

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS  
PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS HÍDRICOS E SANEAMENTO AMBIENTAL

TRATAMENTO DE ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO EM COMUNIDADES RURAIS  
COM UTILIZAÇÃO DE *MORINGA OLEIFERA* E DESINFECÇÃO SOLAR

GERALDO LUÍS CHARLES DE CANGELA  
Dissertação de Mestrado

Porto Alegre (RS), Brasil.

Dezembro de 2014

---

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS  
PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS HÍDRICOS E SANEAMENTO AMBIENTAL

TRATAMENTO DE ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO EM COMUNIDADES RURAIS  
COM UTILIZAÇÃO DE *MORINGA OLEIFERA* E DESINFECÇÃO SOLAR

GERALDO LUÍS CHARLES DE CANGELA

Dissertação apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental do Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, RS, como requisito final para obtenção do título de Mestre.

Orientador:

Prof. Dr. Antônio Domingues Benetti

Coorientador:

Prof. Dr. Luiz Fernando de Abreu Cybis


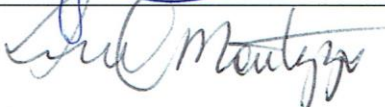

Porto Alegre (RS), Brasil.

Dezembro de 2014

**ATA DE SESSÃO DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

Aluno: GERALDO LUIS CHARLES DE CANGELA  
 Título da dissertação: Tratamento de água para consumo humano em comunidades rurais com utilização de *Moringa oleifera* e desinfecção solar  
 Orientador: Prof. Dr. Antônio Domingues Benetti  
 Coorientador: Prof. Dr. Luiz Fernando de Abreu Cybis

*Parecer conclusivo dos examinadores:*

EXAMINADORES	ASSINATURA DOS EXAMINADORES PRESENTES À SESSÃO	Aprova-do	Repro-vado
Prof. Dr. Gino Roberto Gehling IPH/UFRGS		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Prof. Dr. Luiz Olinto Monteggia IPH/UFRGS		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Profa. Dra. Ana Beatris Souza de Deus Brusa UFRGS		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

*Se aprovado condicionalmente relatar abaixo as condições*


---



---



---

Data limite para cumprir as condições acima especificadas	DIA	MÊS	ANO
	30	01	15

*No caso de aprovação sem ou com condicionantes, responder à questão abaixo:*

A dissertação é um trabalho excepcional, contribuindo relevantemente para o conhecimento do problema, merecendo, pela manifestação unânime de todos os examinadores, voto de louvor?	SIM

Porto Alegre, 19 de dezembro de 2014

Assinaturas:   
 Orientador

  
 Mestrando

"O Senhor é o meu pastor: nada me faltará. Deitar-me faz em verdes pastos, guia-me mansamente a águas tranquilas. Refrigerera a minha alma; guia-me pelas veredas da justiça, por amor do seu nome. Ainda que eu andasse pelo vale da sombra da morte, não temeria mal algum, porque tu estás comigo; a tua vara e o teu cajado me consolam. Preparas uma mesa perante mim na presença dos meus inimigos, unges a minha cabeça com óleo, o meu cálice transborda. Certamente que a bondade e a misericórdia me seguirão todos os dias na minha vida: e habitarei na casa do Senhor por longos dias."

Salmos 23

## AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador, Antônio Domingues Benetti, que acreditou em mim e deu-me oportunidade de evoluir como profissional. Ele é um exemplo de pessoa e professor que pretendo seguir pelo mundo a fora. Sem ele, eu não teria conseguido executar o trabalho. Ele sempre esteve disponível para dúvidas, acompanhamento do experimento, análise dos resultados e a correção do trabalho.

Agradeço também ao coorientador, Luiz Fernando de Abreu Cybis, que de tudo fez para que a qualificação fosse feita no dia programado, além de ter me direcionado ao André Granzotto Gewehr (grandíssimo amigo) para análise dos resultados e delineamento específico do projeto, e este, por sua vez, prestou de coração e alma, o devido apoio na finalização do trabalho. Os meus agradecimentos são também extensivos a Mara Domingues, Sílvio, Tiago e Luigi, técnicos de laboratório, que sabiamente e incansavelmente souberam transmitir seus conhecimentos.

Agradeço ao MCT, Ministério de Ciência e Tecnologia, pela oportunidade, e ter me concedido uma bolsa de estudo. À UZ, Universidade Zambeze, por ter me deixado vir estudar e, por fim, a UFRGS, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, em especial ao IPH, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, pela oportunidade de deixar-me desenvolver a pesquisa.

Aos meus pais, Luís Charles de Cangela e Marringuissene Megui Joaquim Cangela, obrigado por TUDO, mas principalmente por nunca terem desistido de mim, e de sabiamente transmitir seus ensinamentos desde os primeiros dias da minha vida até me tornar homem. Obrigado por terem plantado a sementinha e não terem soltado as “rédeas”. Agradecimentos também vão a minha madrastra, Judite Matuasse, pelo apoio moral.

Aos meus MARAVILHOSOS irmãos, Charles, Muenda, Nilza, Brísda, Joana, Manuel, Mauta, Márcia, Laura, Joaquina, Daniel, Daniel, Nhepe, Safira e Carai (falecida á 26 de agosto de 2014, paz a sua alma), primeiro por eles fazerem parte da minha vida, e depois pelos conselhos, desabafos, risadas e muito mais. Agradeço muito a TODA família, que mesmo à

distância, sempre me incentivou a continuar. Ao meu primo Lázaro, pelo apoio incondicional, e ao meu tio Araújo Martinho por ter me mostrado o caminho de investigação.

Agradecimentos ESPECIAIS vão para Elsa Moises Machava, minha noiva, namorada, esposa, amiga, companheira, confidente, cúmplice e mais atributos que não cabem aqui. Coração ou maeizoca, como carinhosamente tenho lhe chamado, agradeço pelo apoio moral, paciência, perseverança e compreensão nos momentos difíceis, principalmente por ter entrado na minha vida. Obrigados por teres, também, trazido ao mundo os nossos filhos gêmeos, Widson Moíses e Winckler Luís, que mesmo a distância está próximo deles a dares os primeiros cuidados necessário como mãe, mesmo na minha ausência. Agradeço por tudo, e por ser o meu tudo!

Agradecimentos indelévels vão à comunidade estudantil moçambicana em POA, Porto Alegre, nomeadamente: Saidelamine, Malaquias, Elmer, Pelágio, Virgílio, Ivandro, Ildo, Anselmo, Muhale, Fernando, Segone, Cláudio, Paula, Faizal, Agi e aos demais residentes que direta ou indiretamente contribuíram para efetivação deste projeto. Que a familiaridade já começada, continue aqui e para sempre.

Agradeço às minhas cunhadas Hortência, Carla e Ofélia e os seus respetivos maridos, Titos, Carlos e Pedro. Especiais agradecimentos vão também para os meus cunhados, Luís, Gerson e Francisco, pelo apoio moral.

À minha turma de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, ano 2013, agradeço por me ouvir, por me fazer rir nos bons e nos maus momentos, pelo apoio nos momentos de angústia, pela vibração nos momentos de felicidade, por apoiar sonhos malucos etc, etc, etc... Agradeço a Tuane pelo apoio prestado.

## RESUMO

A utilização da *Moringa oleifera* (M.O) na clarificação de água seguida pela exposição solar como forma de desinfecção vem sendo usada em regiões desfavorecidas em infraestrutura e recursos financeiros. Essas tecnologias proporcionam as pessoas que habitam nessas regiões, água, de maneira fácil, autossustentável e a custo baixo. O objetivo do estudo foi de avaliar o uso conjunto da M.O na coagulação-floculação e do sistema solar na desinfecção da água para consumo humano. Os objetivos específicos da pesquisa foram: a) determinar a dose de M.O na remoção da turbidez e cor aparente da água bruta; b) determinar o tempo de exposição solar necessário para a remoção de *E. coli* e coliformes totais presentes na água clarificada com M.O; c) identificar com a técnica delineamento composto central rotacional (DCCR) quais variáveis independentes (pH, dosagem, tempo de mistura lenta e rápida) exerceram maior remoção da cor aparente e turbidez na água bruta. Na desinfecção solar foi considerado um tempo de exposição de 2, 4 e 6 horas, e para a determinação da dosagem e tempos ótimos foram realizados 28 ensaios em Jarreste. Os dados obtidos foram analisados através da Metodologia de Superfície de Resposta do DCCR do programa *Statistic 8*. As condições do ensaio que apresentou os melhores resultados foram: pH, 6,3; tempos de mistura rápida e lenta de 4 e 25 minutos, respectivamente; dosagem ótima de *Moringa* de 950 mg/L. Nestas condições, houve remoção de 80% da cor e 94% da turbidez. Adicionalmente, a clarificação com *Moringa* removeu 98,5 e 96,3% de coliformes totais e *E. coli* presentes na água bruta. A análise de variância mostrou que a dosagem ótima, os tempos de mistura rápida e lenta e a interação dos tempos de mistura lenta e rápida influenciaram na remoção da turbidez, enquanto a remoção de cor foi influenciada pela dosagem ótima e tempo de mistura lenta. As amostras com e sem filtração em filtro quantitativo de porosidade disforme (tecido de algodão de uso doméstico) foram expostas a desinfecção solar para a remoção de *E. coli* e coliformes totais. Houve eliminação de 64,8 e 59,7% em 2 horas; 100% e 99,7% em 4 horas e 100% em 6 horas para água não filtrada. Para água filtrada, as remoções foram de 70 e 19,2% (2 horas); 100 e 46% (4 horas) e 100% (6 horas). A desinfecção solar mostrou-se mais eficiente na exposição da água por 6 horas. Assim sendo, o uso conjunto da *Moringa* e da desinfecção solar em geral promoveram a clarificação e a desinfecção da água, reduzindo significativamente a turbidez e deixando-a livre de *E. coli* e coliformes totais.

**Palavras chaves:** *Moringa oleifera*; desinfecção solar; turbidez; cor aparente; *E. coli*

---

## ABSTRACT

---

The use of *Moringa oleifera* (M.O) in clarifying water followed by sunlight exposure as a means of disinfection has been used in disadvantaged areas with lack of infrastructure and financial resources. These technologies provide the people living in these regions, water in self-sustainable and cost-effective way. The objective of the study was to evaluate the combined use of M.O in coagulation-flocculation followed by solar disinfection to produce water suitable for human consumption. The specific objectives of the research were: a) to determine the optimal dose of M.O for removing turbidity and apparent color of the raw water; b) to determine the exposure time required for solar disinfection and removal from *E. coli* and total coliforms (TC) in the clarified water with M.O; c) to identify with the technical design central composite (CCRD) which independent variables (pH, dosage, slow and fast mixing time) had higher removal of apparent color and turbidity in the raw water. Exposure times tested in solar disinfection were 2, 4 and 6 hours. Twenty eight jar tests were performed to determine the optimal dose, slow and fast mixing time and pH. Data were analyzed by CCRD Response Surface Methodology using the program *Statistic 8*. Test conditions that showed the best results were: pH, 6.3; fast and slow mixing times of 4 and 25 minutes, respectively; *Moringa* optimum dose of 950 mg/L. Under these optimal conditions, removals efficiencies for color and turbidity were, respectively, 80% of color and 94%. In addition, clarification with *Moringa* removed 98.5 and 96.3% of total coliforms and *E. coli* present in the raw water. Analysis of variance showed that the optimal dosage of the fast and slow mixing times, and the interaction of the fast and slow mixing times influenced the removal of turbidity, while the color removal was influenced by the optimum dosage and duration of slow mixing. The samples filtered in filter quantitative without unsightly porosity and were exposed to solar disinfection for removal of *E. coli* and total coliforms. There elimination 64.8 and 59.7% at 2 hours; 100% and 99.7% in 4 hours and 100% at 6 hours for unfiltered water. For filtered water removals were 70 and 19.2% (2 hours); 100 and 46% (4 hours) and 100% (6 h). Solar disinfection was more efficient in water exposure for 6 hours. It could be concluded that the joint use of the *Moringa* and solar disinfection generally promoted the clarification and disinfection of water, significantly reducing turbidity and leaving the water free of *E. coli* and total coliforms.

---

**Key words:** *Moringa oleifera*; solar disinfection; clarification; turbidity; apparent color

---



<b>SUMÁRIO</b>	<b>PÁGINAS</b>
AGRADECIMENTOS .....	v
RESUMO .....	vii
ABSTRACT .....	viii
ÍNDICE DE TABELAS .....	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xv
ÍNDICE DE ANEXOS .....	xvii
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS .....	xviii
1. INTRODUÇÃO .....	20
2. HÍPOTESES E OBJETIVOS .....	23
2.1. HIPÓTESES .....	23
2.2. OBJETIVOS .....	23
2.2.1. Objetivo geral .....	23
2.2.2. Objetivos específicos .....	23
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	24
3.1. Qualidade da água para consumo humano .....	24
3.1.1. Características Organolépticas .....	25
3.1.2. Características Físicas e Químicas .....	28
3.1.3. Características microbiológicas .....	32
3.2. Tecnologia convencional de tratamento de água .....	38
3.2.1. Coagulação-floculação-sedimentação .....	38
3.2.2. Coagulação .....	41
3.2.3. Floculação .....	43
<i>Mecanismo de formação de flocos</i> .....	44
3.2.4. Sedimentação ou decantação .....	45
<i>Objetivos e aplicações da sedimentação</i> .....	46
<i>Fatores intervenientes na coagulação, floculação e sedimentação</i> .....	47
3.2.5. Ensaio de jar teste na coagulação–floculação–sedimentação .....	47
3.2.6. Filtração .....	49
3.2.7. Desinfecção .....	50

<i>Barreiras físicas e químicas contra Cryptosporidium e Giardia</i> .....	52
3.3. Tecnologia simplificada de tratamento água para consumo humano .....	53
3.3.1. Clarificação da água com o uso de <i>Moringa oleifera</i> como coagulante.....	53
3.3.1.1. <i>Moringa oleifera</i> .....	54
<i>Descrição da espécie</i> .....	57
3.3.1.2. <i>Coagulação e floculação com Moringa oleifera</i> .....	60
<i>Eficiência da Moringa oleifera no tratamento da água</i> .....	61
3.3.2. Uso da técnica de desinfecção solar (SODIS) na inativação de microorganismos patogênicos presentes na água .....	65
3.3.3. Sistema de desinfecção solar – SODIS .....	66
<i>Requisitos para uma boa eficiência do SODIS</i> .....	67
3.3.3.1. <i>Variação geográfica da radiação solar</i> .....	67
3.3.3.2. <i>Efeitos da radiação UV em agentes patogênicos</i> .....	68
3.3.3.3. <i>Efeito sinérgico da radiação UV-A e a temperatura</i> .....	69
3.3.3.4. <i>Eficiência do sistema SODIS</i> .....	70
3.3.4. Utilização de garrafas de PET.....	74
3.4. Planejamento fatorial como mecanismo de análise experimental .....	75
3.4.1. Conceitos gerais de experimentação .....	76
<i>Variáveis de resposta ou dependentes</i> .....	76
<i>Fatores de controle ou independentes</i> .....	76
<i>Níveis dos fatores</i> .....	76
<i>Graus de liberdade</i> .....	76
3.4.2. Planejamento Fatorial $2^k$ .....	77
<i>Delimitação Composto Central Rotacional</i> .....	77
4. MATERIAIS E MÉTODOS .....	80
4.1. Local da coleta das amostras.....	80
4.2. Extração e preparo da solução de <i>Moringa oleifera</i> para coagulação-floculação .....	81
4.3. Ensaio de coagulação, floculação e sedimentação em Jarteste .....	83
4.4. Procedimento experimental e consequente realização dos ensaios em jarteste.....	85
4.4.1. Planejamento dos tratamentos a serem usados em jarteste .....	85

4.4.2. Realização dos ensaios em jarteste para obtenção da dosagem ótima.....	88
<i>Primeira etapa: Variação da dose da solução aquosa de Moringa oleifera ...</i>	88
<i>Segunda etapa: Estudo do efeito da variação de pH.....</i>	89
<i>Terceira etapa: Efeito da variação dos tempos de mistura rápida e lenta .....</i>	89
<i>Quarta etapa: Confirmação da dose ótima de coagulante.....</i>	89
4.4.3. Análise estatística dos dados.....	90
4.5. Ensaios da desinfecção solar (SODIS) .....	91
Primeiro ensaio: Exposição por 48 horas.....	91
Segundo ensaio: Exposição por 2, 4 e 6 horas.....	92
4.6. Análise de coliformes totais e <i>Escherichia coli</i> .....	93
4.7. Equipamentos, Materiais e Reagentes. ....	93
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	95
5.1. Resultados dos ensaios de coagulação, floculação e sedimentação com <i>M. oleifera</i> .....	95
5.1.1. Caracterização da água bruta usada nos ensaios de clarificação e sedimentação.....	95
5.1.2. Remoção de cor e turbidez da água bruta nos ensaios de clarificação com <i>M. oleifera</i> .....	95
5.2. Uso da técnica delineamento composto central rotacional na identificação dos fatores que afectam na remoção de cor e turbidez da água bruta .....	98
5.2.1. Análise de variância das variáveis respostas .....	98
5.2.2. Análise dos efeitos principais e das interações dos fatores.....	100
5.2.3. ANOVA para validação do modelo matemático à Superfície de Resposta.....	102
5.2.4. Metodologia de Superfície Resposta, MSR .....	104
5.3. Ensaio de eficiência da desinfecção solar na remoção de <i>E. coli</i> e coliformes totais na água clarificada com <i>Moringa oleifera</i> .....	109
5.3.1. Caracterização da água usada na desinfecção solar por 2, 4 e 6 horas.....	109
5.3.2. Análise da remoção de <i>E. coli</i> e coliformes totais antes do tratamento com SODIS .....	110
5.3.3. Análise da remoção de <i>E. coli</i> e coliformes totais depois do tratamento com SODIS .....	111
<i>Exposição solar das amostras de água por 2, 4 e 6 horas .....</i>	111

---

5.3.4. Exposição solar das amostras de água por 48 horas .....	114
<i>Caracterização da água usada na desinfecção solar por 48 horas</i> .....	114
5.4. Qualidade da água clarificada com <i>Moringa</i> e SODIS .....	117
6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....	120
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	122
8. ANEXO.....	139

**ÍNDICE DE TABELAS****PÁGINAS**

Tabela 3.1: Padrão microbiológico de potabilidade da água para consumo humano .....	24
Tabela 3.2: Padrão físico de aceitação para consumo humano .....	25
Tabela 3.3: Características organolépticas de algumas substâncias .....	27
Tabela 3.4: Classificação da dureza da água .....	30
Tabela 3.5: Classificação de coliformes na água de abastecimento .....	34
Tabela 3.6: Parâmetros típicos do processo de coagulação .....	43
Tabela 3.7: Valores de K para inativação de diversos microorganismos .....	53
Tabela 3.8: Famílias vegetais com capacidade coaguladora .....	54
Tabela 3.9: Característica de estratos aquosos de sementes de <i>Moringa oleifera</i> .....	55
Tabela 3.10: Composição química das sementes de <i>Moringa</i> .....	56
Tabela 3.11: Solução de <i>Moringa</i> recomendada em função da turbidez da água bruta .....	63
Tabela 3.12: Tempo e temperatura necessários para a destruição de microorganismos e parasitas .....	65
Tabela 3.13: Microorganismos inativados pela radiação UV-A .....	69
Tabela 3.14: Temperatura da água e tempo de exposição necessária para inativação de 99,9% de enterovirus através do método SODIS .....	70
Tabela 3.15: Propriedades do PET .....	74
Tabela 3.16: Valores para $\alpha$ .....	79
Tabela 4.1: Variáveis operacionais hidráulicas utilizados no Jar Test .....	85
Tabela 4.2: Níveis de variação dos fatores do DCCR .....	86
Tabela 4.3: Matriz de tratamentos do planejamento do experimento fatorial do tipo $2^4$ .....	87
Tabela 4.4: Equipamentos em diversa atividade .....	94
Tabela 5.1: Característica da água bruta .....	95
Tabela 5.2: Eficiência (%) de remoção da turbidez e cor em amostra de água bruta .....	96
Tabela 5.3: Análise de variância na remoção da turbidez .....	99
Tabela 5.4: Análise de variância de cor aparente .....	100
Tabela 5.5: ANOVA para validação do modelo matemático à Superfície de Resposta para a turbidez e cor aparente .....	102
Tabela 5.6: Regiões críticas para turbidez e cor aparente e pH final .....	109

Tabela 5.7: Característica da água bruta usada nos ensaios com SODIS por 2, 4 e 6 horas .....	110
Tabela 5.8: Número mais provável de <i>E. coli</i> e coliformes totais na água bruta e tratada com <i>Moringa</i> .....	110
Tabela 5.10: Número mais provável de <i>E.coli</i> e coliformes totais na água com filtração clarificada com <i>Moringa</i> e exposta a sombra e ao sol por 2, 4 e 6 horas .....	113
Tabela 5.11: Característica da água bruta usada nos ensaios com SODIS por 48 horas .....	114
Tabela 5.12: Número mais provável de <i>E. coli</i> e coliformes totais na água bruta e tratada com <i>Moringa</i> .....	115
Tabela 5.13: Média geométrica do número mais provável de <i>E. coli</i> e coliformes totais na água sem filtração clarificada com <i>Moringa</i> e exposta ao sol por 48 horas.....	116
Tabela 5.14: Média geométrica do número mais provável de <i>E. coli</i> e coliformes totais na água com filtração clarificada com <i>Moringa</i> e exposta a sombra e sol por 48 horas.....	117
Tabela 5.15: Valores limite aconselhados como parâmetros de qualidade de água .....	118
Tabela 5.16: Valores de turbidez e cor obtidos no tratamento da água como <i>Moringa</i> .....	118
Tabelas 5.17: Valores máximos de tratabilidade alcançados na água após os testes de coagulação, floculação e sedimentação com a <i>Moringa</i> e desinfecção com SODIS.....	119

<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	<b>PÁGINAS</b>
Figura 3.1: Esquema de classificação dos sólidos em amostras de água.....	32
Figura 3.2: Mudança de coloração na reação enzimática ONPG/ MUG (Idexx, 2013).....	38
Figura 3.3: Configuração esquemática da dupla camada elétrica.....	39
Figura 3.4: Mecanismo de agregação via adição de sais inorgânicos ou polieletrólitos .....	40
Figura 3.5: Mecanismos de floculação por pontes poliméricas.....	45
Figura 3.6: Formação de caudas, laços e na interface partícula.....	45
Figura 3.7: Estrutura de glucosinolato presente na semente de <i>Moringa</i> .....	57
Figura 3.8: Planta da <i>Moringa oleifera</i> .....	58
Figura 3.9a: Vagens verdes e secas com semente de <i>M. oleifera</i> .....	59
Figura 3.9b: Vagem e sementes de <i>M. oleifera</i> .....	59
Figura 3.9c: Folhas de <i>M. oleifera</i> .....	59
Figura 3.10: Frascos de água não tratada (à esquerda) e tratada (à direita) com <i>Moringa</i> .....	62
Figura 3.11: Inativação de <i>E. coli</i> em condições aeróbias e anaeróbias .....	68
Figure 3.12: Inativação de <i>E. coli</i> em uma garrafa PET.....	70
Figura 3.13: Modelo de Concentrador Solar proposto pelo Instituto Mexicano de Tecnologia de Água.....	73
Figura 3.14: Ilustrações gráficas da: (a) Análise Univariada; (b) Matriz com todas as combinações; (c) Planejamento ou DCCR .....	78
Figura 4.1: Localização da Bacia Hidrográfica do Lago Guaíba.....	81
Figura 4.2: À esquerda: semente da <i>Moringa oleifera</i> sem casca e à direita trituração das sementes num almofariz com pistola.....	82
Figura 4.3: À esquerda: malha de 0,85 com pó de <i>Moringa oleifera</i> e à direita: pó da semente da <i>Moringa oleifera</i> num vidro de relógio .....	82
Figura 4.4: Extração e filtração do composto ativo da <i>M. oleifera</i> : à esquerda agitador magnético e à direita bomba a vácuo.....	83
Figura 4.5: Fluxograma dos ensaios realizados em jar teste seguido pela exposição solar por 2, 4, 6 e 48 horas .....	84
Figura 4.6: Equipamento de Reatores Estáticos, modelo FlocControl III .....	84
Figura 4.7: Aparato para apoio de garrafas expostas ao SODIS.....	91

Figura 5.1: Diagrama de Pareto para estimativa dos efeitos principais e interações na remoção da turbidez .....	101
Figura 5.2: Diagrama de Pareto para estimativa dos efeitos principais e interações na remoção da cor aparente .....	102
Figura 5.3: Curva de contorno e superfície de resposta na remoção da turbidez: interação dos fatores em TML versus pH inicial .....	106
Figura 5.4: Curva de contorno e superfície de resposta na remoção turbidez: interação dos fatores em TMR versus pH inicial .....	106
Figura 5.5: Curva de contorno e superfície de resposta na remoção turbidez: interação dos fatores da dose de <i>Moringa</i> e pH inicial .....	107
Figura 5.6: Curva de contorno e superfície de resposta na remoção de cor: interação dos fatores TML e pH inicial .....	107
Figura 5.7: Curva de contorno e superfície de resposta na remoção de cor: interação dos fatores TMR e pH inicial .....	108
Figura 5.8: Curva de contorno e superfície de resposta na remoção de cor: interação dos fatores dose de <i>Moringa</i> e pH inicial .....	108
Figura 5.9: À direita água tratada com <i>Moringa</i> e à esquerda água bruta (ensaio 7) .....	109
Figura 5.10: Temperatura da água na exposição por 2, 4 e 6 horas .....	112
Figura 5.11: Temperatura da água na exposição por 48 horas .....	116



ÍNDICE DE ANEXOS	PÁGINAS
Tabela 1: Padrão de potabilidade para substâncias químicas que representam risco à saúde ....	139
Tabela 2: Principais agentes infecciosos mundialmente encontrados na água destinada ao abastecimento público.....	141
Tabela 3: Contaminação de água por organismos provenientes de fezes via esgoto sanitário...	142
Tabela 4: Quantidade de organismos necessária para iniciar enfermidade .....	143
Tabela 5: Poder nutritivo da <i>Moringa oleifera</i> e o valor nutricional das folhas, vagens e pó (por 100g da porção comestível.....	144
Tabela 6: Número mais provável de coliformes totais e <i>E. coli</i> estimados com o uso do método Colilert .....	145
Tabela 7: Análise de amostra de água bruta e tratada com <i>Moringa</i> por 6 horas.....	147
Tabela 8: Análise de amostra de água não filtrada e filtrada com <i>Moringa</i> por 48 horas .....	148
Tabela 9: Análise de amostra de água não filtrada e filtrada com <i>Moringa</i> por 48 horas .....	149
Tabela 10: Dados meteorológicos da exposição solar por 6 horas .....	152
Tabela 11: Dados meteorológicos da exposição solar por 48 horas .....	153

**LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

APHA – American Public Health Association

AWWA – American Water Works Association

DCCR – Delineamento Composto Central Rotacional

*E. coli* – *Escherichia coli*

F – Teste de Fisher

FUNASA – Fundação Nacional de Saúde

IMTA – Instituto Mexicano de Tecnologia de Água

INE – Instituto Nacional de Estatística

INRESA – Integrated Rural Energy System Association

IPH – Instituto de Pesquisas Hidráulicas

Jar Test – Teste de Jarro

M. O – *Moringa oleifera*

MISAU – Ministério da Saúde

MSR – Metodologia de Superfície de Resposta

NBR – Norma Brasileira

NMP – Número mais Provável

UNT – Unidades Nefelométricas da Turbidez

OMS – Organização Mundial da Saúde

PET – poli(tereftalato de etileno)

p – p valor

PNAD – Pesquisa Nacional por Amostras de Domicílios

QM – Quadrados médios

SDT – Sólidos dissolvidos totais

SMEWW – Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater

SODIS – Sistema de Desinfecção Solar

SQ – Soma dos quadrados

TFTM – Técnica de Fermentação em Tubos Múltiplos

TSDC – Tecnologia do Substrato Definido Colilert

TMR – tempo de mistura rápida

TML – tempo de mistura lenta

UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

UNICEF – Fundo das Nações Unidas para a Infância

UV – Radiação Ultravioleta

WHO – World Health Organization

## 1. INTRODUÇÃO

O acesso à água potável é essencial à saúde, constituindo-se em um direito básico de todos os seres humanos, e componente prioritário em políticas públicas de proteção a saúde (WHO, 2011). Mesmo assim, até início de 2010, 780 milhões de pessoas no mundo não tinham acesso à água potável, e quase 2,5 bilhões tinham falta de saneamento adequado (UNICEF; WHO, 2012).

