan parasites and *Microsporidia* in irrigation waters used for crop production. **Journal of Food Protection**, 65 (2): 378-382, 2002.

TUFENKJI, N.; ELIMELECH, M. Spatial distributions of *Cryptosporidium* oocysts in porous media: Evidence for dual mode deposition. **Environmental Science and Technology**, 39 (10): 3620-3629, 2005.

VERAS, L. R. V.; DI BERNARDO, L. Tratamento de água de abastecimento por meio da tecnologia de filtração em múltiplas etapas – FIME. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, 13 (1): 109-116, 2008.

VERONESI, F.; PASSAMONTI, F.; CACCIÒ, S.; DIAFERIA, M.; FIORETTI, D.P. Epidemiological survey on equine *Cryptosporidium* and Giárdia infections in Italy and molecular Characterization of isolates. **Zoonoses and Public Health**, 57 (7-8):510-517, 2010.

XIAO, L.; FAYER, R.; RYAN, U.; UPTON, S.J. *Cryptosporidium* taxonomy: recent advances and implications for public health. **Clinical Microbiology Review**, 17 (1): 72-92, 2004.