Entre 1990 e 2008, 1,8 bilhões de pessoas passaram a ter acesso à água potável, 41% das quais vivendo em zonas rurais. Atualmente, 81% das pessoas que vivem em áreas rurais têm acesso à água potável enquanto nas áreas urbanas a percentagem é de 96% (UNICEF; WHO, 2012). No Brasil, de acordo com dados da Pesquisa Nacional por Amostras de Domicílios (PNAD, 2012), 33,2% das residências de áreas rurais estão abastecidas por água de rede. Os demais domicílios (66,8%) são abastecidos por poços (protegidos ou não), diretamente de cursos de água (sem tratamento) e outras fontes alternativas (FUNASA, 2014). Dados de 2004 indicam que, em Moçambique, apenas 26% da população nas zonas rurais tinham acesso a fontes melhoradas de água potável (comparado com 72% nas zonas urbanas), sendo a cobertura total de apenas 43% em todo o país (Governo de Moçambique, 2014). Estes números ilustram a grande diferença existente entre as áreas rurais e urbanas relativamente ao abastecimento de água.

Em regiões onde não há suprimento de água potável, é comum a utilização de águas captadas de poços, riachos, lagos e rios como fonte de abastecimento para o consumo humano e de animais. Essas fontes são susceptíveis a vários tipos de contaminação por microorganismos patogênicos, colocando em risco a saúde da população consumidora da água (Wegelin, 1994).

A Organização Mundial da Saúde estima que 94% das doenças diarreicas têm origem em água contaminada e falta de saneamento (Prüss-Üstin e Corvalán, 2006). Nos países emergentes, mais de seis milhões de crianças morrem de diarreia em todos os anos por consumo de água imprópria (Ali *et al.*, 2010). No Brasil, cerca de 30 pessoas morrem por dia devido a doenças associadas à água contaminada (Araújo Júnior, 2013). Em Moçambique, cerca de 40 crianças morrem por dia e um número não especificado de adultos, por falta de saneamento nas zonas urbanas e rurais (Langa, 2014).

O uso de tecnologias convencionais de tratamento de água potável e a infraestrutura requerida de captação, conservação e distribuição de água não estão ao alcance de milhões de pessoas que vivem em áreas menos privilegiadas. Assim sendo, tecnologias simples, de pequeno porte e baixo custo, podem ser uma alternativa para o abastecimento de água potável a nível familiar. Esta pesquisa avaliou técnicas de remoção de turbidez e microorganismos da água através do uso de processos naturais de tratamento e que podem ser usadas a nível familiar.

Extrato de sementes de *Moringa oleifera* foi usado para a remoção da turbidez da água. A *Moringa* é um coagulante natural que possui em sua composição proteínas catiônicas, solúveis na água. Promovem a desestabilização dos colóides responsáveis pela turbidez através dos mecanismos de adsorção e neutralização de cargas. Na técnica de clarificação com *Moringa*, a polpa das sementes é adicionada, com agitação, a uma quantidade de água bruta contida em um recipiente. A solução é deixada em repouso por até duas horas, ao fim das quais coleta-se o sobrenadante para aproveitamento e descarta-se o precipitado (Borba, 2001). A técnica tem sido aplicada como solução alternativa para o abastecimento de água em casas isoladas nas zonas rurais (Ghebremichael, *et al.*, 2005).

Para a desinfecção de água clarificada com o uso de *Moringa oleifera*, foi utilizada a técnica conhecida por SODIS (Solar Water Disinfection). Nesta técnica, a água é colocada em garrafas PET e deixada exposta ao sol por períodos de seis horas (dias claros) ou 48 horas (dias com nuvens). A elevação da temperatura da água, associada ao efeito da radiação ultravioleta, promove a morte de microorganismos presentes na água (Wegelin *et al.*, 1994). De acordo com Méndez-Hermida (2005), SODIS pode inativar bactérias, vírus e protozoários, sendo adequado para uso em áreas rurais de países emergentes.

Em Moçambique, nos últimos 15 anos, o governo vem realizando investimentos para melhorar o sistema de abastecimento de água, mas em muitas regiões a água não é adequada para o consumo humano. Com o desenvolvimento deste trabalho, pretende-se contribuir para a melhoria da qualidade da água em comunidades rurais e carentes de recursos, pois as técnicas propostas são simples, acessíveis e de baixo custo.

Esta dissertação está dividida em seis capítulos e um anexo. O capítulo 1 apresenta a descrição do problema e a justificativa para a pesquisa. No capítulo 2 estão estabelecidas as hipóteses e os objetivos do trabalho. Os capítulos 3 e 4 relatam a revisão bibliográfica, e os materiais e métodos utilizados. Os resultados e sua discussão são descritos no capítulo 5. No capítulo 6 são apresentadas as conclusões do trabalho. Há ainda um anexo contendo informações que complementam a revisão bibliográfica, além dos resultados experimentais completos.

## 2. HÍPÓTESES E OBJETIVOS

### 2.1. HIPÓTESES

A pesquisa teve como hipóteses:

- a) O tempo de mistura rápida, o tempo de mistura lenta, o pH e a dose do extrato aquoso das sementes de *Moringa oleifera* alteram a cor aparente e a turbidez da água bruta;
- b) A concentração do extrato aquoso das sementes de *Moringa oleifera* elimina significativamente as bactérias *Escherichia coli* e coliformes totais na água bruta tornando-a potável ao consumo humano;
- c) A exposição das amostras de águas tratada com *Moringa oleifera* à radiação solar por 2, 4, 6 ou 48 horas ocasiona a eliminação em 100% de *Escherichia coli* e coliformes totais.

### 2.2. OBJETIVOS

#### 2.2.1. Objetivo geral

O objetivo geral da pesquisa foi:

- Avaliar o uso conjunto da *Moringa oleifera* na coagulação-floculação-sedimentação e da desinfecção solar no tratamento da água para consumo humano.

#### 2.2.2. Objetivos específicos

Os objetivos específicos da pesquisa foram:

- a) Determinar a influência das diferentes dosagens do extrato da solução aquosa das sementes de *Moringa oleifera* na remoção da turbidez e cor aparente da água bruta;
- b) Determinar a eficiência da técnica SODIS na remoção de *Escherichia coli* e coliformes totais em água clarificada com extrato aquoso de *Moringa oleifera*;
- c) Identificar com a técnica DCCR quais variáveis independentes (pH, dosagem, tempo de mistura lenta e rápida) exerceram maior influência na remoção de cor aparente e turbidez na água bruta.

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1. Qualidade da água para consumo humano

A água é uma substância insípida, incolor, inodora e transparente. A composição do solo e a sua utilização influenciam na qualidade da água (Richter & Netto, 1991).

Segundo a Portaria de Potabilidade nº 2914, de 12 de Dezembro de 2011 do Ministério da Saúde do Brasil (2011) e do MISAU (2004), água potável é aquela que é própria para o consumo humano, avaliada pelos seus padrões de qualidades organolépticas, físico-químicas e biológicas e que não ofereça riscos à saúde. Os microorganismos e substâncias químicas não podem estar presentes na água distribuída em valores superiores aos especificados na Tabela 3.1 (Ministério da Saúde do Brasil, 2011; MISAU, 2004) e Tabela 3.2 (MISAU, 2004) e anexo da Tabela 1 (substâncias químicas) e nem originar direta ou indiretamente riscos para a saúde.

Tabela 3.1: Padrão microbiológico de potabilidade da água para consumo humano

Parâmetro	Limite máximo admissível	Unidades	Risco a saúde pública
Coliformes totais <sup>1</sup>	Ausente em 100 ml	NMP/100 ml	
		N.º de colónias/100ml	Doenças
<i>E. coli</i> <sup>2</sup>	Ausente em 100 ml	NMP/100 ml	gastrointestinais
<i>Vibrio cholerae</i>	Ausente em 1000 ml	1000 ml	

Fonte: MISAU (2004); Ministério da Saúde do Brasil (2011)

A tabela 3.2 mostra padrões de aceitação de água para consumo humano, de acordo MISAU (2004). A mais recente norma brasileira de potabilidade da água estabelece turbidez da água deve ser inferior a 1,0 UNT.

<sup>1</sup>Indicadores de eficiência de tratamento

<sup>2</sup> Indicador de contaminação fecal



Tabela 3.2: Padrão físico de aceitação para consumo humano

Parâmetro	Limite máximo admissível	Unidades	Inconveniência
Cor	15	UC	Aparência
Odor	Inodoro	-	Cheiro
Condutividade elétrica	20 – 2000	mS/cm	-
Sabor	Insípido	-	-
SDT	1000	mg/l	Sabor, corrosão
Turbidez	5	UNT	Dificulta a desinfecção
Dureza	500	mg/l	-

Fonte: MISAU (2004)

A qualidade da água é um aspecto que assegura o uso e é representada por características, geralmente mensuráveis, de natureza física, química e biológica. Essas características definem os critérios de qualidade que devem ser mantidas dentro de certos limites, de maneira a possibilitar o seu uso. Denomina-se a estas características de padrões de qualidade ou potabilidade da água (Richter, 2009). De acordo com Branco (1986), os padrões de qualidade da água referem-se a um certo número de parâmetros capazes de refletir, direta ou indiretamente, a presença efetiva ou potencial de algumas substâncias ou microorganismos que possam comprometer a qualidade da água do ponto de vista estético e de salubridade, podendo ser divididos em organolépticas, físico-químicas e biológicas.

### 3.1.1. Características Organolépticas

São características da água que pode se percebidos através do sentido e por análises químicas (por exemplo, os surfactantes). Não representa por si só um risco para a saúde pública, mas por serem detectadas pelo consumidor comum, tornam-se condicionantes na aceitação ou não da água (Alves, 2007). Fazem parte destas características: a cor, o odor, o sabor e a turbidez.

#### *Cor*

A cor da água é devido à presença de substâncias dissolvidas e coloidais de origem natural (decomposição da matéria orgânica vegetal, substâncias húmicas, taninos e a presença de

ferro e manganês) e antropogênicas (esgotos domésticos e resíduos industriais coloridos – tecelagem, polpa de papel e tintas) (Alves, 2005). Quando rica em ferro trivalente, é arroxeadada; quando rica em magnésio, é negra, e quando rica em ácidos húmicos, é amarelada.

Segundo Metcalf & Eddy (2003) e Mihelcic & Zimmerman (2012), a cor é classificada como aparente e verdadeira. A aparente é medida em amostra de água não filtrada, assim inclui a cor causada pela turbidez. A cor verdadeira é medida em amostra de água filtrada em filtro de 0,45µm. No entanto, ainda que a cor não seja controlada como fator de risco à saúde, pode ser um problema para alguns indivíduos e algumas comunidades, pois pode criar algum septicismo na hora do consumo (Mihelcic & Zimmerman, 2012).

A determinação da cor é realizada por comparação visual e a unidade é Hazen (1 uH = 1mg Pt-Co/l). O valor máximo permitido em padrões de potabilidade para águas naturais é de 0 a 200 uH e para água potável é de 15uH (Piantá, 2008). Águas brutas com valores superiores a 5 uH e inferiores a 25 uH, não requerem tratamento completo, exigindo apenas filtração lenta ou rápida. Cor acima de 25 uH requer tratamento completo. A OMS refere que águas com cor inferior a 15 uH são normalmente aceitáveis pelos consumidores, embora a aceitabilidade varie. A OMS não estabelece padrão de potabilidade para cor baseado em critério de saúde.

### ***Turbidez***

Geralmente, a presença de substâncias em suspensão e coloidais de origem natural (partículas de rochas, argila, silte, algas, microorganismos) e/ou antropogênicas (despejos domésticos, resíduos industriais e erosão do solo) são responsáveis pela turbidez da água. Ela interfere diretamente na passagem da luz na água causada por partículas suspensas na água (Sperling, 2005).

De acordo com a OMS (2008), níveis elevados de turbidez estão frequentemente associados a concentrações altas de organismos causadores de doenças, tais como vírus, parasitas e algumas bactérias. Estes organismos podem causar sintomas como náuseas, cólicas, diarreia e dores de cabeça associadas.

A determinação da turbidez é realizada por comparação com uma mistura química de referência que produz uma refração da luz convertível em UNT. Segundo Di Bernardo & Dantas (2005), o limite máximo de turbidez numa água potável deve ser de 5 UNT. Para valores de água bruta menor do que 20 UNT dispensam-se tratamentos completos, exigindo-se apenas filtração lenta. Pré-filtro ou tratamento completo são recomendados quando a turbidez da água ultrapassa 50 UNT.

### ***Odor e Sabor***

O sabor e odor referem-se a duas sensações que se manifestam conjuntamente, o que torna difícil a sua separação, visto que, a sensação de sabor origina-se do odor. Segundo Richter e Netto (1991), odor e sabor são sensações subjetivas, causadas pela presença de produtos químicos indesejáveis (fenóis e clorofenóis resíduos industriais, gases dissolvidos, sólidos totais em concentração elevada, algas). A Tabela 3.3 mostra as características organolépticas de algumas substâncias.

Tabela 3.3: Características organolépticas de algumas substâncias

Substância	Percepção
Cloreto de sódio (NaCl)	Salgado
Sulfato de Sódio (Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	Ligeiramente salgado
Bicarbonato de Sódio (NaHCO <sub>3</sub> )	Ligeiramente salgado e doce
Carbonato de Sódio (Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> )	Amargo e salgado
Carbonato de Cálcio (CaCl <sub>2</sub> )	Fortemente amargo
Sulfato de Cálcio (CaSO <sub>4</sub> )	Ligeiramente amargo
Sulfato de Magnésio (MgSO <sub>4</sub> )	Ligeiramente amargo em saturação
Cloreto de Magnésio (MgCl <sub>2</sub> )	Amargo e doce
Gás Carbônico (CO <sub>2</sub> )	Adstringente, picante

Fonte: Zimbire (2000) citado por Alves (2005)

### 3.1.2. Características Físicas e Químicas

Muitas substâncias químicas são tóxicas e suas concentrações são limitadas na água potável. A Tabela 1 do anexo mostra os padrões de potabilidade para substâncias químicas que apresentam riscos à saúde. Por outro lado, alguns parâmetros físicos e químicos são parâmetros mais voltados à operação e ao bom funcionamento dos processos de tratamento, entre estes, destacam-se a temperatura, o pH e a alcalinidade. A seguir descrevem-se alguns parâmetros físicos e químicos importantes no tratamento da água potável.

#### *Temperatura*

De acordo com Richter & Netto (1991) e Mihelcic & Zimmerman (2012), a temperatura afeta a velocidade e o equilíbrio das reações químicas, solubilidade dos gases, sensação de sabor e odor, ionização de substâncias coagulantes, densidade, viscosidade, pressão de vapor e tensão superficial que são usadas em projeto e na operação de estação de tratamento.

#### *pH – potencial hidrogeniônico*

O valor do pH indica se a água é ácida, neutra ou alcalina por meio da medição da presença de ions de hidrogênio ( $H^+$ ). É calculado em escala antilogarítmica, abrangendo a faixa de 0 a 14 (inferior a 7: condições ácidas; superior a 7: condições alcalinas e igual a 7: condições neutras). Para o consumo humano, recomenda-se que o pH esteja entre 6 a 9,5 (Di Bernardi e Dantas, 2005; Ministério da Saúde do Brasil, 2011). O valor do pH é determinante em diversas etapas do tratamento da água, como na coagulação e desinfecção, além de contribuir para um maior ou menor grau de solubilidade das substâncias e de definir o potencial de toxicidade de vários elementos, por exemplo, da dissolução dos metais (Alves, 2007).

De acordo com Bastos *et al.* (2006), as alterações de pH podem ser de origem natural (dissolução de rochas, fotossíntese) ou antropogênicas (despejo domésticos e industriais). A presença de ácidos húmicos dissolvidos na água devido à decomposição de vegetação, o pH da água nessas situações é sempre ácido (valores de 4 a 6). A acidificação das águas pode ser também um fenômeno derivado da poluição atmosférica, mediante reação de gases poluentes como vapor de água que provocam a queda do pH. Pode também existir ambientes aquáticos naturalmente

alcalinos em função da decomposição química de suas águas, como é o exemplo de alguns lagos africanos nos quais o pH chega a ultrapassar o valor 10.

A existência do gás carbônico dissolvido na água afeta o pH. A água subterrânea tem pH na faixa de 5,5 a 8,5. Valores de pH fora da faixa recomendada, podem alterar o sabor e contribuir na corrosão do sistema de distribuição, ocorrendo uma possível extração do ferro, cobre, chumbo, zinco e cádmio das tubulações (Sperling, 2005).

### ***Alcalinidade***

A alcalinidade esta relacionada com a quantidade de íons presentes na água que reagem para neutralizar os íons de hidrogênio. Assim sendo, constitui uma medição da capacidade da água de neutralizar os ácidos, servindo assim para expressar a capacidade de tamponamento da água, isto é, sua condição de resistir a mudanças do pH (Bastos *et al.*, 2006).

De acordo com Bastos *et al.* (2006), os principais constituintes da alcalinidade são os bicarbonatos ( $\text{HCO}_3^-$ ), carbonatos ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) e hidróxidos ( $\text{OH}^-$ ). Outros ânions, como cloretos, nitratos e sulfetos, não contribuem na alcalinidade. A distribuição entre as três formas de alcalinidade na água em função do seu pH: pH maior que 9,4 (carbonatos e hidróxidos); pH entre 8,3 e 9,4 (bicarbonatos e carbonatos); pH entre 4,4 e 8,3 (apenas bicarbonatos). Na maior parte dos ambientes aquáticos, a alcalinidade deve-se exclusivamente à presença de bicarbonatos. Valores elevados de alcalinidade estão associados a processos de decomposição da matéria orgânica e à alta taxa respiratória de microorganismos, com a liberação e dissolução do gás carbônico na água. A maioria das águas naturais apresenta valores de alcalinidade na faixa de 30 a 500 mg/l de  $\text{CaCO}_3$ .

### ***Acidez***

Mede a capacidade da água em resistir às mudanças de pH causadas pelas bases. Ela decorre fundamentalmente da presença de gás carbônico livre na água (Bastos *et al.*, 2006). De acordo com os mesmos autores, a origem da acidez tanto pode ser natural ( $\text{CO}_2$  absorvido da atmosfera ou resultante da decomposição de matéria orgânica, presença do gás sulfídrico) ou antropogênicas (despejos industriais, passagem da água por minas abandonadas). As

distribuições das formas de acidez são em função do pH da água: pH maior que 8,2, CO<sub>2</sub> livre; pH entre 4,5 e 8,2: acidez carbônica; pH menor 4,5: acidez por ácidos minerais fortes, geralmente resultantes de despejos industriais. Águas com acidez mineral são desagradáveis ao paladar, sendo, portanto, desaconselhadas para o consumo humano.

### ***Dureza***

Segundo Di Bernardo e Dantas (2005), a dureza é definida como a soma de cátions polivalentes presentes na água e expressa em termos de uma quantidade equivalente de CaCO<sub>3</sub>. Os principais íons metálicos, que conferem dureza à água são o cálcio (Ca<sup>2+</sup>), magnésio (Mg<sup>2+</sup>: quase sempre associado ao íon sulfato) e, em menor grau, o íon ferro (Fe<sup>2+</sup>: associado ao nitrato), do manganês (Mn<sup>2+</sup>: associado ao nitrato) e estrôncio (Sr<sup>2+</sup>: associado ao cloreto).

A dureza está associada a incrustações em sistemas de água quente, podendo causar problemas sérios em aquecedores em geral. Na maioria dos casos, a dureza é decorrente do cálcio associado ao bicarbonato, o qual se transforma em carbonato (pouco solúvel) por aquecimento ou elevação do pH, tendo-se neste caso a dureza temporária. A dureza decorrente de cátions associados a outros ânions é denominada dureza permanente (Alves, 2007). A Tabela 3.4 apresenta uma classificação das águas em relação ao teor de carbonato de cálcio.

Tabela 3.4: Classificação da dureza da água

Classificação	Dureza	
	meq/l	mg/l com CaCO <sub>3</sub>
Extremamente macia a macia	0 – 0,9	0 – 45
Macia a moderadamente dura	0,9 – 1,8	46 – 90
Moderadamente dura a dura	1,8 – 2,6	91 – 130
Dura a muito dura	2,6 – 3,4	131 – 170
Muito dura a extremamente dura	3,4 – 5	171 – 250
Muito dura para uso doméstico comum	> 5	> 250

Fonte: Vesilind (2011)

## Sólidos

Segundo Metcalf & Eddy (2003), os sólidos presentes na água podem ser classificados em:

- *Sólidos Totais* (ST): é a matéria que permanece como resíduo após evaporação de um volume conhecido à temperatura entre 100 e 103°C;
- *Sólidos Suspensos Totais* (SST): é a matéria que fica retida após passagem de um volume conhecido por um filtro com poros de tamanho aproximado de 1,2 micrômetros ( $1\mu\text{m} = 10^{-6}\text{ m}$ ). A água presente no filtro é evaporada a temperatura entre 103°C e 105 °C;
- *Sólidos Dissolvidos Totais* (SDT): é a matéria que passa pelo filtro com tamanho de poros aproximado de 1,2  $\mu\text{m}$  ou a soma dos teores de todos os constituintes minerais presentes na água. O líquido que passou pelo filtro é evaporado a temperatura entre 103°C e 105°C. Estes sólidos são também chamados de sólidos filtráveis totais, pois partículas coloidais (tamanhos entre 0,001  $\mu\text{m}$  a 1,0  $\mu\text{m}$ ) também passam pelo filtro de 1,2  $\mu\text{m}$ . Segundo Alves (2007), os principais ânions inorgânicos dissolvidos em SDT na água abrangem carbonatos, cloretos, sulfatos e nitratos; os cátions mais significativos são sódio, cálcio e magnésio. A medida de condutividade elétrica, multiplicada por um fator (0,55 a 0,75), fornece uma boa estimativa dos SDT de uma água. O limite máximo permissível de SDT na água é de 1000 mg/l. Os SDT afetam o paladar devido à presença dos sais minerais em solução, e podem causar problemas laxativos atribuídos ao sulfato de sódio e sulfato de magnésio, e as possíveis sequelas cardíacas em consequência da ingestão de sódio.

Ainda segundo Metcalf & Eddy (2003), os sólidos totais, suspensos e dissolvidos podem ser classificados em função de sua volatilidade em sólidos fixos e voláteis totais, fixos e voláteis suspensos e fixos e voláteis dissolvidos. Esta classificação é dada em função da volatilização da amostra de água a 550°C. A Figura 3.1 apresenta um esquema da classificação de sólidos em águas.

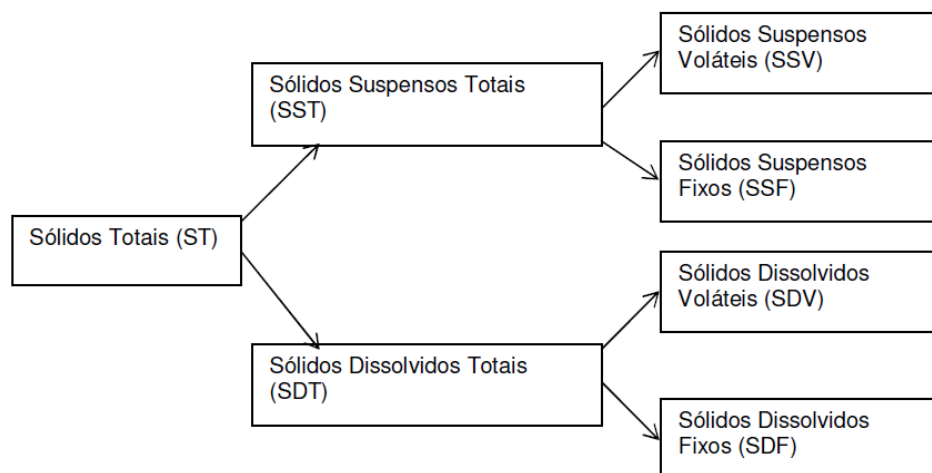


Figura 3.1: Esquema de classificação dos sólidos em amostras de água

### 3.1.3. Características microbiológicas

São usualmente empregadas como indicadores de contaminação microbiológica de patógenos. A sua presença na água indica que poderão existir microorganismos causadores ou transmissores de doenças patogênicas. São assim indicadores de eventuais perigos para a saúde pública (Alves, 2007).

#### *Microorganismos patogênicos*

São introduzidos na água através de animais de sangue quente. Todavia, eles têm uma sobrevivência limitada na água, podendo, no entanto, alcançar o ser humano por meio da ingestão ou contato com a água, causando-lhe doenças (febre tifóide; cólera, amebíase; giardíase). Apesar de se saber quais são os microorganismos responsáveis pelas doenças infectoparasitárias (vírus, bactérias e protozoários), a sua identificação e quantificação em água para o consumo muitas vezes não são praticáveis (Franco, 2003). Com os avanços científicos, essas dificuldades foram solucionadas com a descoberta das bactérias indicadoras da contaminação da água por material fecal, que foram denominadas de coliformes (Madigan *et al.*, 2010).

Segundo Alves (2007), são quatro as principais razões que levaram a escolha dessas bactérias como indicadoras de contaminação fecal, nomeadamente:



- a) Aparecem em grande quantidade nas fezes humanas. Cada pessoa pode eliminar até 100 mil milhões num único dia. Graças a isso, a possibilidade de serem encontrados na água é muito grande;
- b) São encontrados apenas nas fezes de animais de sangue quente (homem e todos os mamíferos) e não se reproduzem na água ou no solo, mas exclusivamente no interior do intestino. Esta característica é importante, pois uma vez identificada a sua presença, pode-se afirmar que a água teve contacto com as excreções desses animais;
- c) Apresentam um grau de resistência ao meio (à luz, ao oxigênio, ao cloro e a outros agentes destruidores de bactérias) comparável ao que é apresentado pelos principais patógenos intestinais que podem ser veiculados pela água. Dessa maneira, reduz-se a possibilidade de existirem patógenos fecais quando já não se encontram coliformes;
- d) A sua identificação, do ponto de vista laboratorial, requer técnicas simples e econômicas, ao contrário daquelas necessárias à identificação dos coliformes fecais.

Segundo Dantas e Di Bernardo (2005), há uma correlação entre o número de coliformes e organismos patogênicos. Quanto maior o número de coliformes, maior a probabilidade de presença de organismos patogênicos. O número de coliformes também está correlacionado com a turbidez da água: quanto menor a turbidez da água filtrada, menor o número de coliformes. A eficiência da desinfecção melhora com a diminuição da turbidez.

### ***Níveis de contaminação com *Escherichia coli****

As diretrizes da OMS classificam a presença de 1-10 *E. coli* por 100 ml no abastecimento de água como de baixo risco. Uma concentração de 10 - 100 é de risco intermediário (Tabela 3.5). Nos anexos (2, 3 e 4), são mostrados alguns gêneros de bactérias, protozoários, considerados patogênicos ao ser humano.

Tabela 3.5: Classificação de coliformes totais e fecais na água de abastecimento

Número de coliformes em 100 ml	Observação
0	Em conformidade com as diretrizes de OMS (1993)
1 – 10	Baixo risco
10 – 100	Risco intermediário
100 – 1000	Risco elevado
>1000	Risco muito elevado

Fonte: Meierhofer & Wegelin (2002)

### ***Testes para coliformes e Escherichia coli***

As bactérias do grupo coliformes podem ser classificadas em: coliformes totais e fecais (Oliveira, 2009):

#### ***a) Coliformes totais***

Este grupo é composto por bactérias da família *Enterobacteriaceae*, capazes de fermentar a lactose com produção de ácido e gás, quando incubados a 35–37°C, por 48 horas. São bastonetes gram-negativos, não formadores de esporos, aeróbios ou anaeróbios facultativos (Ray, 1996). Pertencem a este grupo predominantemente, bactérias dos gêneros *Escherichia*, *Enterobacter*, *Citrobacter* e *Klebsiella*. Destas, apenas a *E. coli* tem como habitat primário o trato intestinal do homem e animais. Os demais, além de serem encontradas nas fezes, também estão presentes em outros ambientes como vegetais e solo, onde persistem por tempo superior ao de bactérias patogênicas de origem intestinal como *Salmonella* e *Shigella* (Franco, 2003; Niemela, *et al.*, 2003).

#### ***b) Escherichia coli***

Pertencem a este subgrupo, os microorganismos que estão presentes no trato intestinal. Em laboratório, a diferença entre coliforme totais e fecais é feita através da temperatura. Os coliformes termotolerantes continuam vivos mesmo a 44°C, enquanto os totais têm crescimento à 35°C (Alves, 2007).

*E. coli* é a espécie predominante entre os diversos microorganismos anaeróbios facultativos que fazem parte da microbiota intestinal do homem e de animais. Entre as principais características deste microorganismo destacam-se: bastonetes gram-negativos, não esporulados, capazes de fermentar lactose com produção de gás (Silva *et al.*, 2000).

A pesquisa de *E. coli* fornece com maior segurança, informações sobre as condições higiênicas da água e melhor indicação da eventual presença de enteropatógenos como as bactérias *Salmonella sp.*, *Vibrio cholerae* e *Shigella sp.*, os vírus causadores de hepatite, poliomielite e gastroenterites e os protozoários *Cryptosporidium*, *Entamoeba sp* e *Giardia sp* (Ray, 1996; Greggi, 2005).

### **Métodos de análise microbiológica de água**

Os métodos comuns de contagem de amostras incluem: Técnica de tubos múltiplos; de membrana filtrante; Técnica de método rápido e Tecnologia do substrato enzimático Ortonitrofenil- $\beta$ -D-galactopiranosídeo–colilert<sup>®</sup>.

#### *a) Determinação de Escherichia coli e coliformes totais pela técnica da Membrana Filtrante*

Neste método, o produto em análise é homogeneizado e filtrado em membrana filtrante estéril de acetato de celulose ou nitrocelulose, de 0,45 $\mu$ m de porosidade, que permite a passagem do líquido e retém os microorganismos com dimensões maiores que o tamanho do poro. Após a filtração e retenção dos microorganismos, a membrana é transferida para uma placa de petri contendo o meio de cultura à escolha. O material é incubado e após a incubação, as colônias de coliformes são contadas, através de contadores eletrônicos que permitem determinar o número de coliformes presentes na amostra original de água (Franco, 2003). Esta técnica, apesar de seletiva na determinação do grupo coliforme, não indica uma separação específica das várias espécies de origem fecal do grupo coliforme.

b) *Determinação de Escherichia coli e coliformes totais pela técnica de número mais provável*

A técnica NMP, também denominada de Técnica de Fermentação em Tubos Múltiplos (TFTM), é uma maneira bastante empregada para estimar alguns tipos de microorganismos, como coliformes totais e fecais e até mesmo *S. Aureus* (Franco, 2003). Segundo Madigan *et al.* (2010), é empregado um meio de cultura líquido acondicionado em tubos de ensaios, nos quais são adicionadas amostras de água. O crescimento nos frascos de cultura indica a contaminação na água. Pelo número de tubos positivos em cada uma das diluições empregadas, determina-se o NMP, tendo como base as tabelas estatísticas de Hoskins.

c) *Determinação de Escherichia coli e coliformes totais pela técnica de Método Rápido*

A Técnica de Método Rápido surgiu na década 70, em consequência da necessidade de abreviar-se o tempo na obtenção de resultados analíticos e melhorar a produtividade laboratorial. Além disso, o método visava à simplificação do trabalho e a redução dos custos. Em relação a alguns métodos, essa vantagem alia-se a maior sensibilidade e especificidade que os métodos acima mencionados (Franco, 2003). Em 1992, a APHA publicou no SMEWW a Técnica de Substratos Definidos (TSD) para utilização na determinação da qualidade bacteriológica de águas para consumo humano, e a sua aprovação e padronização encontram-se na 18ª edição (APHA, 1992).

Técnicas baseadas em substratos enzimáticos fluorogênicos e/ou cromogênicos, têm sido desenvolvidas e envolvem a capacidade de detectar a presença de enzimas específicas com o emprego de substratos apropriados. A incorporação de tais substratos permite a detecção, enumeração e identificação de forma direta em placa de isolamento ou em caldo, evitando o uso de sub-culturas e testes bioquímicos para estabelecer a identificação de certos microorganismos (Manafi, 1995; Manafi & Rosmann, 1998; Manafi, 2000). Como *E. coli* e coliformes são os mais importantes indicadores da poluição de águas, algumas técnicas são capazes de detectar rapidamente estes microorganismos, através da adição de substratos enzimáticos para a detecção de b-D-galactosidase, que indica a presença de coliformes totais, e de b-D-glucoronidase, que indica a presença de *E. coli* (Silva *et al.*, 2000). Uma das formas usando substratos enzimáticos é abordada no item D.

O uso das técnicas dos Substratos Cromogênicos permite determinar simultaneamente *Escherichia coli* e coliformes totais presentes em amostras de água, utilizando apenas um meio de cultura. O tempo necessário para obtenção dos resultados confirmados varia entre 18 e 28 horas, dependendo do produto comercial utilizado, representando grande vantagem pela rapidez do resultado e a possibilidade de correção de problemas existentes, principalmente em sistemas de abastecimento público (Idexx, 2013).

d) *Tecnologia do substrato enzimático Orto-nitrofenil- $\beta$ -D-galactopiranosídeo-colilert<sup>®</sup>18*

A detecção e identificação da *Escherichia coli* e dos coliformes totais pela técnica do Substrato Cromogênico Enzimático Colilert (Idexx) e Coliquick (Hach) é fundamentada no substrato orto-nitrofenil- $\beta$ -D-galactopiranosídeo (ONPG), que é hidrolizado a orto-nitrofenol através da ação da enzima  $\beta$ -galactosidase produzida pelos coliformes totais. A constatação da presença de *E. coli* é obtida através da ação da enzima  $\beta$ -glucuronidase, que é caracteristicamente produzida pela *E. coli*, sobre o substrato 4-metilumbeliferil- $\beta$ -D-glucoronídeo (MUG); quando o MUG é degradado, o produto resultante (4-metilumbeliferona) apresenta fluorescência azul sob luz ultravioleta (360nm) (Silva *et al.*, 2000; Palmer, *et al.*, 1993). Nesta técnica, a presença de coliformes totais é confirmada pela alteração da coloração do meio, de incolor para amarelo.

Segundo, Idexx (2013), a mudança de coloração na reação enzimática ONPG/ MUG (figura 3.2) denota as seguintes características:

- I. Incolor: negativo (ausência coliforme)
- II. Amarelos: coliformes totais
- III. Fluorescência: *E. coli*



Figura 3.2: Mudança de coloração na reação enzimática ONPG/ MUG (Idexx, 2013)

### 3.2. Tecnologia convencional de tratamento de água

O tratamento da água, normalmente, é feito com finalidades higiênicas, estéticas e econômicas. Higiênicas no sentido de eliminar microorganismos, substâncias nocivas e impurezas. Estética com a finalidade de eliminar a cor, o sabor e o odor, e econômica com a finalidade de reduzir a corrosividade nas tubulações de distribuição (Oliveira, 2009).

De acordo com Okuda *et al.* (1999), a água pode apresentar uma grande quantidade de impurezas em suspensão. Dependendo de suas características físico-químicas, estas substâncias podem ter carga superficial negativa ou positiva, fazendo com que a repulsão eletrostática não permita que elas se aproximem, ficando em suspensão e aumentando a turbidez e a cor da água. Para clarificá-lá e purificá-lá, utilizam-se o processo convencional de tratamento, nomeadamente: coagulação, floculação, decantação, filtração e desinfecção.

#### 3.2.1. Coagulação-floculação-sedimentação

A técnica de tratamento físico-químico por coagulação-floculação-sedimentação é, amplamente, utilizada em sistemas de abastecimento de água e no tratamento de efluentes industriais.

## Colóides

São partículas presentes na água com diâmetro entre 0,001 e 1 $\mu$ m, podendo ser de origem natural ou artificial (Metcalf & Eddy, 2003). Os de origem natural podem possuir natureza orgânica ou inorgânica quando resultam da decomposição de compostos solúveis (polímeros orgânicos como húmus) ou da degradação de material insolúvel (Almeida, 2009). Os colóides de origem artificial derivam de materiais presentes em descargas de efluentes domésticos, industriais e agrícolas. A cor e a turbidez também podem provir destas partículas.

Segundo Dantas e Di Bernardo (2005), partículas coloidais como substâncias húmicas e microorganismos em geral, apresentam carga negativa na água. Quando duas partículas coloidais se aproximam, devido ao movimento browniano que as mantém em constante movimento, atua sobre elas uma força de atração (Forças de Van der Waals) e forças de repulsão (devido à força eletrostática ou da dupla camada elétrica), impedindo a agregação entre elas e, conseqüentemente, não formação de flocos. A Figura 3.3, apresenta a formação da dupla camada elétrica, também denominada camada compacta. A distância entre a superfície do colóide e os íons de carga contrária até o limite da camada difusa representa o potencial zeta.

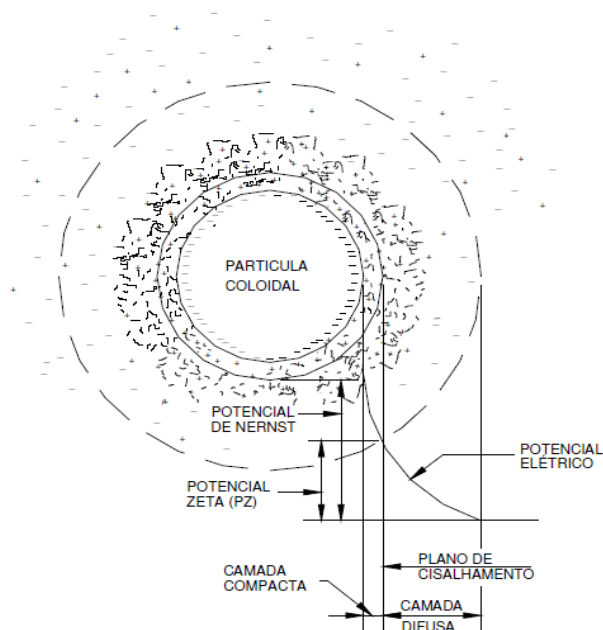


Figura 3.3: Configuração esquemática da dupla camada elétrica.

Fonte: Di Bernardo & Dantas (2005)

De acordo com Oliveira (2011), a adição de íons inorgânicos ou polieletrólitos causa a compressão da dupla camada elétrica, reduzindo a energia de repulsão e permitindo a agregação das partículas, conforme apresentado na figura 3.4.

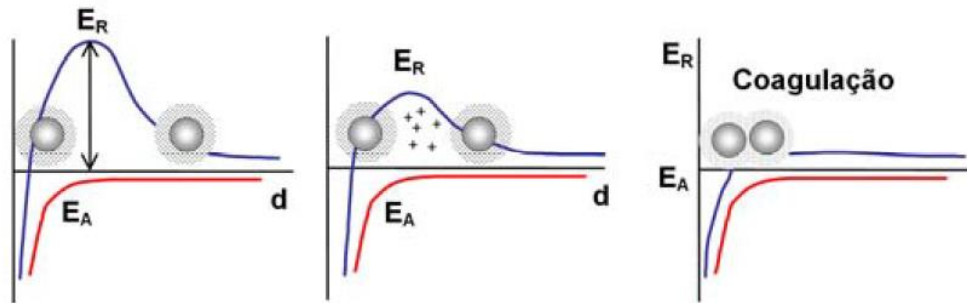


Figura 3.4: Mecanismo de agregação via adição de sais inorgânicos ou polieletrólitos

Fonte: Oliveira (2011)

Observando a Figura 3.4, é possível notar que, com o aumento da força iônica no meio ou adição de íons, ocasiona a compressão da camada difusa (Libânio, 2008), ou seja, o aumento no número de íons faz com que o volume da camada difusa seja reduzido (diminuição da espessura) para que a mesma se mantenha eletricamente neutra (Dantas e Di Bernardo, 2005). Segundo o mesmo autor, essa redução provoca redução do potencial elétrico em torno da partícula e, nesta situação, as Forças de Van der Waals são dominantes, eliminando a estabilização eletrostática.

Por meio do potencial zeta determina-se a carga eletrostática superficial das partículas coloidais presentes na água. Sua medida pode ser considerada como um bom índice para medir a magnitude das interações repulsivas entre tais partículas (Pavanelli, 2001).

A coagulação reduz o potencial zeta por meio de fornecimento de íons presentes nos coagulantes a tal ponto que se consiga a união de partículas coloidais, produzindo flocos (Richter e Netto, 1991), ou seja, reduzindo o potencial zeta reduz-se a repulsão que há entre as partículas e conseqüentemente as mesmas não apresentam oposição em se unir umas as outras.



### 3.2.2. Coagulação

A coagulação tem por objetivo a desestabilização das partículas coloidais com vistas a facilitar a sua aglomeração. A adição de coagulante (natural ou artificial) propicia à desestabilização dos colóides e formação de flocos. Os coagulantes, normalmente, utilizados são sais de ferro ou alumínio ou polímeros sintéticos. Produtos naturais, como o tanino e extratos de *Moringa oleifera* também podem causar a desestabilização das partículas coloidais. O coagulante é adicionado sob agitação rápida, com intuito de homogeneizar a mistura (Alves, 2007; Dantas e Di Bernardo, 2005). Uma das razões que leva a esse processo ser chamado de mistura rápida é porque são praticamente instantâneas as reações químicas que ocorrem entre o coagulante e as partículas que se deseja remover. A coagulação atua, principalmente, para remoção de turbidez e cor da água.

Segundo Di Bernardo & Dantas (2005), a coagulação resulta de dois fenômenos: primeiro, o químico, no qual ocorrem reações do coagulante com o líquido a ser tratado e formação de espécies hidrolisadas com cargas positivas; segundo, o físico, no qual há transporte das espécies hidrolisadas para que haja contacto com as impurezas presentes no líquido a ser tratado. Esse processo é rápido e pode variar desde décimos de segundos a cerca de centésimo de segundos, dependendo de características como pH, temperatura, quantidade de impurezas, concentração de coagulantes, entre outras. O transporte de partículas no sistema aquoso é, essencialmente, físico e é acompanhado de fenômenos, como difusão browniana, movimento do fluido e sedimentação. O processo é influenciado por parâmetros como a temperatura, gradiente de velocidade (número de oportunidades de colisões em um determinado tempo que duas partículas experimentam em função da energia externa fornecida ao sistema) e tamanho das partículas. Os mesmos autores consideram a coagulação química como o resultado da ação combinada de quatro possíveis mecanismos distintos:

#### a) *Compressão da camada difusa*

Consiste na introdução de um eletrólito num sistema coloidal que causa um aumento na densidade de cargas na camada difusa e diminuição da esfera de influência das partículas. Concentrações elevadas de íons positivos e negativos na água acarretam um acréscimo do número de íons na camada difusa que, para manter-se eletricamente neutra, necessariamente, tem

seu volume reduzido (diminuição da espessura), de modo tal que as forças de Van der Waals sejam dominantes, eliminando a estabilização eletrostática.

*b) Adsorção e neutralização*

Neste tipo de desestabilização, as partículas presentes na água bruta adsorvem, em suas superfícies, produtos de hidrólise do coagulante, que são capazes de neutralizar a carga elétrica dos colóides. A desestabilização por adsorção exige que a mistura rápida seja feita com muita energia e durante tempo muito pequeno. Os produtos da hidrólise do sulfato de alumínio que podem ser adsorvidos ficam na água durante apenas alguns segundos (0,0001 a 1 s).

*c) Varredura*

Após a formação dos produtos da hidrólise do alumínio, ocorre a formação do precipitado de hidróxido de alumínio por cerca de um a sete segundos. O hidróxido de alumínio  $[Al(OH)_3]$  formado arrastará as partículas em suspensão na água, formando um floco de tamanho maior e com velocidades de sedimentação mais altas que os flocos formados no processo de adsorção.

*d) Adsorção e formação de ponte*

As grandes cadeias moleculares produzidas pelas reações do coagulante na água possibilitam a formação de pontes com sítios disponíveis para a adsorção de colóides desestabilizados.

Segundo Felici (2010), há predominância dos mecanismos de adsorção-neutralização e varredura com o uso de coagulantes químicos. O mecanismo de adsorção-neutralização de cargas é muito importante quando o tratamento é realizado através de uma das tecnologias da filtração direta, pois não há necessidade da produção de flocos para posterior sedimentação ou flotação, mas de partículas desestabilizadas que serão retidas no meio granular dos filtros. O mecanismo da varredura é recomendado quando se tem a floculação e a sedimentação (ou flotação) como processo subsequente. É caracterizado pela utilização de altas doses de coagulante e, em geral, os flocos obtidos com esse mecanismo são maiores e sedimentam ou flutam mais facilmente do que os flocos obtidos com a coagulação realizada nos mecanismos de adsorção e neutralização de cargas.

Segundo Ribeiro (2010) e Richter & Netto (1991), para o correto dimensionamento e estudo da coagulação, são determinantes a eficiência de dois fatores: tempo de mistura e gradiente de velocidade. Isto porque a ação do coagulante depende do tempo de contacto entre este e a solução. Por sua vez, o gradiente de velocidade está diretamente relacionado com o grau e rapidez de mistura, entre o coagulante e a solução. Todavia, estes fatores podem ser apresentados em dois parâmetros (Tabela 3.6).

Tabela 3.6: Parâmetros típicos do processo de coagulação

Tempo de mistura (s)	20	30	40	>40
Gradiente de velocidade ( $s^{-1}$ )	1000	900	790	700

Fonte: Ribeiro (2010) e Richter & Netto (1991).

Geralmente são utilizados os tempos de mistura rápida de 20 a 60 segundos, embora em alguns ensaios de tratamento de água seja usado tempo de mistura pequeno (10 segundos) ou longo, de 2 a 5 minutos (Reynolds & Richards, 1995).

### 3.2.3. Floculação

Após a coagulação, ocorre o processo denominado por floculação que tem por objetivo promover o contato entre as partículas formadas na coagulação, através de uma mistura lenta das partículas desestabilizadas, favorecendo a agregação de flocos com maior volume e densidade, facilmente sedimentáveis (Alves, 2007). Segundo Di Bernardo e Dantas (2005), para a ocorrência dos choques ou contato entre as partículas, é necessário que haja agitação na água, provocada pelos gradientes de floculação. Esses gradientes devem ser limitados para que não ultrapassem a capacidade de resistência do cisalhamento das partículas e não destruam os flocos formados anteriormente.

De acordo com Alves (2007), a floculação é atribuída a dois processos: floculação pericinética e ortocinética. Na primeira, as partículas colidem devido à sua movimentação aleatória, e, na segunda, as partículas colidem devido à turbulência gerada na água por forças mecânicas externas. Partículas pequenas (menor que  $1\mu\text{m}$ ) estão submetidas à floculação

pericínética enquanto as de maior tamanho são afetadas, principalmente, pelo gradiente de velocidade do líquido, predominando a floculação ortocinética. A coagulação e floculação facilitam a formação de flocos mais densos que a água, possibilitando a sua clarificação. A remoção de sólidos e colóides são importantes para o aumento da eficiência do processo de desinfecção.

Algumas vezes, a formação de flocos mais densos pode ser alcançada com o uso de polieletrólitos. De acordo com Rivas *et al.* (2004), polieletrólitos são substâncias compostas por moléculas orgânicas de cadeia longa possuindo cargas iônicas em sua estrutura que facilitam a aglutinação das partículas, aumentando o tamanho dos flocos que, conseqüentemente, diminui o tempo de sedimentação. Polieletrólitos carregados positivamente são os tipos mais comumente usados no tratamento de água. Uma diferença importante entre o polieletrólito e coagulantes metálicos é que, no primeiro, as cadeias poliméricas já estão formadas quando estes são agregados à água, enquanto, no segundo, a polimerização inicia quando se põe o coagulante na água (Vanacôr, 2005).

Di Bernado e Dantas (2005) descreveram diversas vantagens da utilização de polímeros como auxiliares no processo de coagulação-floculação-sedimentação para o tratamento de água, dentre elas:

- Melhoria da qualidade do efluente tratado;
- Redução do consumo de coagulante e possível redução dos gastos totais com produtos químicos, e;
- Aumento da velocidade de sedimentação das partículas.

### ***Mecanismo de formação de flocos***

Segundo Oliveira (2011), o desencadeamento da floculação resulta na agregação das partículas por pontes poliméricas. Durante o processo, o polímero adsorve-se na interface partícula-solução, via pontes de hidrogênio, forças hidrofóbicas, interações químicas e/ou atração eletrostática, e formam flocos (Figura 3.5) de acordo com a sua cinética. O processo acontece da seguinte forma:

- Difusão das moléculas poliméricas sob condições hidrodinâmicas semi-turbulentas, seguida de adsorção na interface sólido/líquido;
- Conformação (configuração) superficial das moléculas poliméricas formando laços, caudas e trens (Fig. 3.6);
- Formação de pontes poliméricas por adsorção dos laços e caudas;
- Formação de flocos e crescimento sob agitação lenta.

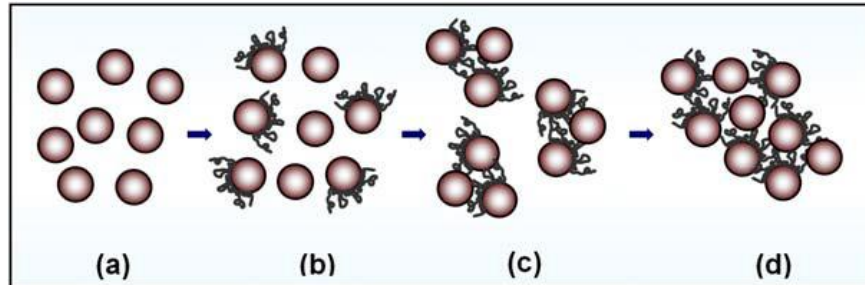


Figura 3.5: Mecanismos de floculação por pontes poliméricas.

Fonte: Oliveira (2011)

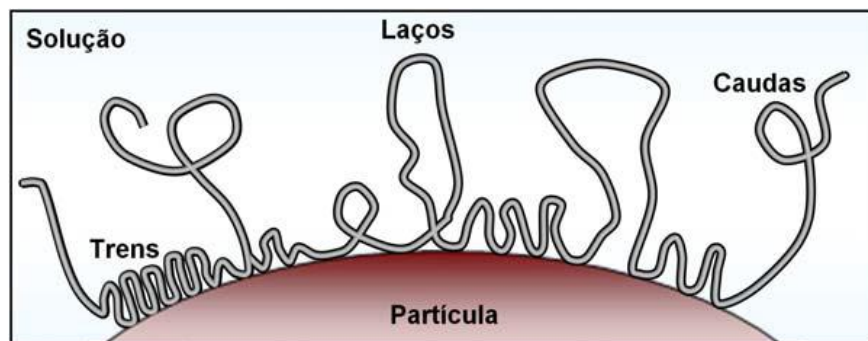


Figura 3.6: Formação de caudas, laços e na interface das partículas.

Fonte: Oliveira (2011)

### 3.2.4. Sedimentação ou decantação

Processo que, normalmente, segue à floculação, podendo ser definido como um fenômeno físico de separação de fases (sólido-líquido) em que as partículas apresentam movimento descendente devido à ação da força de gravidade, propiciando a clarificação do meio líquido (Ribeiro, 2010). O fenômeno consiste na utilização das forças gravitacionais para separar partículas de densidade superior a da água, depositando-as em uma superfície ou zona de

armazenamento. Quanto maior a velocidade de sedimentação, menor é o tempo necessário para a clarificação. No entanto, partículas que não são removidas na sedimentação, seja por seu pequeno tamanho ou por serem de densidade muito próxima a da água, deverão ser removidas na filtração.

Há quatro tipos de sedimentação:

- Discreta ou tipo I: Neste tipo de sedimentação admite-se que durante tal processo as partículas não têm sua densidade, tamanho e formato alterados. Admite-se também que as partículas são independentes umas das outras, decantando como entidades individuais, sem a interação com partículas vizinhas e com velocidade de sedimentação constante;
- Floculenta ou tipo II: considera que este fenômeno seja o mais completo para descrever a sedimentação, considerando que a velocidade de sedimentação das partículas não é constante, aumentando com o tempo devido ao aumento do tamanho das partículas. A dimensão física da partícula é alterada durante o processo de sedimentação, devido a encontros e agregação entre partículas, desta forma ocorre uma variação na velocidade de sedimentação das partículas, sendo que ao longo da sedimentação a trajetória das partículas sofre alterações (Mendes, 2008);
- Zonal ou tipo III: as partículas sedimentam em massa, isto é, partículas ficam próximas e interagem;
- Por compressão ou tipo IV: as partículas se compactam como lodo.

### ***Objetivos e aplicações da sedimentação***

- Remoção de areia: para evitar erosão, depósitos entupimentos em bombas e instalações mecânicas;
- Remoção das partículas sedimentáveis finas (sem coagulação): quando se utilizam águas de rios com grande transporte de sólido (alta turbidez);
- Retenção de flocos: decantação após coagulação: quando se utilizam processos de coagulação para remoção de matéria coloidal, cor e turbidez, após floculação química.

### ***Fatores intervenientes na coagulação, floculação e sedimentação***

O processo de coagulação, floculação e sedimentação depende, fundamentalmente, das características do líquido a ser tratado e sofre os efeitos do tipo e da dosagem de coagulante utilizado, do pH de coagulação, do tempo e do gradiente de velocidade da mistura (lenta e rápida) e de floculação (Di Bernard e Dantas, 2005). Os seguintes fatores no processo de clarificação:

- Espécie de coagulante: ferro; alumínio e outras substâncias;
- Quantidade de coagulante: turbidez e cor a serem removidas e o teor bacteriológico;
- Teor e tipo da cor e turbidez: maior ou menor quantidade de colóides e de emulsificantes; substâncias coloridas diversas; alcalinidade; teor de ferro e da matéria orgânica;
- pH da água: há um pH ótimo de coagulação e floculação, que é determinado experimentalmente;
- Tempo de misturas rápida e lenta: a rápida proporciona a distribuição uniforme do coagulante na água: a lenta favorece a formação de flocos;
- Temperatura: a coagulação ocorre de forma melhor em temperaturas mais altas. Em temperaturas mais baixas há um aumento no consumo do coagulante;
- Agitação: baixa velocidade de agitação pode reduzir a formação dos flocos enquanto que velocidades excessivas podem ocasionar a quebra dos flocos formados.
- Presença de núcleos: os coadjuvantes (aditivos de floculação) podem ajudar na promoção de núcleos mais densos para geração de flocos mais pesados.

#### **3.2.5. Ensaio de jarteste na coagulação–floculação–sedimentação**

Segundo Alves (2007) e Cavalcanti, (2009), o ensaio de jarteste simula, à escala laboratorial, uma sequência completa de coagulação (mistura rápida), floculação (mistura lenta) e sedimentação, para amostras de água bruta com diferentes características. Os ensaios de Jarteste objetivam determinar a dosagem ótima de coagulante e floculante (aquela que é economicamente mais viável, ou seja, que com a menor quantidade de coagulante dosado, se consiga obter a maior redução em termos de cor e turbidez da água bruta, no menor espaço de tempo possível); pH ótimo da floculação; gradiente de velocidade; potência necessária à

formação de flocos e o tempo de mistura, a fim de assegurar uma maior eficiência do sistema. O ensaio decorre numa série de jarros com volumes iguais de água dotadas em cada um deles de agitadores de velocidades variáveis controlados por tração magnética (50 a 120 rpm), aos quais são adicionadas quantidades variáveis da solução coagulante de forma a produzir diferentes dosagens. Depois são submetidos a condições idênticas de mistura e sedimentação, e compara-se a remoção de cor e turbidez tirando-se conclusões acerca das doses ótimas. A seleção do coagulante deve atender a diversos fatores, como:

- a) Características e qualidade da água bruta, nomeadamente a concentração de matéria coloidal, emulsões e microorganismos exercem influência nos níveis de turbidez e cor, e, por sua vez, estes parâmetros condicionam a eficiência do tratamento. Por exemplo, a remoção do protozoário *Giardia* no processo de coagulação está estreitamente ligada à eliminação da turbidez;
- b) A variabilidade diária ou sazonal da qualidade da água bruta também afeta a etapa de clarificação;
- c) A variação da temperatura: a clarificação ocorre de forma mais eficiente a temperaturas mais altas e o consumo de coagulante aumenta com o decréscimo deste.

De acordo com Alves (2007), o gradiente de velocidade e o tempo de mistura, são características essenciais que devem ser estudadas em todo, de maneira a atingir os objetivo básico da floculação, reunir os microflocos para partículas maiores com peso específico superior ao da água.

Segundo Dantas e Di Bernardo (2003), quando existe a predominância do mecanismo de varredura, o gradiente de mistura rápida deve-se situar entre 500 e 1200s<sup>-1</sup> e o tempo de mistura rápida deve ser igual ou inferior a 60 segundos, mas a faixa ideal do mecanismo de varredura é de 10 a 70s<sup>-1</sup>.

Segundo a NBR 12216, os projetos de estações de tratamento de água para abastecimento público, quando não haver possibilidade de serem feitos ensaios para a determinação das



condições ideais de formação de flocos, devem ser adotados valores de gradiente de velocidade entre 700 e 1100 s<sup>-1</sup> e tempo de mistura entre 1 e 5 segundos.

### 3.2.6. Filtração

Operação que tem por objetivo a remoção de partículas em suspensão por passagem da água que as contém através de um meio poroso. Tem a finalidade de eliminar matéria suspensa que não tenha sido removido nas fases de sedimentação, coagulação e floculação (Alves, 2007; Di Bernard e Dantas, 2005). Em certos casos, pode ser utilizada como operação de remoção primária da turbidez. A filtração permite a remoção de sólidos em suspensão e possibilita a redução do número de microorganismos. Dependendo da natureza do meio, também pode remover o cheiro, sabor e cor (Alves, 2007).

Há dois tipos de filtração, a lenta e a rápida:

#### a) *Filtração Lenta:*

O material filtrante é colocado numa caixa e a água escoar na vertical por ação da gravidade; os grãos do material de enchimento são finos, a fim de garantirem uma velocidade de escoamento lenta; quando a queda de pressão no leito filtrante atinge um valor limite é necessário interromper a operação e proceder a uma limpeza manual; a concepção e a operação dos filtros lentos são simples e de baixo custo.

O leito filtrante apresenta espessura de 0,70 a 1,40 m e camada suporte de 30 a 40 cm. Todavia, diversas pesquisas pilotos têm demonstrado que a retenção de impureza e a remoção de microorganismos se efetuam na camada superficial do leito, de espessura inferior a 10 cm, na qual se desenvolve a película biológica (Bastos *et al.*, 2006). As principais limitações referem-se essencialmente às características da água bruta e, para sistemas de maior porte, à maior necessidade de área, decorrente das baixas taxas de filtração, frequentemente inferiores a seis m<sup>3</sup>m<sup>-2</sup>d<sup>-1</sup>. A filtração lenta torna-se mais vantajosa para pequenas e médias comunidades, nas quais o custo do terreno assume menor relevância, quando cotejado com outros insumos.

**b) Filtração rápida:**

O material filtrante é colocado numa caixa aberta e a água escoar na vertical por ação da gravidade; quando a queda de pressão no meio do leito atinge um valor limite procede-se à sua lavagem por inversão do sentido do escoamento; é um tipo de filtração usado à jusante de uma sequência de tratamento de água por coagulação, floculação e sedimentação.

Nas estações de filtração com escoamento descendente, predominam os filtros de dupla camada, constituídas de antracito ou areia, de espessura 15 a 35 cm e 45 a 90 cm, respectivamente. Em razão da densidade do antracito (1,4) ser significativamente inferior à da areia (2,65), e a sua porosidade superior (0,48 a 0,38), sucedendo uma acentuada penetração das partículas do carvão no leito filtrante durante a lavagem. Tal disposição acarreta uma elevação mais gradual da perda de carga e carreiras de filtração mais longas. Dessa forma, as instalações de filtração direta podem operar com taxas de 240 a 360 m<sup>3</sup>m<sup>-2</sup>d<sup>-1</sup> (Bastos *et al.*, 2006).

Os filtros ascendentes apresentam leito filtrante de areia com espessura da ordem de 1,80 m, camada suporte de 40 cm e operam com taxas de filtração entre 120 a 180 m<sup>3</sup>m<sup>-2</sup>d<sup>-1</sup>. São capazes de assimilar eventuais picos de turbidez da água bruta. Isto se deve a espessura e a granulometria do leito, com o escoamento realizando-se no sentido da gradual redução dos diâmetros dos grãos.

**3.2.7. Desinfecção**

É um processo de tratamento que tem como objetivo de inativação de microorganismos patogênicos presentes na água (bactérias, protozoários, vírus e vermes) potencialmente nocivos à saúde dos consumidores. Embora a maior parte dos organismos sejam removidos por tratamento de água convencional (coagulação, floculação, sedimentação e filtração) a sua erradicação só é garantida através da desinfecção (Alves, 2007).

Entre os agentes da desinfecção, o mais largamente empregado na purificação da água é o cloro, que pode ser administrado na forma diatômica (Cl<sub>2</sub>), como hipoclorito de sódio (NaOCl) e de cálcio (CaOCl), como cloroaminas (NH<sub>2</sub>Cl) ou como dióxido de cloro (ClO<sub>2</sub>). Além do cloro, outras substâncias químicas que apresentam propriedades desinfetantes são o ozônio (O<sub>3</sub>), o

permanganato de potássio ( $\text{KMnO}_4$ ), o íon ferrato ( $\text{FeO}_4^{2-}$ ) e o ácido peracético ( $\text{CH}_3\text{COOOH}$ ), além de ações combinadas, como ozônio e peróxido de hidrogênio ( $\text{O}_3$  e  $\text{H}_2\text{O}_2$ ). Por serem oxidantes muito fortes, podem gerar subprodutos que podem causar danos aos usuários da água tratada (Daniel *et al.*, 2001).

A presença de material em suspensão, e conseqüente teor de turbidez, reduz a eficiência da desinfecção na inativação dos microorganismos patogênicos. Diversas pesquisas confirmaram uma menor remoção de coliformes na desinfecção com compostos de cloro quando a turbidez se eleva acima de 1,0 uT (Bastos *et al.*, 2006).

De acordo com Alves (2007), a principal desvantagem do cloro é a sua reação com substâncias orgânicas que se encontram dissolvidas na água, dando origem a compostos organoclorados como: triclorometano, diclorometano, dibromoclorometano e bromoformio. Estes compostos apresentam propriedades carcinogênicas e são prejudiciais à saúde humana. Com relação ao ozônio, o autor cita como principal desvantagem, o fato de não ter efeito residual de desinfecção.

Após a desinfecção, a água deve conter um teor mínimo de cloro residual livre de 0,5 mg/l, sendo obrigatória a manutenção de, no mínimo, 0,2 mg/l em qualquer ponto da rede de distribuição. Recomenda-se que a cloração seja realizada em pH inferior a 7,0 com tempo de contacto mínimo de 30 minutos (Tominaga, 2009). Segundo o mesmo autor, admite-se a utilização de outro agente desinfetante ou outra condição de operação do processo de desinfecção, desde que fique demonstrado pelo responsável pelo sistema de tratamento uma eficiência de inativação microbiológica.

Entres os fatores que influenciam a desinfecção e o tipo de tratamento a ser implementado de acordo com Laubusch (1971), podem ser mencionados:

- a) Espécie e concentração do organismo a ser inativado;
- b) Espécie e concentração do agente desinfetante;
- c) Tempo de contacto;
- d) Características químicas e físicas da água;

e) Grau de dispersão do agente desinfetante na água.

### ***Barreiras físicas e químicas contra Cryptosporidium e Giardia***

Por muitos anos, a adição de cloro à água potável parecia ser tratamento suficiente para inativação de organismos patogênicos. Contudo, o cloro pode reagir com matéria orgânica na água e formar subprodutos clorados (ex. Trihalometanos – THMs). Além disso, após inúmeras pesquisas realizadas, sabe-se que patógenos emergentes, como *Cryptosporidium* sp e *Giardia* sp são resistentes ao tratamento com este desinfetante, nas doses comumente utilizadas (AWWA, 1991). Uma variável que é adotada para verificar a eficiência de um desinfetante na inativação de patógenos é o produto entre a concentração do desinfetante e o tempo de contacto (Equação 3.1).

$$K = C \times T \quad \text{(Equação 3.1)}$$

onde:

C – concentração do desinfetante (mg/l);

T – tempo de contato (min)

O *Cryptosporidium* pode resistir até 18 horas em soluções de 1 a 3% de cloro livre. Os cistos de *Giardia* conservam sua viabilidade em água a 8°C por mais de dois meses, a 21°C até um mês e a 37°C cerca de quatro dias. Oocistos de *Cryptosporidium* podem permanecer variáveis por vários meses em água entre 4 e 10°C (Medema., 1997 apud Hsu *et al.*, 1999).

Segundo Rincon & Pulgarin (2007) e Sanches (2003), atualmente, uma alternativa que pode ser usada para evitar a situação acima mencionada, é o uso da desinfecção por radiação solar, embora esta seja limitada a pequenos volumes de água. Ela tem-se mostrado capaz em destruir microorganismos, devido ao efeito sinérgico da radiação ultravioleta (UV) e o aquecimento da água por radiação infravermelha.

A Tabela 3.7 mostra que, o cloro não é um biocida efetivo contra *Cryptosporidium* e *Giardia*, quando comparado a oxidantes alternativos como ozônio (O<sub>3</sub>) e dióxido de cloro (ClO<sub>2</sub>) (AWWA, 1991 apud Gordon e Bubnis, 2000).

Tabela 3.7: Valores de K para inativação de diversos microorganismos

Microorganismo	Temperatura (°C)	Inativação (%)	Valores de K			
			Cloro Ativo (pH 6-7)	Cloraminas (pH 8-9)	Ozônio	Dióxido de cloro
<i>E. coli</i>	5	99	0,034 - 0,05	95 – 180	0,02	0,4-0,8
Poliomelites 1	5	99	1,1 - 2,5	768 – 3740	-	-
Rotavirus	5	99	0,01 - 0,05	3806 – 6476	0,01-0,06	0,2-2
Cistos de <i>Giardia lambila</i>	25	99,99	47 – 150	-	0,5-0,6	26
Cistos de <i>Giardia muris</i>	5	99	30 – 630	2200 (pH 6 - 9)	-	-
<i>Cryptosporidium parvum</i>	25	99	7200 (pH 7)	1400	5-10	78

Fonte: Gordon e Bubnis (2000); Bastos *et al.* (2001)

A desinfecção solar (SODIS) é referida como uma técnica eficiente para inativação de *Cryptosporidium* e *Giardia* (Wegelin, 2002).

### 3.3. Tecnologia simplificada de tratamento água para consumo humano

#### 3.3.1. Clarificação da água com o uso de *Moringa oleifera* como coagulante

Nos últimos anos, e em muitos lugares do mundo, tem-se verificado o uso de espécies de plantas com capacidade de tratar água com alta turbidez (Abreu Lima, 2007). Dentre várias espécies testadas, as da família Moringaceae tem mostrado uma maior eficiência. As espécies dessa família têm demonstrado um uso potencial como coagulantes e floculantes para remoção de impurezas e clarificação da água. As espécies que têm apresentado resultados significativos são: *Moringa oleifera* e *Moringa stenopetola* (Borba, 2001). A Tabela 3.8 mostra algumas famílias de plantas cujos extratos das sementes têm propriedade coagulante.

Tabela 3.8: Famílias vegetais com capacidade coaguladora

Família	Número de espécie usada para clarificar água bruta
<i>Acanthaceae</i>	3
<i>Anacardiaceae</i>	5
<i>Annonaceae</i>	3
<i>Araceae</i>	2
<i>Cactaceae</i>	11
<i>Capparidaceae</i>	8
<i>Malvaceae</i>	5
<i>Moringaceae</i>	7
<i>Papilionidaceae</i>	13
<i>Tiliaceae</i>	7

Fonte: Jahn (1988) &amp; Borba (2001)

Segundo Okuda *et al.* (1999), em pequenas comunidades rurais, a polpa da *Moringa* é usada diretamente na remoção da turbidez. Mendes & Coelho (2007) relatam que duas a três sementes da *Moringa oleifera*, dependendo da turbidez da água a tratar, são colocadas dentro do recipiente contendo um litro de água. Após duas horas de permanência, o sobrenadante é retirado, podendo ser usado para consumo. A *Moringa* possui, na composição da sua semente, proteínas catiônicas. Por serem solúveis em água, estas proteínas, em contacto com as partículas de carga negativa dos colóides, atuam principalmente, pelos mecanismos de adsorção e neutralização de cargas.

### 3.3.1.1. *Moringa oleifera*

A aplicação das sementes de *Moringa* como coagulante resulta em menor volume de lodo do que o produzido por sais de alumínio. Além disto, não apresenta riscos à saúde (Ndabigengesere & Narasiah, 1998). Lédo *et al.* (2010), confirmam que *Moringa* funciona como eficiente coagulante, cujo efeito é comparável ao do sulfato de alumínio, sendo uma tecnologia de baixo custo e aceitável do ponto de vista ambiental.

Por estas razões, alguns países como Japão, China, Índia e os Estados Unidos adotam, em algumas circunstâncias, coagulantes–floculantes e polímeros naturais no tratamento de água de superfície para produção de água potável (Kawamura, 1991). Segundo o mesmo autor, esses coagulantes apresentam várias vantagens em relação aos coagulantes químicos, por serem biodegradáveis e não tóxicos.

As sementes da *Moringa oleifera* contêm quantidades significativas de proteínas solúveis com carga positiva (Tabela 3.9). Quando o pó das sementes é adicionado à água turva, as proteínas libertam cargas positivas atraindo as partículas carregadas negativamente, como lodo, argila, bactérias, e outras partículas tóxicas presentes na água. O processo de floculação ocorre no momento em que as proteínas se ligam com as cargas negativas formando flocos, agregando as partículas presentes na água (Schwartz, 1996).

Tabela 3.9: Característica de extratos aquosos de sementes de *Moringa oleifera*

Parâmetros	Unidade	Com casca	Sem casca
pH		6,4	5,8
Condutividade	μSiemens	1500	1700
Alcalinidade	mg/l CaCO <sub>3</sub>	246	60
Ca <sup>2+</sup>	mg/l	14,5	15,2
Mg <sup>2+</sup>	mg/l	47,9	30,6
Na <sup>+</sup>	mg/l	13,4	24,4
K <sup>+</sup>	mg/l	42,9	63,6
Fe <sup>3+</sup>	mg/l	3	5
Cl <sup>-</sup>	mg/l	19	11
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	mg/l	9	8
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	110	140
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	mg/l	208	187

Fonte: Ndabigengesere & Narasiah (1998)

Um exemplo de coagulante e floculante usados no tratamento de água como polímero natural é a semente da árvore tropical *Moringa oleifera*, que contém ativos com excelente atividade e propriedades coagulantes. O extrato das sementes tem a capacidade de redução da quantidade de lodo e de bactérias de esgoto (Muyibi e Evison, 1995).

Schwartz (2000), afirma que a semente da *Moringa* passou a ser utilizada como alternativa de coagulante e, desta forma, quando adicionadas a um meio aquoso atua como magneto, atraindo a matéria orgânica de carga negativa que está em suspensão no líquido. A *Moringa* pode clarificar água com turbidez média, baixa e alta. A Tabela 3.10 mostra a composição química das sementes de *Moringa*.

Tabela 3.10: Composição química das sementes de *Moringa*

Parâmetros	Unidade	Valores
Umidade	%	6,3
Açúcares solúveis	g/100g	3,14
Oligossacarídeos	g/100g	3,31
Amido	g/100g	6,02
Proteínas	g/100g	39,3
Lipídeos	g/100g	18,8

Fonte: Price (2000)

A proteína é o composto encontrado em maior quantidade, aproximadamente 40%. A proteína das sementes de *Moringa* é o composto de maior importância no processo de clarificação da água. É relatada presença de uma proteína catiônica dimérica de alto peso molecular, que desestabiliza as partículas contidas na água e através de um processo de neutralização e adsorção, floculam os colóides seguindo-se de sedimentação (Ndabigengesere *et al.*, 1998).



### ***Possíveis substâncias coagulantes encontradas na semente da Moringa oleifera***

Testes fitoquímicos e estudos espectrais conduziram à elucidação de um glicosídeo esteroidal strophantidin como um agente bioativo na semente (Fuglie, 1999).

Em outro estudo, Gueyrard *et al.* (2000), observou que há mais evidência de que o responsável pela ação coagulante da *Moringa* seja um composto amídico. As sementes de *Moringa* contém entre 8 e 10% de glucosinolatos (Figura 3.7), que são uma classe homogenia de combinações de tiosacarídeos naturais. Estes podem ser hidrolisados através da enzima mirosinase e conseqüentemente produzir D-glicose, particularmente isotiocianatos. A Figura 3.7 mostra a estrutura da possível substância coagulante da semente da *Moringa*.

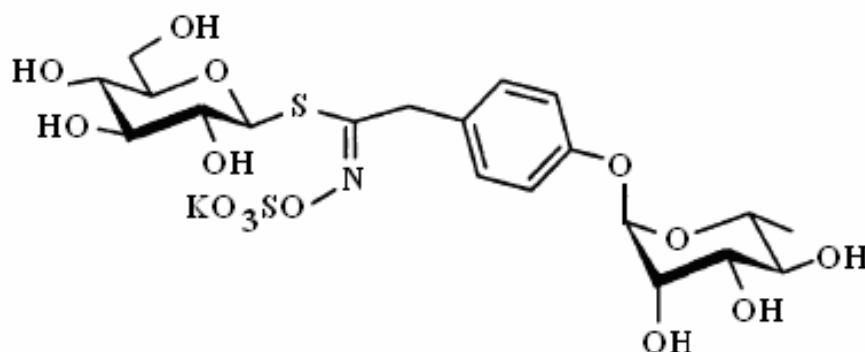


Figura 3.7: Estrutura de glucosinolato presente na semente de *Moringa*

Fonte: Gueyrard *et al.* (2000).

Ndabigengesere *et al.* (1998) sugeriram que a eficiência da coagulação é devido aos componentes de coagulação ativos nas sementes da *Moringa*, as quais eram formadas por estruturas protéicas catiônicas solúveis, com peso molecular em torno de 13 KDa e pH isoelétrico em torno de 10 e 11. Foram identificados 6 polipeptídios na *Moringa oleifera*.

### ***Descrição da espécie***

*Moringa oleifera* (Figura 3.8) é uma planta tropical de pequeno porte, perene, pertencente à família Moringaceae (Katayon et al, 2006) composta de um gênero (*Moringa*) e 14 espécies conhecidas. A espécie é nativa da Índia e cresce muito bem em zonas tropical e subtropical

(Bhatia *et al.*, 2007). É polímero orgânico natural, tolerante à seca e não tóxico, que tem um valor nutricional e medicinal. Ela é designada *Moringa oleifera* porque produz muito óleo vegetal (Katayon *et al.*, 2006). Suas folhas, flores, frutos e raízes são usados localmente como ingredientes alimentares.



Figura 3.8: Planta da *Moringa oleifera*

As propriedades medicinais e terapêuticas da *Moringa* levaram a sua utilização na cura de doenças (Akhtar *et al.*, 2007). Além disso, o extrato das sementes é usado como coagulante (Ghebremichael *et al.*, 2005). Por outro lado, a capacidade das sementes da *Moringa* (Figura 3.9a e 3.9b) de coagular/flocular colóides em águas naturais é atribuída a uma proteína flocculante, isolada pelos pesquisadores (Gassenschmidt *et al.*, 1995), que tem massa molecular na ordem de 150 mil unidades (Girardi, 2009). Price (1985) compara os valores nutricionais das folhas (3.9c), vagens e o pó por 100g da porção comestível (Tabela 5 do anexo).



Figura 3.9a: Vagens verdes e secas com semente de *M. oleifera*

Fonte: Araújo (2009)



Figura 3.9b: Vagem e sementes de *M. oleifera*

Fonte: Araujo (2009)



Figura 3.9c: Folhas de *M. oleifera*

Fonte: Araújo (2009)

Girardi (2009) testou as sementes da *Moringa* para tratamento de vinhaça. Esse estudo apresentou resultados positivos de tratabilidade, principalmente no que diz respeito à remoção de sólidos, cor e turbidez.

### 3.3.1.2. Coagulação e floculação com *Moringa oleifera*

Nkurunziza *et al.* (2009) relatam o uso de *Moringa oleifera* como coagulante no tratamento de água tanto a nível familiar quanto em escala industrial. Relativamente ao tratamento por coagulação–floculação de águas residuais ou destinadas ao consumo humano, Okuda *et al.* (1999) relatam estudos em que as percentagens de remoção de turbidez utilizando tanto a semente como o extrato aquoso da planta atingiram 80 a 99% (Okuda *et al.*, 1999).

Além de remoção de turbidez, as sementes da *Moringa* têm demonstrado um desempenho favorável na remoção de compostos orgânicos dissolvidos como benzeno, tolueno, etilbenzeno e isopropilbenzeno (Akhtar *et al.*, 2007).

Segundo autores como Pinto & Hermes (2006), Amagloh & Benang (2009) e Gomes (2011), o uso da *Moringa* apresenta vantagens e desvantagens, quando comparadas com coagulantes inorgânicos a base de alumínio e ferro. Entre as vantagens podem ser:

- a) Não provoca alteração de pH, condutividade, alcalinidade e concentração de cátions e ânions, com exceção de ortofosfatos e nitratos, na água tratada, em oposição ao uso de alumínio como coagulante;
- b) Como não provoca alterações no pH nem na alcalinidade, não são necessários ajustamentos destes parâmetros após à coagulação, nem provoca problema de corrosão;
- c) A eficiência no processo não depende do pH da água bruta;
- d) Não provoca alteração do sabor da água;
- e) Produzem muito menor volume de lodo cerca de 4 a 5 vezes menos, em relação ao uso de alumínio. Não obstante a isso, o lodo gerado encontra-se livre de metais pesados quando comparado com o lodo gerado com uso de constituintes químicos;
- f) Baixo custo, favorecendo países em desenvolvimento, pois permite o tratamento de água sem custos elevados.

As desvantagens citadas são (Pinto & Hermes, 2006; Amagloh & Benang, 2009; Gomes, 2011; Ghebremichael *et al.*, 2005):

- a) A presença de alguns resíduos de *Moringa* na água tratada pode provocar um aumento na concentração de ortofosfatos e nitratos, que por sua vez, podem causar mau cheiro, odor e sabor na água tratada quando conservada por vários dias;
- b) Apesar de conseguir eliminar grande parte de organismos patogênicos, ainda é necessário um tratamento posterior de modo a tornar a água potável;
- c) O coagulante deve ser previamente pilado ou moido antes de ser utilizado;
- d) No próprio tratamento de água para consumo humano em ETA, a maior preocupação é em relação ao extrato aquoso da *Moringa oleifera*, pois sendo rico em matéria orgânica, em nutrientes e em vitaminas, pode interferir com os desinfectantes e fazer aumentar a carga orgânica;
- e) Em caso de excesso de matéria orgânica, pode ser considerada fonte de cor, sabor e odor à água, tornando-a não apreciada pelos consumidores e fazendo com que tanto a água tratada com o extrato aquoso em bruto não deva ser armazenada por mais de 24 horas.

### ***Eficiência da Moringa oleifera no tratamento da água***

Nas zonas rurais, a purificação da água é realizada triturando as sementes. Com uma colher de sopa, mistura-se o pó em função da quantidade de impurezas presentes na água, pois a dosagem de pó necessária varia em função da turbidez presente na água (Herculano, 2012). A água é agitada intensamente durante um minuto, e suavemente num espaço de cinco minutos. Após esse período, posiciona-se a garrafa em uma mesa ou no chão para a sedimentação dos flocos formados. O lodo formado, contendo micróbios e outras impurezas, permanece no fundo da garrafa, enquanto a água limpa fica no sobrenadante. Depois de algum tempo, normalmente, uma a duas horas, a água já pode ser consumida. Assim como todos os coagulantes, a eficiência das sementes pode variar de uma água para outra, e o tempo necessário para a coagulação depende do nível de turbidez da água (Schwartz, 1996).

Na África, as sementes da *Moringa oleifera* são usadas na clarificação de águas turvas, e sua eficiência, vem sendo confirmada em laboratório e em projetos de abastecimento de água para casas isoladas nas zonas rurais de vários países do mundo (Tominaga, 1999). As sementes

apresentam propriedades coagulantes, bactericidas, não são tóxicas para humanos e animais, além de que, o pH e gosto da água não são modificados (Jahn, 1988).

As sementes da *Moringa oleifera* quando usadas como coagulantes apresentam dois efeitos: primeiro, o efeito de tratamento físico (diminuição da turbidez) da água pela coagulação do material em suspensão (Figura 3.10: água não tratada com *Moringa*); segundo, o efeito de tratamento biológico, que elimina os microorganismos patogênicos devido à ação de dois fatores: i) grande parte dos microorganismos é eliminada depois da coagulação junto com o lodo retido, clarificando a água (Figura 3.10: água tratada com *Moringa*); ii) os cotilédones contêm uma substância antimicrobiana que aumenta o efeito do tratamento biológico da água (Jahn, 1998).



Figura 3.10: Frascos de água não tratada (à esquerda) e tratada (à direita) com *Moringa*  
(fonte: [www.moringatrees.org](http://www.moringatrees.org))

A *Moringa oleifera* tem sido utilizada inclusive no tratamento de águas residuárias industriais. Por exemplo, Vieira *et al.* (2009) afirmam que sua utilização como adsorvente no tratamento de águas residuais de uma indústria de laticínios permitiu a remoção da turbidez e da cor na ordem de 98%. Os resultados mostraram que a semente manteve o seu poder de adsorção sob uma gama de pH entre 5,0 a 8,0.



Kumari *et al.* (2006) afirmam que menores custos de produção são obtidos com o uso da semente da *Moringa* em relação aos coagulantes químicos. É possível produzir, em um hectare, 3000 kg de semente da *Moringa* por ano, quantidade suficiente para tratar 30 milhões de litros de água ou efluente com turbidez acima de 100 UNT.

Num estudo realizado por Nishi *et al.* (2011) utilizaram a água bruta com turbidez inicial de 50, 250 e 450 UNT, tendo obtido uma remoção de turbidez variou de 3 – 76% para água com turbidez inicial de 50UNT, de 69 – 95% para água com turbidez de 250UNT e de 61 – 97% para água com turbidez de 450UNT. O potencial coagulante da *Moringa oleifera* é superior para valores muito elevados de turbidez (Katayon *et al.*, 2006)

Ali *et al.* (2010) mediram remoções de até 96% de turbidez em água de rio com 34–36 UNT quando as sementes de *Moringa oleifera* forem usadas com concentração de 0,4 mg/l. A turbidez residual foi de 2,3 UNT, abaixo do valor recomendado pela OMS (5UNT).

Segundo Paterniani (2004), as dosagens recomendadas de sementes para o tratamento de águas são dadas de acordo com a turbidez da água bruta (Tabela 3.11). Nishi *et al.* (2011) afirmam que para água de baixa turbidez (menores que 50) as remoções mais altas (média de 73%) ocorreram no intervalo de concentração 75 a 175 mg/l de solução de *Moringa*. Para as amostras de maior turbidez (250 e 450UNT), as eficiências de remoção acima de 90% ocorreram a partir da concentração de 125 mg/l.

Tabela 3.11: Solução de *Moringa* recomendadas em função da turbidez da água bruta

Turbidez da água bruta (uT)	Solução da <i>Moringa</i> (mg/l)
<50	10 a 50
50 a 150	30 a 100
>150	50 a 200

Fonte: Paterniani (2004)

Mantovani e Paterniani (2006) realizaram estudos com extratos de sementes da *Moringa oleifera* em amostras de água com turbidez na faixa de 50 e 100 UNT. Foi mostrado que, para uma água com uma turbidez de 50 UNT, a maior eficiência da concentração de extrato de *Moringa* foi verificada na faixa de 150 a 300 mg/l; para uma água com turbidez de 100 UNT, a maior eficiência de remoção foi alcançada para uma concentração de extrato de *Moringa* de 500 mg/l. Como base nesses resultados, os autores concluíram que a *Moringa* foi a responsável pela redução média de 95%, tanto da turbidez quanto da cor aparente, quando empregada em conjunto com a filtração lenta.

Paterniani *et al.* (2009) utilizando água bruta com 100 uT verificou eficiência de 92% no uso desse vegetal para remoção de turbidez, após tempo de sedimentação de 30 minutos, e 94% na remoção de cor aparente, usando o equipamentos de *Jar test*.

Usando sementes de *Moringa* como coagulante, Amaral *et al.* (2006) obtiveram turbidez residuais de 3,7 e 4,6 UNT para águas com turbidez iniciais de 39,9 e 290 UNT. Estes valores correspondem a 91 e 98% de redução, respectivamente.

Em experimento conduzido por Jahn (1998), foi observada uma redução de 80–99,5% da turbidez na água, paralelamente a uma redução de 90–99,9% de bactérias. Estes resultados demonstram a validade de uso de sementes de *Moringa oleifera* como coagulante, removendo tanto a turvação como microorganismos patogênicos (Gomes, 2011).

Relativamente ao tratamento por coagulação-floculação de águas residuais ou destinadas ao consumo humano, estudos demonstram que a percentagem de remoção de turbidez utilizando tanto a semente como o extrato aquoso da *Moringa oleifera* é de 80 a 99% (Okuda *et al.*, 1999). Em relação ainda à utilização da semente como coagulante, os testes podem ser feitos utilizando ou não à casca, sendo que sementes sem casca são referidas como mais eficazes (Ndbigengesere & Narasiah, 1998).



A eficiência de remoção da turbidez nas etapas de coagulação-floculação utilizando a *Moringa oleifera* é dependente do valor da turbidez inicial das amostras de água, sendo o potencial coagulante superior para valores muito elevados de turbidez (Katayon *et al.*, 2006).

### 3.3.2. Uso da técnica de desinfecção solar (SODIS) na inativação de microorganismos patogênicos presentes na água

A maioria dos organismos patogênicos é sensível e morre com a elevação da temperatura e o tempo de exposição. Por exemplo, a tabela 3.12 mostra as temperaturas e os tempos de exposição necessários para a morte dos microorganismos.

Tabela 3.12: Tempo e temperatura necessários para a destruição microorganismos e parasitas

Microorganismos	Temperatura de inativação	Tempo de destruição
<i>Salmonella tyfosa</i>	O crescimento é paralisado acima de 45°C, 55 – 60°C	Morte em 20-30 minutos
<i>Salmonella sp.</i>	55 – 60°C	Morte com 20 e 60 minutos
<i>Shigella sp.</i>	60°C	Morte com 60 minutos
<i>Escherichia coli</i>	55 – 60°C	Uma grande proporção morre com 12 e 20 minutos
<i>Entamoeba histolytic</i>	45 C e 55°C	Morte com alguns segundos e minutos
<i>Taenia saginata</i>	55° C	Morte com alguns minutos
<i>Streptococcus piogenes</i>	54° C	Morte em 10 minutos
<i>Mycobacterium tuberculosis var. Hominis</i>	66° C	Morte em 15 a 20 minutos
<i>Corynebacterium diphtheria</i>	55° C	Morte em 45 minutos
<i>Ascaris lumbricoides</i>	> 50° C	Morte em 50 a 60 minutos

Fonte: Adaptado de Sharma (1995)

O sistema solar se baseia no aumento da temperatura pela exposição ao sol durante um intervalo de tempo, normalmente seis horas. Além disso, a radiação UV é bactericida e contribui para a morte dos microorganismos (Wegelin, 2002).

### 3.3.3. Sistema de desinfecção solar – SODIS

Os estudos relativos à desinfecção solar, conhecida como SODIS (do inglês *Solar Disinfection*), tiveram seu início no final da década 70, entretanto, só vieram a tomar corpo a partir de 1985. Os estudos iniciais foram financiados por organismos internacionais como a UNICEF e INRESA, da Universidade das Nações Unidas, e seus resultados fazem parte de relatórios publicados por essas organizações (Brandão *et al.*, 2013).

SODIS é uma técnica que consiste no tratamento da água através da exposição da mesma à radiação solar (luz UV-A e temperatura) plena em recipientes transparentes (garrafas PET) durante 6 horas com a finalidade de eliminar bactérias patogênicas, protozoários e vírus presentes na água (Meierhofer & Wegelin, 2002; Saitoh e El-Ghetany, 2002). A eficiência desta técnica é condicionada pela temperatura alcançada durante a exposição solar, ao clima e ao tempo de exposição.

Segundo Mansilla & Litter (2003) e Meierhofer & Wegelin (2002), a tecnologia SODIS elimina microorganismos patogênicos presentes em água de consumo humano e, tem como vantagens:

- a) Melhoria da qualidade microbiológica de água potável;
- b) Melhoria da saúde da família;
- c) Ponto de entrada para saúde, educação e higiene;
- d) Substitui a ausência de sistemas de abastecimento público de água, o que é comum em várias regiões nos países em desenvolvimento;
- e) Fornece aos usuários individuais, um método simples que pode ser aplicado a nível doméstico sob controle e responsabilidade do usuário;
- f) Fácil de entender;
- g) Fácil acesso, pois os únicos recursos requeridos são a luz solar e recipiente plástico;

- h) Não requer uma infraestrutura grande e cara;
- i) Diminui a poluição do ar no interior das casas, problema criado pela fervura da água usando carvão ou madeira como fonte de energia;
- j) Apresenta vantagens financeiras uma vez que as despesas de fontes de energia tradicionais como o gás, querosene e lenha são reduzidas.

Entre as desvantagens do método SODIS, estão:

- a) Requer radiação solar suficiente;
- b) Não muda a qualidade química da água;
- c) Não é prático para o tratamento de água em grandes volumes;
- d) Requer água relativamente clara com uma turbidez inferior a 30 UNT. Quando a turbidez for maior 30 UNT, deve-se fazer o pré-tratamento antes da aplicação do SODIS.

### ***Requisitos para uma boa eficiência do SODIS***

Segundo Meierhofer & Wegelin (2002), a eficiência do sistema SODIS depende:

- a) Quantidade de energia solar disponível;
- b) Expor a garrafa ao sol por 6 horas quando o céu estiver limpo ou até 50% nublado;
- c) Expor a garrafa ao sol por dois dias consecutivos se o céu apresentar mais de 50% nuvens;
- d) Se a temperatura da água for de pelo menos 50°C, 1 hora de exposição é suficiente;
- e) Durante os dias de chuvas contínuas, o sistema SODIS não apresenta resultados satisfatórios.

#### **3.3.3.1. Variação geográfica da radiação solar**

De acordo com Meierhofer & Wegelin (2002), as regiões mais favoráveis à desinfecção solar estão localizados entre 15°N/S e 35°N/S. As regiões semi-áridas são caracterizadas por apresentarem maior quantidade da radiação solar. Nestas regiões, mais de 90% da luz solar chega a terra como radiação direta devido à limitada cobertura de nuvens e precipitação (menos de 250 milímetros de chuva e, geralmente, mais de 3000 horas de sol por ano). A segunda região mais favorável situa-se entre o equador e latitude 15°N e 15°S. Devido à alta umidade e frequente cobertura de nuvens, a quantidade de radiação espalhada em esta região é alta (cerca de 2500

horas de sol por ano). É importante notar que, a maioria dos países emergentes estão localizados entre latitudes 35°N e 35°S. Eles podem, portanto, contar com a radiação solar como fonte de energia para a desinfecção da água.

### 3.3.3.2. Efeitos da radiação UV em agentes patogênicos

Segundo Meierhofer & Wegelin (2002), a radiação solar pode ser dividida em três gamas de comprimento de onda: radiação UV, luz visível e infravermelha. A luz da radiação UV-A (315 e 400 nm) tem um efeito letal em agentes patogênicos humanos presentes na água. Em geral, estes organismos não são bem adaptados às condições ambientais fora do trato gastrointestinal humano. A radiação UV-A inativa os agentes patogênicos (Tabela 3.13) interagindo diretamente com o ácido nucléico (DNA) e enzimas das células vivas. Esta interação muda a estrutura molecular, ocasionando a morte da célula. Por outro lado, a radiação UV-A reage com o oxigênio dissolvido na água, produzindo formas altamente reativas de oxigênio (oxigênio dos radicais livres e peróxido de hidrogênio). Este processo é denominado desinfecção foto-oxidativa solar (*solar photo-oxidative disinfection*), e apesar de não apresentar efeitos residuais quando a água é retirada da presença de luz, reduz o tempo de exposição necessário para inativação de microorganismos (Wegelin *et al.*, 1994; Sonntag *et al.*, 2003). A Figura 3.11 mostra um gráfico comparando as reduções de *E. coli* por desinfecção solar em condições aeróbias e anaeróbias.

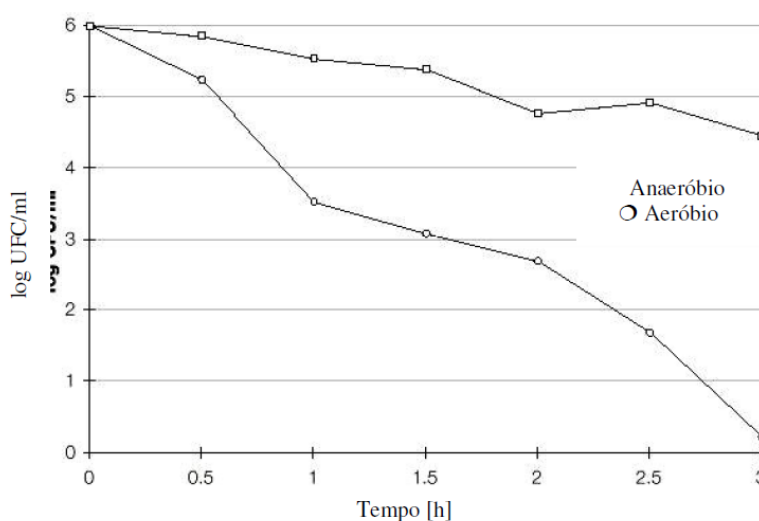


Figura 3.11: Inativação de *E. coli* em condições aeróbias e anaeróbias

Fonte: Wegelin *et al.*, (1994)

Tabela 3.13: Microorganismos inativados pela radiação UV-A.

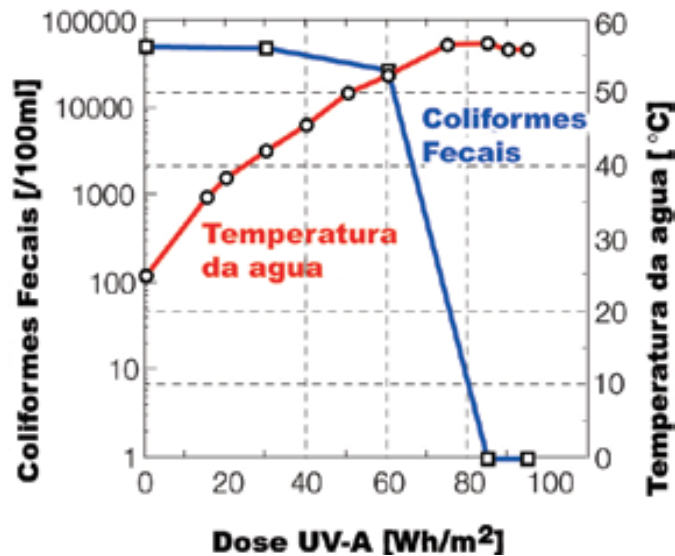
Agente patogênico	Microorganismos	Doença	Redução por SODIS após 6 horas de exposição
	<i>E. coli</i>	Indicador da qualidade da água e enterites	3 – 4log (99,9 - 99,99%)
Bactérias	<i>Vibrio colerico</i>	Colera	3 – 4log
	<i>Salmonella spp</i>	Tifo	3 – 4log
	<i>Shigela spp</i>	Disenteria	3 – 4log
	Rotavírus	Diarréia, disenteria	3 – 4log
Vírus	Vírus da Pólio	Pólio	Inativados, resultados ainda não publicados.
	Vírus da hepatite	Hepatite	Redução de casos em usuários do SODIS
Protozoários	<i>Giardia spp</i>	Giardiase	3 – 4log (infecção por cistos)
	<i>Cryptosporidium spp</i>	Cryptosporidiase	3 – 4log (infecção por cistos)

Fonte: Meierhofer & Wegelin (2002)

### 3.3.3.3. Efeito sinérgico da radiação UV-A e a temperatura

Meierhofer e Wegelin (2002) afirmam que para reduzir 3-log de *E. coli* em uma água com uma temperatura de 30°C, a radiação UV-A necessária é de 555 Wh/m<sup>2</sup> (dose correspondente a aproximadamente 6 horas de meia-latidade do sol de verão ao meio-dia). A taxa de mortalidade de *E.coli* expostos á luz solar, aumenta significativamente quando temperaturas altas e a radiação UV-A atuam concomitantemente.

A Figura 3.12 mostra que quando a temperatura da água atinge 53°C e uma radiação UV-A de 60 Wh/m<sup>2</sup>, ocorre uma redução de 1-log de *E.coli*, num tempo de exposição de uma hora. Quando a temperatura atinge 55°C e radiação de 85 Wh/m<sup>2</sup>, a redução é de 5-log. Em dias muito nublados, as garrafas PET têm que ser expostas durante dois dias sucessivos para alcançarem a dose de radiação exigida e assegurar a inativação completa do agente patogênico (Meierhofer & Wegelin, 2002).

Figure 3.12: Inativação de *E. coli* em uma garrafa PET

Fonte: Meierhofer &amp; Wegelin (2002)

#### 3.3.3.4. Eficiência do sistema SODIS

A eficiência do sistema é influenciada pela qualidade da água, temperatura e da radiação UV. Microorganismos encontrados na água apresentam uma maior resistência térmica, necessitando de 80°C para inativação instantânea total. Para inativação de *E. coli*, requer no mínimo uma radiação UV de 19,08 Whm<sup>-2</sup>. Com isto, é possível observar que, para o processo ter algum êxito, deve haver uma combinação de dois fatores: temperatura e radiação, pois eles duplicam a taxa de inativação de *E. coli* (Arafa, 1985; Wegelin *et al.*, 1994). A Tabela 3.14 mostra a temperatura e tempo de exposição necessário para inativação de 99,9% de enterovirus.

Tabela 3.14: Temperatura da água e tempo de exposição necessária para inativação de 99,9% de enterovirus através do método SODIS

Temperatura (°C)	63	40	20
Tempo (min)	30	42	150

Fonte: Wegelin *et al.* (1994)

Estudos realizados por Brandão *et al.* (2013), na cidade de Brasília, atingiram 100% de inativação de coliformes num tempo de exposição de 2 horas e temperatura da água de 50°C. Nos

experimentos, a água apresentava turbidez de 110 UNT e concentração de coliformes totais de  $10^6$  UFC (100 ml)<sup>-1</sup>. Em outro estudo, os autores obtiveram desinfecção total utilizando sacolas plásticas com lâmina de 5 cm e tempo de exposição de 3 horas para água com concentração de *E. coli* na ordem de  $10^3$  NMP/100 ml. Neste mesmo estudo, os autores confirmam que a maior eficiência de desinfecção é obtida a partir de efeito combinado entre radiação e temperatura.

Em Campinas, no Estado de São Paulo, um estudo conduzido por Londe (2002) obteve a inativação de 100% de coliformes totais, *E. coli* e algas, medidas por meio de clorofila a, num período de exposição de 6 horas em um dia nublado. A água apresentava turbidez e cor de, respectivamente, 2 UNT e 62 UC.

Estudos realizados por Kehoe *et al.* (2001), demonstraram que os efeitos da agitação periódica, da turbidez, do fundo de papel alumínio e do volume das garrafas, influenciam na inativação de *E. coli* (concentração inicial de  $10^6$  UFC/ml) quando as garrafas estiverem totalmente cheias de água. Pelo exposto, a agitação das garrafas aumenta a concentração de oxigênio dissolvido na água o que, por sua vez, aumenta a taxa de inativação de microorganismos. Os mesmos autores afirmam que as garrafas que tiveram folha de alumínio em sua base apresentaram um decaimento na concentração de *E. coli* em 1,85 vezes maior que as garrafas que não tiveram nada na parte inferior. Este fato foi atribuído à reflexão da luz na água, atuando como um fotosensibilizador.

Oates *et al.* (2003) realizaram testes no Haiti com apenas dois terços da garrafa cheia de água e agitadas antes do início da exposição solar, visando aumentar o teor de oxigênio dissolvido. A inativação de 100% dos microorganismos medidos (coliformes totais, *E. coli* e bactérias redutoras de enxofre) ocorreu em um dia de exposição ao sol sob condições climáticas favoráveis a radiação solar. Os autores mencionam que, com dois dias de exposição ao sol, não há risco de sobrevivência microbiológica mesmo considerando possíveis variações climáticas.

Acra *et al.* (1984) foram os primeiros pesquisadores a realizarem experimentos de desinfecção solar usando frascos plásticos para reservar a água exposta ao sol. Wegelin e Sommer (1997) mencionam que estudos experimentais têm demonstrado que o processo é

efetivo em condições onde a água está contaminada com bactérias fecais e o clima apresenta-se favorável a radiação solar.

A eliminação dos organismos patogênicos requer um mínimo de duas horas de exposição à radiação solar de  $600 \text{ W/m}^2$ , sendo recomendado como fator de segurança, principalmente para as regiões tropicais úmidas, um período de seis horas de exposição. No entanto, este processo poderá ser influenciado pela presença de nuvens ou de potenciais interferências climáticas que podem diminuir a eficiência do processo de desinfecção (Meierhofer & Wegelin, 2002).

Segundo Zapp *et al.* (1987) e Sichel *et al.* (2007) para temperaturas acima de  $45^\circ\text{C}$ , o processo de desinfecção solar torna-se mais eficiente, podendo haver uma redução no tempo de tratamento.

Wegelin *et al.* (1994) estudaram o efeito bactericida da radiação UV-A e observaram que para uma redução de 3-log de *E. coli* requer-se uma intensidade de radiação de  $555 \text{ Wh/m}^2$ . Esta intensidade corresponde a aproximadamente 5 horas de exposição ao Sol, ao meio-dia em média latitude. Os mesmos autores concluíram que a radiação UV-A é a principal responsável pela inativação dos microorganismos. Recomendaram que a sinergia da temperatura (acima de  $40^\circ\text{C}$ ) e da radiação UV-A, permitem melhorar a eficiência e diminuir o tempo de exposição da água. Os mesmos autores observaram também, uma redução de 99,9% de vírus após 42 minutos de exposição ao Sol para uma temperatura da água de  $40^\circ\text{C}$ . Para a mesma água, sob condição similar de radiação, mas com uma temperatura de  $20^\circ\text{C}$ , foram necessários 150 minutos. Com isso, os autores concluíram que a temperatura, sozinha, não foi capaz de inativar vírus, porém, ela amplifica significativamente o efeito da radiação.

Amaral *et al.* (2006) verificaram que a radiação solar é eficaz na desinfecção de água de poços, com reduções, após 12 horas de exposição, de 98,2%, 99,9% e 100% nos números de microorganismos mesófilos, coliformes totais e *E. coli*, respectivamente. Observaram que não houve recrescimento de microorganismos após 72 horas.



Paterniani e Silva (2005) realizaram estudo em efluente de tratamento terciário de esgotos por leitões cultivados. O efluente apresentava as seguintes características: turbidez média de 5,52 UNT, cor aparente média de 126 (Pt-Co) e concentrações de coliformes totais e *E. coli* na ordem de  $10^5$  e  $10^4$  NMP/100 ml, respectivamente. Foram comparados a desinfecção no efluente em garrafas com e sem concentrador solar (aparato coberto por uma superfície de alumínio, fazendo elevar a temperatura da água quando exposta ao sol) (Figura 3.13). Observaram que, as garrafas expostas sem concentrador solar alcançaram 50°C em 6 horas de exposição, apresentando 100% de eficiência na inativação *E. coli*. As garrafas que utilizaram o concentrador solar alcançaram 70°C, e tiveram remoção de *E. coli* em 100% por período de exposição de 4 horas.



Figura 3.13: Modelo de Concentrador Solar proposto pelo Instituto Mexicano de Tecnologia de Água

Trabalhos realizados na Índia e na África do Sul avaliando a eficiência da energia solar na inativação de bactérias de origem fecal evidenciaram que a agitação vigorosa do frasco de água, incorpora oxigênio, aumentando a capacidade de desinfecção e inativação completa de *E. coli*, entre 3 e 6 horas de exposição da água ao sol (Reed *et al.*, 2000).

A desinfecção por radiação solar torna-se uma alternativa técnica e economicamente viável para o tratamento de água em pequenas quantidades, tendo como referência de custo US\$3,00 por ano para uma residência de cinco pessoas usando garrafas PET. A técnica SODIS não produz alteração nas características químicas e organolépticas da água e não necessita de dosagem de produtos químicos (Pinto e Hermes, 2006; Wegelin *et al.*, 1994). Essas

características fazem com que o sistema seja aceite em 84% dos usuários de países emergentes, como Colômbia, Bolívia, Indonésia, Tailândia e China (Wegelin, 1994).

Os requisitos para a remoção de  $10^3$  NMP/100 ml de *E. coli* são: escala de tratamento; turbidez da água inferior à 30 UNT; intensidade de radiação solar na ordem de  $600\text{W/m}^2$ ; tempo de exposição mínimo de cinco horas com 50% de insolação ou dois dias consecutivos para os dias com 100% de nuvens (Zapp et al, 1987; Wegelin et al, 1994; Paterniani & Roston, 2003).

### 3.3.4. Utilização de garrafas de PET

O PET é um polímero termoplástico, produzido pelos monômeros de etileno glicol (glicol etilénico) e o ácido tereftálico ou tereftalato de dimetila. Apresenta características tais como leveza, transparência, inodoro, insípido, atóxico e inerte, brilho e facilidade de moldagem (Montenegro, *et al.*, 2000). As propriedades do PET são apresentadas na Tabela 3.14.

Tabela 3.15: Propriedades do PET

Característica do Polímero	Valores
Massa molecular	15000 – 42000
Densidade	1,33 – 1,45
Índice de Refração	1,65 – 1,66
Temperatura de Fusão	250 – 270° C
Temperatura de Transição Vítreá	70 – 74° C

Fonte: Montenegro, *et al.* (2000)

As vantagens do uso das garrafas PET no método SODIS (Meierhofer & Wegelin, 2002), são:

- Baixo peso;
- Relativamente inquebráveis;
- Transparente;
- Neutro em sabor;
- Quimicamente estável;
- Contém menor teor de aditivos em relação a outras garrafas plásticas;

- g) Estão disponíveis a baixo custo em países em desenvolvimento;
- h) São fáceis de manusear (encher, carregar) e podem ser utilizados diretamente na mesa; reduzindo assim o risco de recontaminação;
- i) São bastante duráveis, mesmo depois de vários meses de aplicação;
- j) A principal desvantagem citada é a limitada resistência térmica, com deformação acima de 65°C.

A vida útil das garrafas PET é determinada pela transmitância de UV, que no comprimento de onda de 257 nm é reduzido pela metade com 6 meses de uso contínuo, devido às mudanças nas propriedades ópticas e mecânicas das garrafas por reações fotoquímicas. Essas reações, entretanto, não causam efeitos sobre a água, pois alteram apenas a superfície externa do PET, não havendo risco de migração dessas para a superfície interna (Wegelin *et al.*, 1994).

As garrafas PET possuem estabilizantes para conter a degradação devido à exposição aos raios UV, não sofrendo alterações nas características químicas quando testado em laboratório pelo período de 1100 horas de exposição (Fechine *et al.*, 2002; Gijnsman *et al.*, 1999).

### **3.4. Planejamento fatorial como mecanismo de análise experimental**

O planejamento ou delineamento de experimentos objetiva aperfeiçoar a coleta de dados de maneira a se obter maior precisão estatística sobre a variável dependente, com menores custos e tempo de execução (Camarim, 2008).

Segundo Spiegel (1982), planejamento de experimentos é o estudo dos métodos de amostragem e dos problemas correlatos que surgem. Para Montgomery (2001), um experimento é nada mais do que uma prova, um teste ou testes, com o intuito de buscar ou saber algo sobre um determinado sistema, de maneiras a comparar os efeitos causados por vários fatores num fenômeno. Portanto, por meio de uma série de testes, são realizadas mudanças ou certos estímulos nas variáveis de entrada (*inputs*) do sistema, para que se possa observar e identificar os efeitos nas variáveis de dependentes ou de saída (*output*), geradas pelo próprio sistema.

### **3.4.1. Conceitos gerais de experimentação**

A seguir são apresentados alguns conceitos e termos fundamentais para a aplicação das técnicas de planejamento e análise de experimentos (Galdámez, 2002).

#### *Variáveis de resposta ou dependentes*

São as variáveis dependentes que sofrem algum efeito nos testes, quando estímulos são introduzidos propositalmente nos fatores que regulam ou ajustam os processos em análise. Nos experimentos, podem existir uma ou mais variáveis de resposta (y) que são importantes de se avaliar.

#### *Fatores de controle ou independentes*

São os fatores alterados deliberadamente no experimento. O objetivo principal de introduzir estímulos nos fatores de controle é avaliar o efeito produzido nas variáveis dependentes, e com isso poder determinar os principais fatores do processo. Podem ser quantitativos (por ex.: temperatura, velocidade, etc) e qualitativos (p. ex., diferentes máquinas, operadores, etc).

#### *Níveis dos fatores*

São as condições de operação dos fatores de controle investigados nos experimentos. Os níveis são identificados por níveis baixo (-1) e alto (+1).

#### *Graus de liberdade*

A capacidade de qualquer uma das  $(n-1)$  observações de uma amostra determinar completamente a outra observação.

#### *Repetição*

É o processo de repetir para cada combinação (linha) da matriz experimental sob as mesmas condições de experimentação.

### 3.4.2. Planejamento Fatorial $2^k$

É um dos planejamentos fatoriais mais utilizados, onde  $k$  fatores são testados em apenas dois níveis (-1, +1), originando  $2^k$  combinações possíveis. Este delineamento permite uma menor quantidade de combinações possíveis para os quais os fatores podem ser analisados. Tem uma grande utilização em estudos voltados para a seleção de fatores, além de serem muito utilizados em ambientes onde as fontes externas de variação podem ser bem controladas. Uma vantagem relevante ao se utilizar esse tipo de experimento é a capacidade de apresentar um maior número de graus de liberdade para o resíduo (Camarim, 2008).

### *Delineamento Composto Central Rotacional*

É o plano formal para a condução do experimento, ou seja, são testes conduzidos de forma planejada, onde os fatores (variáveis controladas ou independentes) são alterados de modo a avaliar-se seu impacto sobre uma variável resposta (Montgomery, 2009; Cochran & Cox, 1964). Quando se necessita desenvolver ou melhorar um processo, o pesquisador precisa planejar um experimento para avaliar os efeitos que suas variáveis independentes têm sobre as respostas (Rodrigues e Iemma, 2005 apud Chaves, 2008).

A escolha de um planejamento fatorial adequado é função direta do número de fatores a serem estudados, da disponibilidade de matéria-prima, do número de ensaios que têm viabilidade de serem realizados e do custo desses ensaios (Montgomery, 1991 apud Macieira, 2011). Segundo Haaland (1989) apud Chaves (2008), há vários caminhos para resolução de um problema experimental. Por exemplo, para conduzir experimentos de duas ou três variáveis, as possibilidades são: (i) Análise Univariada, (ii) Matriz com todas as combinações e (iii) DCCR ou planejamento central rotacional. Para 4 fatores, pode-se fazer opção por um DCCR ou inicialmente um planejamento fracionário do tipo  $2^{4-1}$ , como uma investigação inicial em relação aos efeitos das variáveis independentes estudadas sobre as respostas desejadas (Macieira, 2011). Cinco fatores resultam em um número elevado de ensaio  $2^k + 10$  pontos axiais +3 repetições no ponto central. Neste caso, o processo ainda está longe das condições, não compensando investir diretamente num planejamento fatorial completo.

O primeiro caminho (Análise Univariada, Figura 3.14a) seria um procedimento experimental “one-at-a-time”, onde é avaliada uma das variáveis estudadas a diferentes condições e as demais são fixadas. Este caminho não é muito eficiente, pois não seria possível detectar os efeitos de interação entre as variáveis, tornando as condições limitadas a uma região.

O segundo caminho (Matriz com todas as combinações, Figura 3.14b), se constitui na busca do resultado procurado através de uma matriz, onde todas as combinações são investigadas até obtenção de uma solução final. Este tem a vantagem de explorar todo o espaço experimental, e tem a desvantagem de necessitar de um número grande de medidas.

O terceiro caminho é a resolução do problema através de um planejamento estatístico conhecido como Planejamento Experimental Fatorial ou Delineamento Composto Central Rotacional, ilustrado na Figura 3.14c. A solução do projeto experimental pode ser feita usando um número menor de medidas e explorando todo o espaço experimental. É possível ainda, elaborar um modelo matemático, que se validado estatisticamente, pode ser usado para obtenção da Superfície de Resposta. Segundo Macieira (2011), o objetivo principal da Metodologia de Superfície de Resposta consiste da estratégia experimental para estudar a influência das variáveis independente, do desenvolvimento de um modelo estatístico empírico que correlacione a resposta e variáveis de processo que produzem valores desejáveis dessas respostas, principalmente quando essas variáveis controláveis, ou fatores, são a níveis contínuos. Após a construção de modelos para a resposta, o interesse do pesquisador recai na busca do ajuste ótimo, ou seja, na busca de regiões que conduzam a um valor mínimo, máximo ou normal, conforme a característica da resposta em questão.

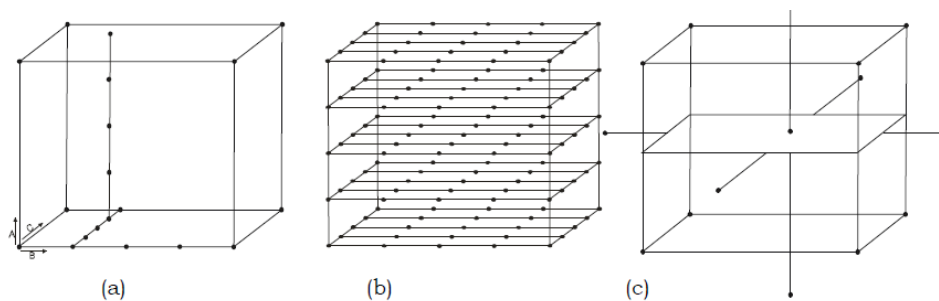


Figura 3.14: Ilustrações gráficas da: (a) Análise Univariada; (b) Matriz com todas as combinações; (c) Planejamento ou DCCR

Segundo Camarim (2008), no DCCR, o  $\alpha$  é a distância do centro do delineamento até os pontos axiais. O parâmetro  $\alpha$  garante a rotabilidade do DCCR e é dependente do número de pontos existentes na porção fatorial do delineamento. O cálculo de  $\alpha$  é dado pela equação:

$$\alpha = (2^k)^{1/4} \quad (\text{Equação 3.2})$$

Com  $2k$  pontos axiais, esses pontos ficam organizados em  $(\pm\alpha, 0, 0, \dots, 0)$ ,  $(0, \pm\alpha, 0, \dots, 0)$ ,  $(0, 0, \pm\alpha, \dots, 0)$ , ...,  $(0, 0, 0, \dots, \pm\alpha)$ . Em geral, num DCCR com dois níveis originais, tem-se:  $2^k$  pontos fatoriais ou  $2^k$  vértices de um cubo  $k$  dimensional com coordenadas  $\pm 1 + 2^k$  pontos axiais ou estrelas com coordenadas  $0, 0, 0, \dots, \pm\alpha$  + um número arbitrário de pontos centrais com coordenadas  $0,0,0$ . A Tabela 3.16, apresenta alguns valores para  $\alpha$ .

Tabela 3.16: Valores para  $\alpha$

K	2	3	4	5	6
$\alpha$	$\pm 1,4142$	$\pm 1,6818$	2,0000	2,3784	2,8284

Segundo Mateus *et al.* (2001), por meio de um DCCR, é possível identificar os valores ótimos de variáveis como faixa de pH, tempo de mistura (lenta e rápida) e concentração de pó de semente da *Moringa oleifera* sobre o desempenho do método de tratamento, avaliado pelas variáveis respostas como cor aparente e turbidez.

## 4. MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1. Local da coleta das amostras

Os testes foram realizados usando-se amostras de água coletadas junto à entrada de água da estação de tratamento de água Moinhos de Vento do Departamento Municipal de Água e Esgotos (DMAE) de Porto Alegre. Esta água é captada pelo DMAE no Lago Guaíba, na Cidade de Porto Alegre. O lago Guaíba apresenta uma área de 470 km<sup>2</sup>, com extensão de 50 km e largura variável entre 900 m e 19 km (Almeida *et al.*, 2000). Localiza-se entre 29°55' e 30°24' de latitude Sul e entre 51°01' e 51°20' de longitude Oeste. No Guaíba desaguam diretamente os rios das bacias hidrográficas do Jacuí, Caí, Sinos e Gravataí, cujas áreas de drenagem somadas são iguais a 82.439 km<sup>2</sup>, ocupando aproximadamente 1/3 da área do Estado do Rio Grande do Sul. O local de captação recebe principalmente as contribuições dos rios Gravataí e Sinos. A Figura 4.1 mostra a localização do lago Guaíba.

Na estação de tratamento, foram coletados 300 litros de água que foram armazenados em três bombonas de 30 litros, e o remanescente em bombona de 210 litros. A água foi usada nos ensaios de coagulação, floculação e sedimentação para determinação da dose de *Moringa*. De salientar que, antes da realização dos ensaios, a água armazenada era homogeneizada. Nos ensaios de exposição solar por 2, 4, 6 e 48 horas, a coleta foi feita em dias separados na mesma estação, em seis bombonas.



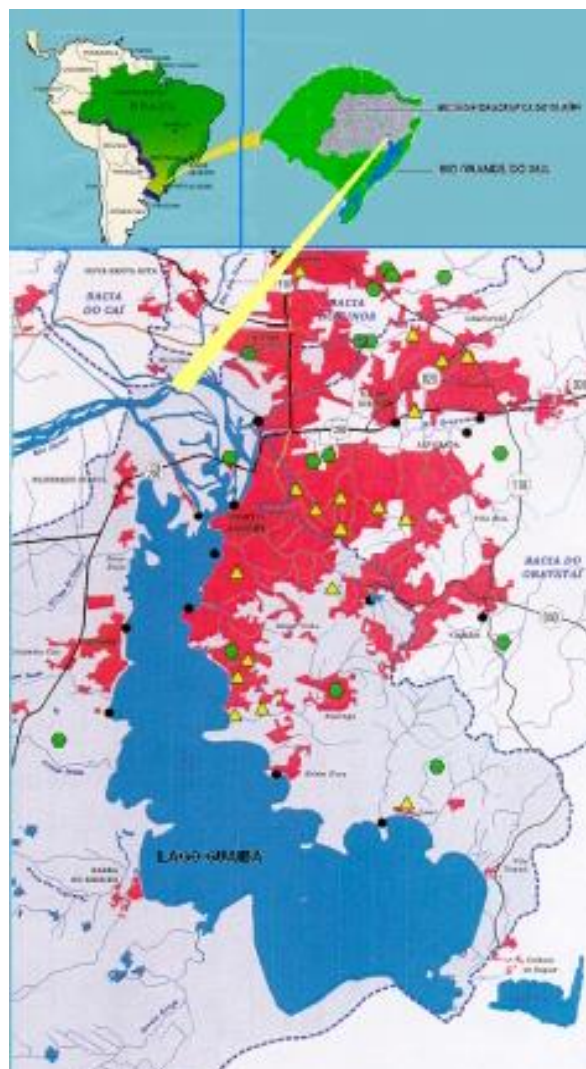


Figura 4.1: Localização da Bacia Hidrográfica do Lago Guaíba

#### 4.2. Extração e preparo da solução de *Moringa oleifera* para coagulação-floculação

Estão disponíveis na literatura vários processos para a extração e preparo do componente ativo do extrato das sementes de *Moringa oleifera*. O procedimento de extração e preparo usado no trabalho baseou-se no método descrito por Ribeiro (2010).

As sementes que foram usadas nos ensaios de coagulação e floculação foram coletadas em Moçambique nas vagens já secas da planta *Moringa oleifera*. As sementes foram descascadas e secadas ao sol por 15 dias e a temperatura ambiente com vista a eliminar a umidade nelas contida (Figura 4.2). O miolo das sementes foi triturado em um almofariz com pistilo.

Ndabigengesere & Narasiah (1998) afirmam que, tanto sementes com casca e sem casca podem ser utilizadas como coagulante, mas aquelas sem casca são as mais eficientes na remoção da turbidez e cor aparente. As sementes usadas no preparo da solução aquosa de *Moringa oleifera* pesavam em média 0,1754 e 0,2272g, respectivamente, sem e com casca.



Figura 4.2: À esquerda: semente da *Moringa oleifera* sem casca e à direita trituração das sementes num almofariz com pistilo

Após a trituração dos miolos das sementes, o pó obtido (Figura 4.3) foi peneirado numa malha de 0,85 mm de porosidade e armazenado num vidro de relógio;



Figura 4.3: À esquerda: malha de 0,85 com pó de *Moringa oleifera* e à direita: pó da semente da *Moringa oleifera* num vidro de relógio

A seguir, usando uma balança de precisão, foi medido 12 gramas de pó de *M. oleifera* para o preparo do extrato aquoso do composto ativo. A quantidade do pó previamente medida foi colocado em 100 ml de água destilada (Figura 4.4), e depois agitada num agitador magnético por 30 minutos (Nishi, 2011). Posteriormente, o extrato aquoso já agitado foi filtrado numa bomba a vácuo de marca Fabbe Primar, modelo 341, tipo 2VC com capacidade de filtrar 37 litros por

minuto (Figura 4.4) e depositado num Kitassato que continha na parte superior um funil com filtro de papel de 7,5 µm de porosidade por onde passava o extrato. Finalmente, o filtrado foi transferido para um Erlenmeyer de 250 ml.



Figura 4.4: Extração e filtração do composto ativo da *M. oleifera*: à esquerda agitador magnético e à direita bomba a vácuo

Com o extrato aquoso obtido, foram determinados os volumes das alíquotas do coagulante a ser adicionados à água bruta, que foram de 10, 15, 20, 25 e 30 ml, calculados com base na equação 4.1.

$$C_1 * V_1 = V_2 * C_2 \quad (\text{Equação 4.1})$$

Onde:  $C_1$  – concentração inicial (mg/l) previamente preparada em 100 ml de água destilada a ser adicionado na água bruta contida no bequer;

$V_1$  – volume inicial (ml);

$V_2$  – volume final da água bruta contida no bequer (ml);

$C_2$  – concentração final presente na água tratada (mg/l).

### 4.3. Ensaio de coagulação, floculação e sedimentação em Jarteste

A Figura 4.5 mostra o fluxograma das atividades realizadas no jarteste. A partir dela, é possível observar que, numa primeira fase, foram realizados ensaios de coagulação, floculação e sedimentação com vista a determinar a dose de *Moringa*. A seguir, tendo a dose ótima de *Moringa*, foram realizados em jartest, ensaios de amostras de água para exposição solar por 2, 4,

6 e 48 horas. Antes e depois da determinação da dose ótima de *Moringa* e após a exposição solar, foi analisada a presença e ausência de coliformes fecais e *E. coli*.

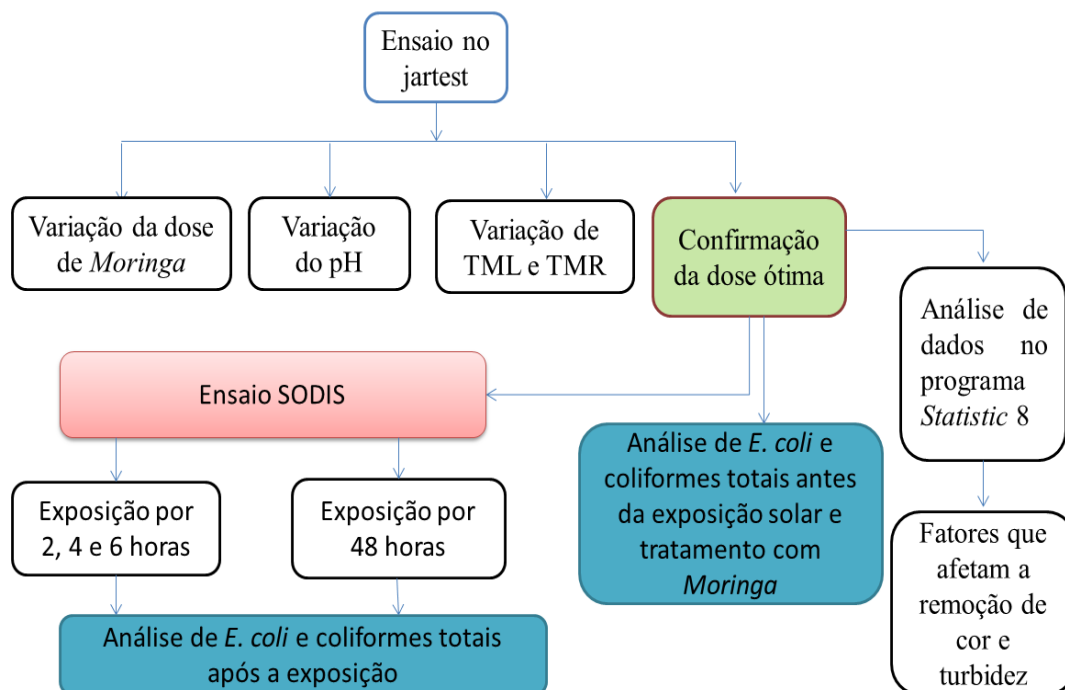


Figura 4.5: Fluxograma dos ensaios realizados em jarrestes seguido pela exposição solar por 2, 4, 6 e 48 horas

Os ensaios de coagulação, floculação e sedimentação foram feitos num aparelho Jarrestes de marca Policontrol, modelo FlocControl III de 10 a 600 rpm de rotações, versão 2.24, com seis bequeres quadrados de 2000 ml de capacidade e 90 Watts de potência (Figura 4.6).



Figura 4.6: Equipamento de Reatores Estáticos, modelo FlocControl III

As condições operacionais usadas nos ensaios de jar teste são as mostradas na tabela 4.1. Estes valores foram adaptados dos usados por Cardoso (2007) e Nishi (2011) que foram 100 rpm de velocidade e 3 minutos de tempo de coagulação; 15 rpm de velocidade e 15 minutos de tempo de floculação, e 60 minutos de sedimentação. Ribeiro (2010) utilizou 120 rpm de velocidade rápida e 3 minutos de floculação. Paterniani (2009) e Ribeiro (2010) usaram tempo de sedimentação de 30 minutos.

Tabela 4.1: Variáveis operacionais hidráulicas utilizados no *Jar Test*

Mistura Rápida		Mistura Lenta		Tempo de Sedimentação (min)
Coagulação		Floculação		
Velocidade (rpm)	Tempo (min)	Velocidade (rpm)	Tempo (min)	120
120	1–5	20	10 – 30	

Estabelecidos os parâmetros operacionais a serem usados no ensaio em jar test, procedeu-se a execução dos tratamentos planejados a serem usados para os diferentes tipos de dosagem ótima, tempo de mistura lenta e rápida. Em todo ensaio, mantiveram-se constantes as velocidade de mistura rápida, velocidade de mistura lenta e o tempo de sedimentação.

#### 4.4. Procedimento experimental e consequente realização dos ensaios em jar teste

##### 4.4.1. Planejamento dos tratamentos a serem usados em jar teste

Para a otimização dos fatores intervenientes nos testes, análise multivariada foi usada através da Metodologia de Superfície de Resposta em DCCR. Com essa metodologia é possível determinar um modelo matemático polinomial e seus pontos críticos (Saramago e Silva, 2005). As variáveis dependentes foram: cor aparente e turbidez, e as independentes foram: pH inicial, tempo de mistura lenta, tempo de mistura rápida e dose de *Moringa*. Foram usados 16 ensaios fatoriais completos, 8 ensaios em axiais (2k) a uma distância  $\alpha$  e 4 repetições no ponto central. No total, foram aplicados 28 ensaios, em níveis fatoriais mínimos (-1) e máximo (+1), ponto central (0) e axial mínimo (-2) e máximo (+2) (Montgomery, 2009). A Tabela 4.2 mostra os níveis de variação e as variáveis independentes dos testes. A Tabela 4.3 mostra a matriz de tratamentos planejamento para o experimento fatorial.

Tabela 4.2: Níveis de variação dos fatores do DCCR

Variáveis control	Símbolo	Níveis				
		-2	-1	0	1	2
pH	X <sub>1</sub>	5,5	6,5	7,5	8,5	9,5
<sup>3</sup> TML (min)	X <sub>2</sub>	10	15	20	25	30
<sup>4</sup> TMR (min)	X <sub>3</sub>	1	2	3	4	5
<sup>5</sup> C (mg/l)	X <sub>4</sub>	650	950	1250	1550	1850

---

<sup>3</sup> Tempo de mistura rápida

<sup>4</sup> Tempo de mistura lenta

<sup>5</sup> Dose de *Moringa*

Tabela 4.3: Matriz de tratamentos do planejamento do experimento fatorial do tipo 2<sup>4</sup>

Delineamento Completo Central Rotacional	Número de ensaio	Fatores de controle			Variável Resposta Y <sub>i</sub> (%)	
		pH	TML <sup>6</sup> (min)	TMR <sup>7</sup> (min)		C <sup>8</sup> (mg/l)
	1	-1	-1	-1	-1	Y1
	2	1	-1	-1	-1	Y2
	3	-1	1	-1	-1	Y3
	4	1	1	-1	-1	Y4
	5	-1	-1	1	-1	Y5
	6	1	-1	1	-1	Y6
	7	-1	1	1	-1	Y7
Planejamento fatorial completo, 2 <sup>k</sup>	8	1	1	1	-1	Y8
	9	-1	-1	-1	1	Y9
	10	1	-1	-1	1	Y10
	11	-1	1	-1	1	Y11
	12	1	1	-1	1	Y12
	13	-1	-1	1	1	Y13
	14	1	-1	1	1	Y14
	15	-1	1	1	1	Y15
	16	1	1	1	1	Y16
	17	-2	0	0	0	Y17
	18	2	0	0	0	Y18
	19	0	-2	0	0	Y19
Ensaiois axiais, 2 <sup>k</sup>	20	0	2	0	0	Y20
	21	0	0	-2	0	Y21
	22	0	0	2	0	Y22
	23	0	0	0	-2	Y23
	24	0	0	0	2	Y24
		25	0	0	0	0
Repetições no ponto central, n	26	0	0	0	0	Y26
	27	0	0	0	0	Y27
	28	0	0	0	0	Y28

<sup>6</sup> Tempo de mistura lenta<sup>7</sup> Tempo de mistura rápida<sup>8</sup> Concentração de *Moringa*



As colunas representam um conjunto de fatores a serem investigados e as linhas os diferentes níveis ou combinações.

#### **4.4.2. Realização dos ensaios em jarreste para obtenção da dosagem ótima**

Para a realização do experimento, em cada ensaio, foi usada uma análise multivariada de dados resultantes das combinações dos diferentes níveis na linha (Tabela 4.3) e diferentes níveis na coluna (Tabela 4.2). Feito isso, foram mantidas constantes as variáveis operacionais do equipamento, nomeadamente: velocidade de mistura rápida, lenta e tempo de sedimentação (Tabela 4.1). Por exemplo, o primeiro ensaio (Tabela 4.3) tem como níveis -1 de pH; -1 de TML; -1 de TMR e -1 de dosagem ótima, que, quando substituídos pelos valores na coluna da tabela 4.3 ficam da seguinte maneira: 6,5 de pH; 15 minutos de TML; 2 minutos de TMR e 950 mg/l de concentração. Em cada ensaio, a concentração foi a mesma para os cinco jarros do aparelho. Ao final foram calculadas a média dos valores obtidos em cada jarro. Importa realçar que, tratando-se de uma análise multivariada de dados, os valores de pH, TML, TMR e concentrações variavam para cada ensaio (Tabela 4.4).

Antes do início de cada ensaio, ligava-se o aparelho, imprimindo-se uma velocidade de rotação de 120 rpm por um minuto (mesma velocidade usada para a mistura rápida), de maneira que a água se encontrasse em movimento antes da adição dos volumes das alíquotas do coagulante. A partir daí, os testes prosseguiam como descritos a seguir.

#### **Primeira etapa: Variação da dose da solução aquosa de *Moringa oleifera***

Para a determinação da dose de *Moringa oleifera* a usar na amostra de água bruta contida em cada bequer do jarreste, foram usadas alíquotas de 10, 15, 20, 25 e 30 ml da solução aquosa de *Moringa oleifera* que correspondem a 650; 950; 1250; 1550 e 1850 mg/l da concentração final (C<sub>2</sub>) (Tabela 4.2). Os volumes das alíquotas referentes a cada ensaio (Tabela 4.3) eram introduzidos em simultâneo na água bruta presente nos béqueres que já se encontrava em movimento a um gradiente de velocidade de 120 rpm. As condições operacionais usadas para essa etapa foram estabelecidas na Tabela 4.1. Em cada ensaio, primeiro imprimia-se um gradiente de mistura rápida, seguido pelo gradiente de mistura lenta. Por fim, a amostra de água era deixada sedimentar.



### ***Segunda etapa: Estudo do efeito da variação de pH***

Para a determinação do pH ótimo, mantiveram-se as condições operacionais da Tabela 4.1. O pH foi ajustado de 5,5; 6,5; 7,5; 8,5 e 9,5 (Tabela 4.2) usando as soluções de NaOH e H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> a 0,1 e 1,0 N, respectivamente. Em todos os ensaios foi mantida uma amostra controle, isto é, água bruta ao seu pH natural, sem adição de coagulante e sujeita aos tempos e agitações definidas das demais amostras.

### ***Terceira etapa: Efeito da variação dos tempos de mistura rápida e lenta***

Para a determinação dos TML e TMR, mantiveram-se as velocidades de mistura rápida e lenta (tabela 4.1). Para cada ensaio, o TML foi ajustado de 10, 15, 20, 25 e 30 minutos e de 1, 2, 3, 4 e 5 minutos para o TMR (Tabela 4.2) tendo como referência os valores adotados por Cardoso (2007), Nishi (2011) e Ribeiro (2010). No final, o melhor valor de TML e TMR foi escolhido em função do valor da dosagem ótima para os 28 ensaios.

### ***Quarta etapa: Confirmação da dose ótima de coagulante***

Tomando em consideração os valores da dosagem ótimo, TML, TMR e pH ótimo encontrados na primeira, segunda e terceira etapa, foram novamente adicionados volumes das alíquotas do extrato aquoso da solução da dosagem ótima do coagulante, considerando agora uma gama mais estreita dos valores para concentração ótima, TML, TMR e pH ótimo.

Ao final das etapas descritas, mediam-se o pH final, turbidez e cor aparente da água decantada. A condição ótima era aquela que apresentou maior percentagem de remoção da turbidez e cor aparente (Equação 4.2).

$$E = \frac{V_i - V_f}{V_i} \cdot 100 \quad (\text{Equação 4.2})$$

Onde: E – Eficiência na remoção da turbidez e cor aparente (%)

V<sub>i</sub> – Valor inicial da cor/turbidez da água bruta

V<sub>f</sub> – Valor final da cor/turbidez da água tratada

Após a determinação das condições ótimas, procedeu-se a determinação das características da qualidade da água clarificada com *Moringa oleifera*, comparando-a com os valores limites sugeridos por Dantas e Di Bernardo (2005); MISAU (2004) e Ministério da Saúde do Brasil (201) para cor e turbidez.

#### 4.4.3. Análise estatística dos dados

Realizadas as etapas de jarreste, foi calculado para cada ensaio a eficiência da remoção de turbidez e cor aparente usando a equação 4.2. Os resultados dos valores foram convertidos e colocados na Tabela 4.3 (no lugar de Y(%)), de maneira a se proceder com a análise estatística e de otimização das variáveis dependentes e independentes (Saramago e Silva, 2005; Montgomery, 2009; Cochran & Cox, 1964).

Para isso, utilizou-se o programa *Statistic 8*, com o qual foram realizadas as Curvas de Contorno e Superfícies de Respostas para definir as faixas ótimas operacionais de cada variável resposta. Com essas variáveis, foram determinados os coeficientes ( $\beta$ ) do modelo matemático quadrático do polinômio de segunda ordem (Equação 4.3). Os pontos críticos da superfície de resposta foram calculados por um sistema com quatro equações lineares e quatro incógnitas. A análise de Resíduos, ANOVA, determinação do coeficiente de regressão ( $R^2$ ) e teste F ou p-valor foram usados para avaliar a significância ou não dos efeitos principais e das interações das variáveis dependentes. A análise de regressão foi usada para a validação do modelo matemático.

$$Y(X) = \beta_0 + \sum_j \beta_j X_j + \sum_{i < j} \beta_{ij} X_i X_j + \sum_j \beta_{jj} X_j^2 + r \quad (\text{Equação 4.3})$$

Onde: Y(X) – variável resposta;

X – fatores dos processos;

$\beta_0$  – termo independente;

$\beta_j$  – coeficientes dos termos lineares ou fatores principais;

$\beta_{ij}$  – coeficientes das interações;

$\beta_{jj}$  – coeficientes dos termos quadráticos;

r – resíduo.

#### 4.5. Ensaio da desinfecção solar (SODIS)

Nos testes com SODIS, foram usados volumes de água clarificados com a dose ótima de *Moringa oleifera*. Os volumes foram colocados em garrafas PET transparentes de 1,5 litros. As garrafas foram enchidas até  $\frac{3}{4}$  de seu volume e agitadas por 20 segundos para permitir a oxigenação da água. Depois, eram novamente enchidas até o final e tampadas. Uma das garrafas recebeu um termômetro inserido através da tampa, com o objetivo de monitorar a temperatura da água ao longo do experimento. Outro termômetro era colocado no ar com sol. As amostras expostas ao sol eram colocadas em uma estrutura de madeira com superfície de zinco, voltada para a direção norte e inclinada em  $45^\circ$  (Figura 4.8). Estas condições maximizam o recebimento da radiação solar para as condições geográficas de Porto Alegre. Os testes com SODIS foram feitos variando o tempo de exposição, as condições climáticas, o uso e não de filtração antes do SODIS nos volumes clarificados. A seguir são descritos os ensaios realizados.



Figura 4.7: Aparato para apoio de garrafas expostas ao SODIS

##### ***Primeiro ensaio: Exposição por 48 horas***

No dia 20 de outubro de 2014, foram realizados ensaios de jarteste com dose de *Moringa oleifera*. A água clarificada sem e com filtração (filtro quantitativo de porosidade disforme que retêm sólidos) foi colocada em 12 garrafas PET transparentes de 1,5 litros. Como filtro quantitativo foi usado tecido de algodão de uso doméstico, material disponível em todas as residências para uso, por exemplo, na secagem de utensílios em cozinhas. No dia 21 de outubro, 6 garrafas, 3 com filtração e 3 sem, foram expostas ao sol por 48 horas, enquanto outras 6; 3 com

filtração e 3 sem, foram colocadas à sombra pelo mesmo período. A exposição iniciou às 10 horas do dia 21 e terminou às 10 horas do dia 23, incluindo o período noturno. O dia estava coberto com poucas nuvens, umidade relativa de 64% pela manhã e de 59% à tarde e uma temperatura máxima do dia de 24°C. Após as 48 horas, foram feitas medições das concentrações de coliformes totais e *E. coli*.

### ***Segundo ensaio: Exposição por 2, 4 e 6 horas***

No dia 29 de outubro de 2014 foi realizado outro ensaio SODIS com água clarificada com a dosagem ótima de *Moringa oleifera*. Seis garrafas foram expostas ao sol por seis horas, e outras três permaneceram à sombra. Os volumes de uma garrafa exposta e outra não exposta foram preparados no dia anterior ao teste. As outras quatro garrafas foram preparadas imediatamente antes do início do teste e expostas ao sol sob as mesmas condições já descritas. Das quatro garrafas, duas contendo água clarificada com *Moringa oleifera* foram previamente filtradas em tecido de algodão de uso doméstico de 20 cm x 20 cm, que por sua vez foi dobrado uma vez. Outras duas garrafas não foram filtradas, mas expostas ao sol. O objetivo da filtração era de remover pequenos flocos que permaneciam na água clarificada. As garrafas filtradas e não filtradas foram colocadas numa estrutura de suporte inclinada a 45° e voltada para a direção norte (Figura 4.7). Neste teste, o tempo de exposição foi de seis horas, com início às 10 horas e término às 16 horas. Segundo Wegelin *et al.* (2002), seis horas é o tempo ideal para inativação completa de coliformes por radiação solar, quando não há nuvens.

Amostras foram tomadas nos tempos intermediários de duas e quatro horas, com medições das concentrações de coliformes totais e *E. coli*. O dia estava claro, com poucas nuvens, com umidade pela manhã de 84% e 33% à tarde. O sol estava intenso e a temperatura máxima do ar atingiu 38°C, ao sol, com uma sensação térmica de 40°C.

### ***Monitoramento dos ensaios de SODIS***

Foram monitorados os valores das seguintes variáveis climáticas:

- Temperatura da água e do ar (in situ);
- Índice de radiação UV-A (online em: [www.climatempo.com.br](http://www.climatempo.com.br));

- Umidade relativa do ar (online em: [www.climatempo.com.br](http://www.climatempo.com.br))

#### 4.6. Análise de coliformes totais e *Escherichia coli*

A eficiência da desinfecção solar foi medida através das concentrações de coliformes totais e *E. coli*, antes e depois do período de exposição ao sol e à sombra.

Para isso, as amostras de água bruta e tratada com *Moringa oleifera* foram diluídas em água deionizada, adicionando-se 10 ml da água bruta em 90 ml do diluente, obtendo-se uma diluição de  $10^{-1}$ . A partir dessa primeira diluição, foram obtidas as diluições sucessivas até  $10^{-3}$  para água tratada como *Moringa* e desinfecção solar e  $10^{-5}$  para água bruta (APHA, 1992). Para ambas amostras foi feito um teste sem diluição em 100 ml. A determinação das concentrações de coliformes totais e *E. coli* foi feita pela técnica de Substratos Definidos Cromogênicos, utilizando-se o substrato Colilert® (IDEXX, 2013). Após homogeneização, as amostras de água foram transferidas para uma cartela Quantitray, e seladas em uma seladora específica de marca IDEXX Quanti-Tray™ seller. A seguir, as cartelas foram colocadas numa estufa de secagem à 35°C por 24 horas. Os coliformes totais, eventualmente presentes nas amostras, produziram coloração amarela no substrato após o período de incubação à 35°C por 24 horas. O número de *E. coli* presente foi determinado pelo número de células que apresentaram fluorescência azul, após incidência de raios ultravioletas sobre a cartela. Os números mais prováveis de coliformes totais e *E. coli* foram estimados com uso de tabelas associadas aos testes (Tabela 6 do Anexo).

#### 4.7. Equipamentos, materiais e reagentes.

Os seguintes reagentes foram necessários para o desenvolvimento da pesquisa:

- Extrato de semente da *Moringa*;
- Água destilada ou deionizada;
- Padrões para cor, turbidez e pH
- COLILERT – Substrato enzimático ONPG-MUG e respectivas cartelas plásticas;
- Soluções de:
  - Hidróxido de Sódio de 0,1 e 1,0 N;
  - Solução de Ácido Sulfúrico de 0,1 e 1,0 N;

A Tabela 4.4 mostra os equipamentos e materiais usados para a realização da pesquisa.

Tabela 4.4: Equipamentos e Materiais em diversas atividades

Atividade	Equipamento
Dose de <i>Moringa</i>	Jarteste modelo FlocControl III
Mistura	Agitador magnético
Secagem	Estufa de secagem
Esterilização	Autoclave
Seladora de cartolas de Colilert	Idexx Quanti-Tray™ Seller
Atividade	Materiais
Pilar as sementes de <i>Moringa</i>	Almofariz com pistola
Amostras de água para desinfecção solar	Garrafas PET de 2000 ml
<i>Escherichia coli</i>	Colilert e luz ultravioleta
Cor	Colorímetro de modelo DM-COR-DIGIMED
Turbidez	Turbidímetro modelo HACH 2100
Colifomes totais	Colilert
Exposição solar	Concentrador solar
pH inicial e final	pHmetro modelo Digimed DM-2
Condutividade	Condutivímetro modelo HACH 2100
Temperatura da água e do ar no sol	Termômetro
Reservatório da amostra de água bruta	Garrafas de 20 litros
Peneiramento	Peneira de 0,85 mm
Filtração	Filtro de papel de 7,5 µm
Armazenamento	Vidro de relógio
Adição das doses	Pipeta graduada de 10 e 20 ml
Fitração das amostras de água	Filtros quantitativos de porosidade disforme (tecido de algodão de uso doméstico)
Transferencia de volumes	Beckeres de 50 ml, 100ml, 500ml, 1litros
Índice de radiação UV-A	Dados medidos e fornecidos online pelo site:
Umidade relativa	<a href="http://www.climatempo.com.br">www.climatempo.com.br</a>

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1. Resultados dos ensaios de coagulação, floculação e sedimentação com *Moringa oleifera*

#### 5.1.1. Caracterização da água bruta usada nos ensaios de clarificação e sedimentação

A Tabela 5.1 mostra as características da água bruta que foram usadas nos 28 ensaios de coagulação, floculação e sedimentação com extrato aquoso de *Moringa oleifera*.

Tabela 5.1: Característica da água bruta

Parâmetro de qualidade	Unidade	Lago Guaíba
Cor	Pt-Co	224
Turbidez	UNT	80
pH	-	6,6
Condutividade elétrica	$\mu\text{S}/\text{cm}$	887
SDT	mg/l	665
Alcalinidade	mg/l $\text{CaCO}_3$	20
Temperatura da água	$^{\circ}\text{C}$	15,8

#### 5.1.2. Remoção de cor e turbidez da água bruta nos ensaios de clarificação com *M. oleifera*

A Tabela 5.2 mostra (conforme descrito nas metodologias) os resultados de coagulação, floculação e sedimentação dos 28 ensaios, dos quais foi usado o extrato aquoso das sementes de *Moringa oleifera*. As condições ótimas (valores a negrito na tabela 5.2) do ensaio foram: 950 mg/L de concentração de *Moringa*; 4 minutos de tempo de mistura rápida; 25 minutos de tempo de mistura lenta e 6,5 de pH inicial. O melhor pH, neste caso, foi o pH natural da água encontrado na estação de tratamento, de 6,6. Nestas condições, os valores medidos de cor e turbidez foram de 44,8 Pt-Co e 4,8 UNT, que correspondem a uma eficiência de remoção de 80 e 94%, respectivamente. As velocidades de coagulação e floculação usadas foram de 120 e 20 rpm, as quais, de acordo com o Manual do fabricante do equipamento, correspondem a 135,5 e 18,1  $\text{s}^{-1}$  de gradiente de velocidade.

Tabela 5.2: Eficiência (%) de remoção da turbidez e cor em amostra de água bruta

N	pH	TML(min)	TMR (min)	C (mg/l)	Cor aparente (%)	Turbidez (%)	pH final
1	6,5	15	2	950	78	84	6,4
2	8,5	15	2	950	74	84	7,4
3	6,5	25	2	950	78	86	6,3
4	8,5	25	2	950	78	87	7,0
5	6,5	15	4	950	75	84	6,2
6	8,5	15	4	950	74	85	7,1
<b>7</b>	<b>6,5</b>	<b>25</b>	<b>4</b>	<b>950</b>	<b>80</b>	<b>94</b>	<b>6,3</b>
8	8,5	25	4	950	77	90	6,9
9	6,5	15	2	1550	64	66	6,1
10	8,5	15	2	1550	76	82	6,8
11	6,5	25	2	1550	75	75	6,2
12	8,5	25	2	1550	71	71	6,6
13	6,5	15	4	1550	69	70	6,0
14	8,5	15	4	1550	62	68	6,4
15	6,5	25	4	1550	75	76	6,0
16	8,5	25	4	1550	82	87	6,8
17	5,5	20	3	1250	74	80	5,4
18	9,5	20	3	1250	74	80	7,1
19	7,5	10	3	1250	65	78	6,7
20	7,5	30	3	1250	75	84	6,6
21	7,5	20	1	1250	66	71	6,5
22	7,5	20	5	1250	80	88	6,4
23	7,5	20	3	650	77	87	6,6
24	7,5	20	3	1850	67	70	6,2
25	7,5	20	3	1250	71	85	6,6
26	7,5	20	3	1250	71	84	6,6
27	7,5	20	3	1250	73	86	6,5
28	7,5	20	3	1250	72	84	6,9



### Legenda da Tabela 5.2

N – número do ensaio

TMR – tempo de mistura rápida (minutos)

TML – tempo de mistura lenta (minutos)

C – Concentração de *Moringa oleifera* (mg/L)

Nkurunziza *et al.* (2009), utilizando uma solução de sementes à 3% (preparadas com solução salina), em águas provenientes de rios da Província de Ruanda, observaram uma remoção de 83,2% e 99,8% para uma água com turbidez inicial de 50 e 450 UNT, respectivamente. Paterniani *et al.* (2009) utilizando água bruta com 100 UNT de turbidez inicial verificou uma eficiência de remoção da turbidez em 92%, após tempo de sedimentação de 30 minutos. Amaral *et al.* (2006) obtiveram uma remoção da turbidez de 90,8 e 98,1% para uma água com turbidez inicial de 39,9 e 290 UNT. Ndabigengesere *et al.* (1995) aplicando solução aquosa de extrato de *Moringa oleifera* em 5% em água turva sintética (caolim) com 426 UNT de turbidez inicial, obtiveram remoções de 80 a 90%, e chegaram à concentração ótima de 500 mg/l da solução coagulante. Os valores de remoção apresentados pelos autores concordam com os obtidos neste estudo, que foi de 94% para uma água com turbidez inicial de 80 UNT. Esses dados, segundo Ndabigengesere *et al.* (1995) e Madrona *et al.* (2010), evidenciam a propriedade coagulante da *Moringa* ser mais eficiente em águas com elevada turbidez inicial.

Cardoso *et al.* (2008), usando uma solução aquosa de extrato de *Moringa oleifera*, obtiveram uma remoção de 91,4% em água do rio Pirapó com turbidez inicial de 247 UNT. O valor de eficiência apresentado por esses autores foi próximo ao observado neste estudo. Segundo o mesmo autor, as diferentes eficiências de remoção de turbidez e concentrações ótimas obtidas em vários estudos podem ser explicadas pelos diferentes tipos de amostras de água utilizados nos trabalhos anteriormente citados (água bruta ou artificial), bem como pelo modo de preparo e extração da componente ativa do extrato de *Moringa* (extração salina, aquosa), as concentrações avaliadas, a qualidade das sementes, entre os demais fatores.

Quanto a eficiência na remoção de cor aparente, observou-se uma variação de 46 a 83%, sendo a maior encontrada na faixa de 1550 mg/l (ensaio 16). O ensaio de número 7 apresentou

uma remoção de 80%. Com isso, observa-se que a remoção de cor pela *Moringa* é semelhante ao seu comportamento com relação à turbidez, que esta de acordo com literatura (Cardoso *et al.*, 2008; Nkurunziza *et al.*, 2009; Madrona *et al.*, 2010).

O valor do pH da água para o ensaio de número 7 foi de 6,3, o que representa uma variação de aproximadamente 4,5% em relação ao pH natural da água que foi de 6,6. Essa variação no pH final em relação ao natural acontece devido a adição de substâncias químicas (ácido sulfúrico e hidróxido de sódio) usadas para o seu ajuste. No entanto, o pH final obtido nesse ensaio, está dentro do parâmetro de potabilidade da água, que é de 6,0 a 9,5 (Brasil, 2011; MISAU, 2004). Isso mostra que, essa pequena variação que se verifica na amostra não tem nada a ver com a quantidade do extrato aquoso da solução de *Moringa oleifera* adicionada à água bruta, o que consiste em uma das vantagens da espécie como agente coagulante, ou seja, sua adição não altera significativamente o pH natural da água para situações em que a água se encontre na sua faixa natural (Ndabigengesere *et al.*, 1995; Nkurunziza *et al.*, 2009), ao contrário do tratamento com sulfato de alumínio e cloreto férrico, onde pode haver necessidade de ajuste do pH da água para melhorar a ação coagulante, aumentando assim a quantidade e o custo de reagentes químicos no tratamento de água.

## **5.2. Uso da técnica delineamento composto central rotacional na identificação dos fatores que afectam na remoção de cor e turbidez da água bruta**

### **5.2.1. Análise de variância das variáveis respostas**

Os valores a negrito observados na Tabela 5.3 mostram que as variáveis independentes que influenciaram a remoção da turbidez foram: tempo de mistura rápida; tempo de mistura lenta; dose de *Moringa* e a interação entre os tempos de mistura rápida e tempo de mistura lenta. Para um nível de significância de 95%, os valores de p-valor foram menores do que 0,05.

Tabela 5.3: Análise de variância na remoção da turbidez

Fatores	SQ	Gl	QM	F	p (0,05)
pH (L)	17,192	1	17,1916	0,89509	0,361357
pH (Q)	22,675	1	22,6751	1,18059	0,296973
<b>TML (L)</b>	<b>127,363</b>	<b>1</b>	<b>127,3628</b>	<b>6,63120</b>	<b>0,023069</b>
TML (Q)	13,058	1	13,0584	0,67989	0,424496
<b>TMR (L)</b>	<b>112,180</b>	<b>1</b>	<b>112,1797</b>	<b>5,84068</b>	<b>0,031094</b>
TMR (Q)	32,791	1	32,7907	1,70726	0,213984
<b>Dose de <i>Moringa</i> (L)</b>	<b>734,688</b>	<b>1</b>	<b>734,6883</b>	<b>38,25185</b>	<b>0,000033</b>
Dose de <i>Moringa</i> (Q)	49,819	1	49,8186	2,59383	0,131284
pH*TML	5,865	1	5,8655	0,30539	0,589900
pH*TMR	2,022	1	2,0217	0,10526	0,750765
pH*Dose de <i>Moringa</i>	32,883	1	32,8831	1,71207	0,213379
<b>TML*TMR</b>	<b>90,428</b>	<b>1</b>	<b>90,4282</b>	<b>4,70818</b>	<b>0,049142</b>
TML*Dose de <i>Moringa</i>	0,460	1	0,4599	0,02394	0,879408
TMR*Dose de <i>Moringa</i>	1,747	1	1,7474	0,09098	0,767710
Erro	249,686	13	19,2066		
SST	1447,019	27			
R <sup>2</sup>	0,82745				

Os valores em negrito observados na Tabela 5.4 mostram que as variáveis independentes que influenciaram na remoção de cor aparente foram: tempo de mistura lenta e a concentração da dose de *Moringa*. Para um nível de significância de 95%, os valores de p-valor foram menores do que 0,05.

Tabela 5.4: Análise de variância de cor aparente

Fatores	SQ	Gl	QM	F	p (0,05)
pH (L)	0,0001	1	0,0001	0,000005	0,998292
pH (Q)	20,3266	1	20,3266	1,165637	0,299924
<b>TML (L)</b>	<b>161,5999</b>	<b>1</b>	<b>161,5999</b>	<b>9,267023</b>	<b>0,009405</b>
TML (Q)	0,4335	1	0,4335	0,024858	0,877144
TMR (L)	31,0010	1	31,0010	1,777765	0,205318
TMR (Q)	8,7039	1	8,7039	0,499127	0,492353
<b>Dose de <i>Moringa</i> (L)</b>	<b>145,7889</b>	<b>1</b>	<b>145,7889</b>	<b>8,360333</b>	<b>0,012614</b>
Dose de <i>Moringa</i> (Q)	6,5921	1	6,5921	0,378024	0,549274
pH*TML	0,0151	1	0,0151	0,000864	0,976993
pH*TMR	5,5456	1	5,5456	0,318015	0,582401
pH*Dose de <i>Moringa</i>	12,8349	1	12,8349	0,736026	0,406476
TML*TMR	33,8111	1	33,8111	1,938914	0,187147
TML*Dose de <i>Moringa</i>	26,9333	1	26,9333	1,544504	0,235898
TMR*Dose de <i>Moringa</i>	1,3733	1	1,3733	0,078752	0,783412
Erro	226,6962	13	17,4382		
SST	676,9585	27			
R <sup>2</sup>	0,66513				

### 5.2.2. Análise dos efeitos principais e das interações dos fatores

De acordo com os dados apresentados nas Tabelas 5.3 e 5.4, os fatores que exerceram a maior influência na remoção da turbidez foram a dose de *Moringa*, os tempos de mistura lenta e rápida e a interação entre os tempos de mistura lenta e rápida. Para a cor aparente, os fatores mais importantes foram a dose de *Moringa* e o tempo de mistura lenta. De modo a focalizar a atenção sobre as variáveis independentes nas respostas, foi usado o Diagrama de Pareto (gráfico de colunas horizontais dispostas por ordem decrescente de frequências).

O Diagrama de Pareto representa e interpreta graficamente os efeitos principais e das interações. As Figuras 5.1 e 5.2 mostram os Diagramas de Pareto gerados a partir dos dados da

tabela 5.2. Eles ilustram graficamente a influência das variáveis independentes nas respostas, sendo consideradas significativas aquelas cujas colunas horizontais ultrapassaram as linhas tracejadas. Assim sendo, pode-se afirmar que, os fatores concentração da dose de *Moringa*, os tempo de mistura rápida e lenta e a interação entre os tempo de mistura rápida e lenta apresentaram efeitos significativos na remoção da turbidez (Figura 5.1), enquanto que, por exemplo, a interação entre dose de *Moringa* e tempo de mistura lenta e os demais fatores, não tiveram efeitos significativos a p-valor de 0,05. Para a remoção de cor aparente, os fatores concentração da dose de *Moringa* e tempo de mistura lenta apresentaram efeitos significativos (Figura 5.2), mas, por exemplo, a interação entre a dose de *Moringa* e tempo de mistura rápida e os demais os fatores não tiveram efeitos significativos a p-valor de 0,05. O sinal negativo no valor da dose de *Moringa* (-6,1848) representa o fator que mais influenciou na remoção, tanto da cor aparente, bem como da turbidez.

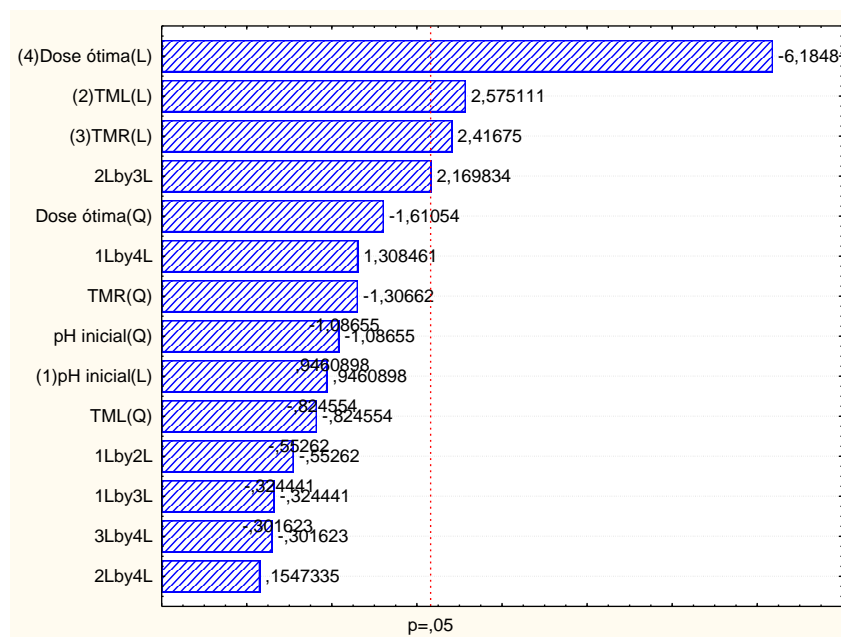


Figura 5.1: Diagrama de Pareto para estimativa dos efeitos principais e interações na remoção da turbidez

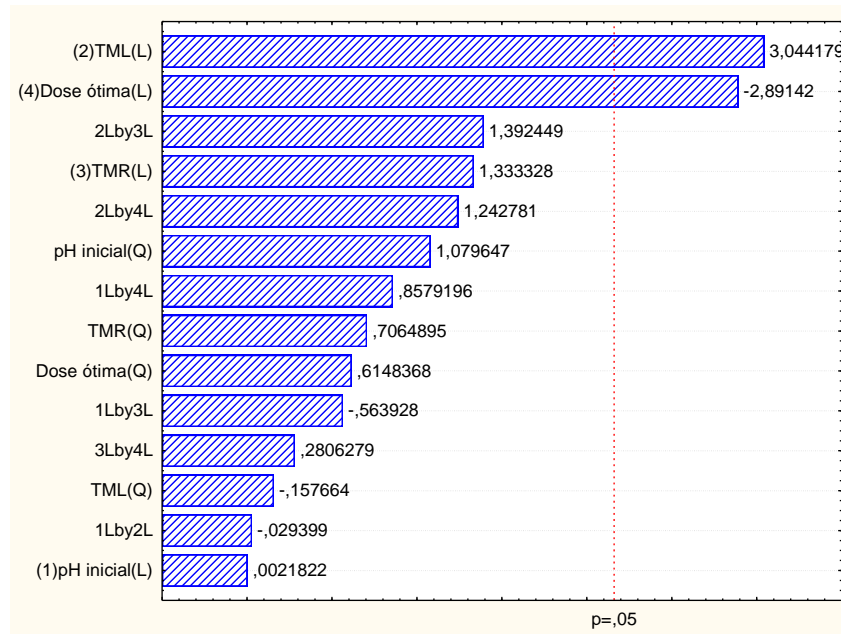


Figura 5.2: Diagrama de Pareto para estimativa dos efeitos principais e interações na remoção da cor aparente

### 5.2.3. ANOVA para validação do modelo matemático à Superfície de Resposta

A Tabela 5.5 mostra a ANOVA para a validação do modelo matemático apresentado na secção 5.2.4. A ANOVA foi feita a um nível de significância de 95%.

Tabela 5.5: ANOVA para validação do modelo matemático à Superfície de Resposta para a turbidez e cor aparente

Fonte de variação	a) Turbidez					b) Cor aparente				
	SQ	Gl	QM	Fcal	Fcr	SQ	Gl	QM	Fcal	Fcr
Regressão (R)	1.197,41	17	70,44	4,51	2,32	450,25	17	26,49	1,87	2,32
Resíduos (r)	249,61	16	15,60			226,71	16	14,17		
Falta de ajuste (FA)	246,68	7	35,24	36,06	8,88	224,72	7	32,10	48,43	8,88
Erro purro (EP)	2,93	3	0,98			1,99	3	0,66		
Total	1.447,02	27				676,96	27			
R <sup>2</sup>	0,828					0,665				

Para facilitar o entendimento da ANOVA do modelo, segundo Brandão (2007), é necessário interpretar o significado de cada soma dos quadrados: Soma dos Quadrados da Regressão ( $SQ_R$ ) que representa a soma dos desvios das previsões feitas pelo modelo em relação à média global; Soma dos Quadrados dos Resíduos ( $SQ_r$ ) que representa a soma das diferenças entre os valores observados e os valores previstos; Soma dos Quadrados Totais ( $SQ_T$ ) que representa a soma dos desvios dos valores observados em relação à média global.

Num modelo bem ajustado, o  $SQ_r$  deve ser pequena de forma que os valores observados e os valores previstos sejam próximos (Saramago & Silva, 2005). Através da equação  $SQ_T = SQ_R + SQ_r$ , nota-se que isso equivale a dizer que a  $SQ_T$  deve ser aproximadamente igual a  $SQ_R$ . A  $SQ_r = SQ_{EP} + SQ_{FA}$ , onde  $SQ_{EP}$  (soma dos quadrados do erro puro) dá uma medida do erro aleatório, ou seja, do erro inerente ao experimento, não tendo nada a ver com o modelo ajustado; e  $SQ_{FA}$  (Soma dos quadrados da falta de ajuste) fornece uma medida da falta de ajuste do modelo.

A Tabela 5.5 (alínea a) mostra que, a  $SQ_r$  no modelo foi obtido somando 246,98 (falta de ajuste) com 2,93 (erro puro) dando 249,61. A  $SQ_R$  foi obtida pela diferença entre  $SQ_T$  e  $SQ_r$  dando 1197,41, mas também podia ser obtido pela multiplicação de  $R^2$  com  $SS_T$ . O F calculado (divisão de  $QM_R$  por  $QMr$ ) para a turbidez foi de 4,51. Portanto, pelo Teste F, a um nível de confiança de 95%, observou-se que a análise de regressão foi significativa, visto que, o valor do F calculado (4,51) é duas vezes maior que o  $F_{17,16}$  tabelado (2,23), indicando desta forma que, o modelo não tem falta de ajuste.

A Tabela 5.5 (alínea b) mostra que, a  $SQ_r$  no modelo foi obtido somando 224,72 (falta de ajuste) com 1,99 (erro puro) dando 226,71. A  $SQ_R$  foi obtido pela diferença entre  $SQ_T$  e a  $SQ_r$  dando 450,25. O F calculado foi de 1,87. Portanto, pelo Teste F, a um nível de confiança de 95%, observou-se que a análise de regressão não foi significativa, visto que, o valor do F calculado é  $4/5$  vezes menor que o  $F_{17,16}$  tabelado (2,23) indicando desta maneira a falta de ajuste do modelo para a cor aparente.

O ajuste do modelo matemático foi feito analisando o coeficiente de regressão ( $R^2$ ) para a turbidez, que foi de 0,828 e de 0,665 para a cor aparente (Tabela 5.5). Segundo Saramago e Silva (2005), os valores de  $R^2$  devem ser próximos a unidade, logo, a modelagem mostrou-se inadequada para a remoção da cor aparente, ou seja, não foi significativa, mas adequada para a turbidez, indicando assim que apenas 82,80 e 66,5% da viabilidade na resposta podem ser explicadas pelo modelo, com isso, 17,2 e 33,5% de turbidez e cor na variância da regressão não dependem das variáveis estudadas.

#### 5.2.4. Metodologia de Superfície Resposta, MSR

A técnica estatística MSR é muito utilizada na modelação e análise de problemas nos quais as respostas são influenciadas por várias variáveis, e que o grande objetivo é a otimização da resposta. Entretanto, após a validação do modelo adotado, através da análise de variância e estimativa dos efeitos principais, foi possível determinar um modelo matemático polinomial de segunda ordem para a remoção da turbidez (Equação 5.1) e cor aparente (Equação 5.2). No modelo matemático, os coeficientes negativos explicam a redução do percentual de cor aparente e turbidez, e os valores a negrito na função são os estritamente significativos.

$$Y_1(X) = \mathbf{84,59} + 1,69X_1 + \mathbf{4,61}X_2 + \mathbf{4,32}X_3 - 11,07X_4 - 1,94X_1^2 - 1,48X_2^2 - 2,34X_3^2 - 2,88X_4^2 - 1,21X_1X_2 - 0,71X_1X_3 + 2,87X_1X_3 + \mathbf{4,75}X_2X_3 + 0,34X_2X_4 - 0,66X_3X_4 \quad (\text{Equação 5.1})$$

Onde:

$Y_1(X)$  = remoção da turbidez (%);

$X_1$  = pH inicial;

$X_2$  = Tempo de mistura lenta;

$X_3$  = Tempo de mistura rápida;

$X_4$  = dosagem do extrato aquoso da *Moringa oleifera*

$$Y_2(X) = \mathbf{71,67} + 0,004X_1 + \mathbf{5,19}X_2 + 2,27X_3 - \mathbf{4,93}X_4 + 1,84X_1^2 - 0,27X_2^2 + 1,20X_3^2 + 1,05X_4^2 - 0,06X_1X_3 - 1,18X_1X_3 + 1,79X_1X_4 + 2,91X_2X_3 + 2,59X_2X_4 + 0,59X_3X_4 \quad (\text{Equação 5.2})$$



Onde:

$Y_2(X)$  = remoção da cor aparente (%);

$X_1$  = pH inicial;

$X_2$  = Tempo de mistura lenta;

$X_3$  = Tempo de mistura rápida;

$X_4$  = dosagem do extrato aquoso da *Moringa oleifera*

Segundo Montgomery (1991), a um nível de significância de 95%, denota-se que existe uma curvatura acentuada no plano quando a diferença entre a média da resposta para os pontos fatoriais e a média dos resultados obtidos no ponto central for maior, dando uma aproximação da superfície de resposta. A análise feita pelo autor concorda com a observada para a variável turbidez (Figura 5.3 e 5.4), pois a diferença entre a média das respostas para os pontos fatoriais e a média dos resultados obtidos no ponto central (Tabela 5.2) é maior, logo a região de superfície de resposta é não plana (Figura 5.3; 5.5 e 5.6).

Nas figuras 5.3; 5.4 e 5.5 constatam-se que a região pintada mais a vermelho representa zonas de maior remoção para turbidez. Na figura 5.3, a zona onde aconteceu maior remoção da turbidez foi a 25 minutos de TML e de aproximadamente 6,5 de pH inicial, e na figura 5.4 foi a 4 de TMR para um pH inicial de aproximadamente 6,5.

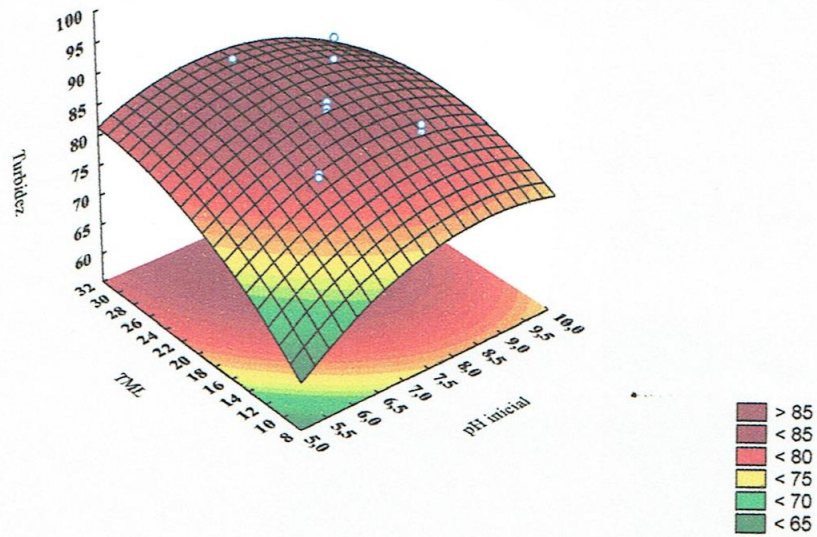


Figura 5.3: Curva de contorno e superfície de resposta na remoção da turbidez: interação dos fatores TML versus pH inicial

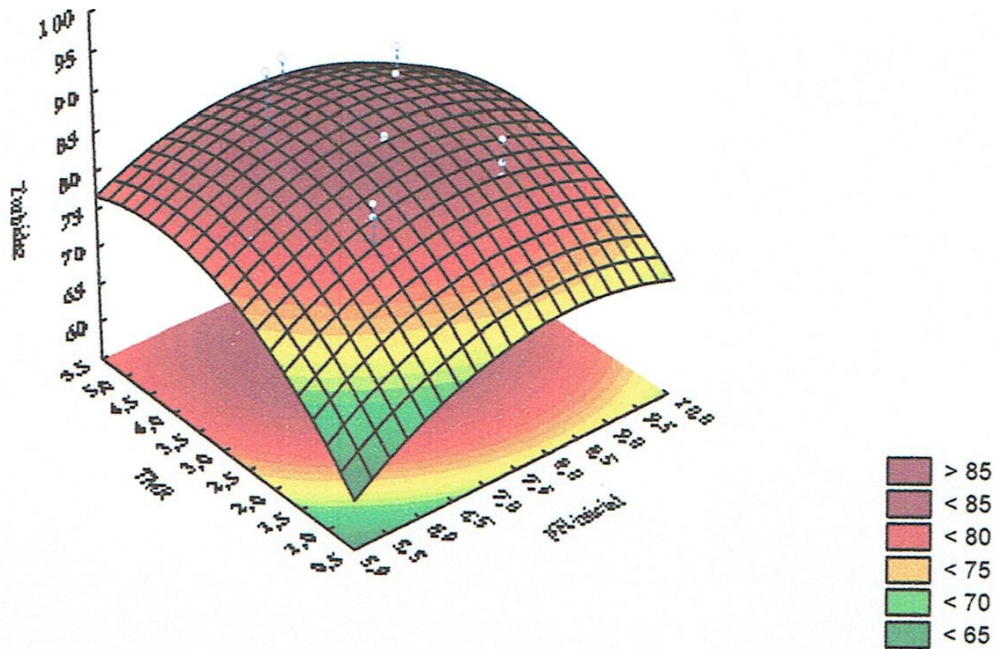


Figura 5.4: Curva de contorno e superfície de resposta na remoção turbidez: interação dos fatores TMR versus pH inicial

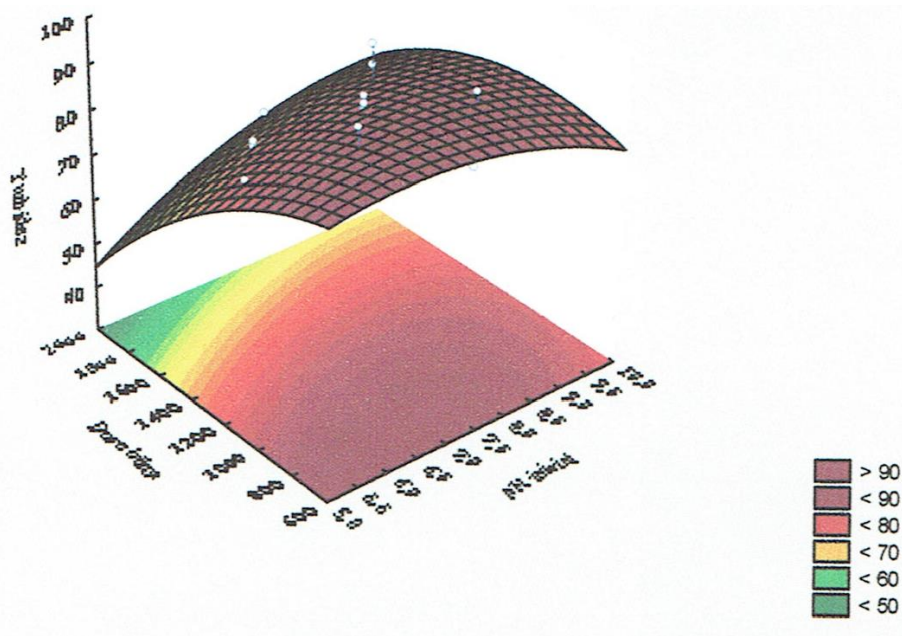


Figura 5.5: Curva de contorno e superfície de resposta na remoção turbidez: interação dos fatores da dose de *Moringa* e pH inicial

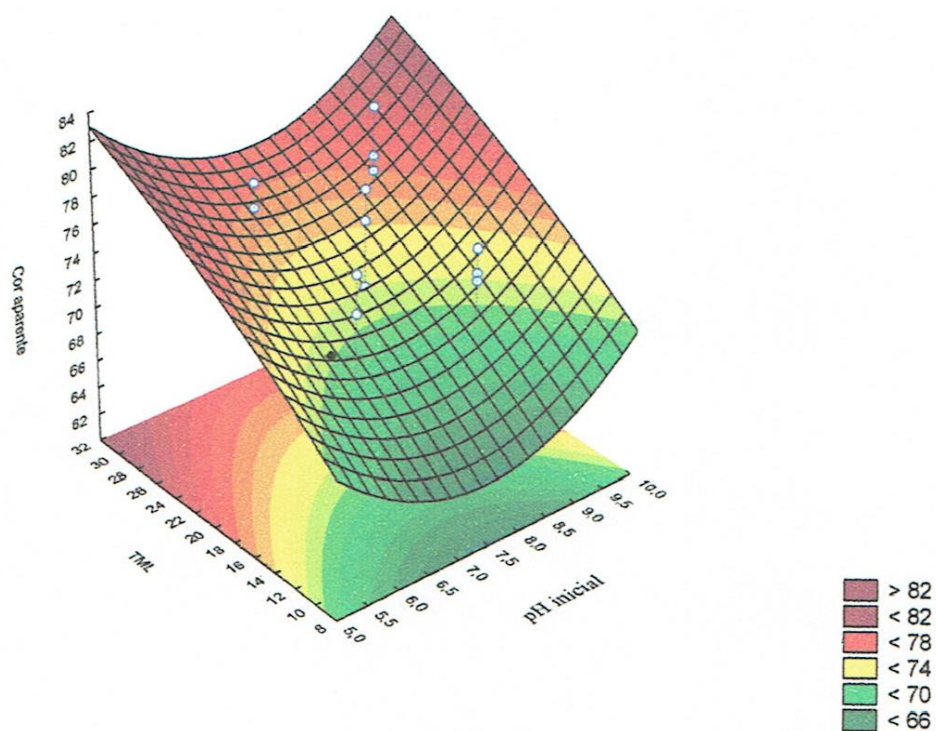


Figura 5.6: Curva de contorno e superfície de resposta na remoção de cor: interação dos fatores TML e pH inicial

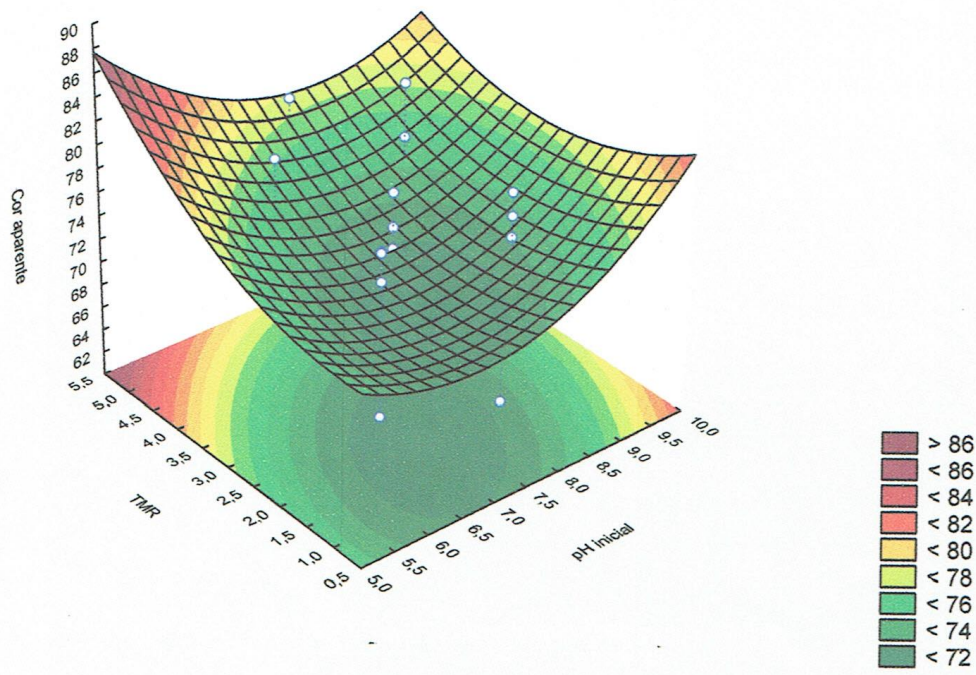


Figura 5.7: Curva de contorno e superfície de resposta na remoção de cor: interação dos fatores da TMR e pH inicial

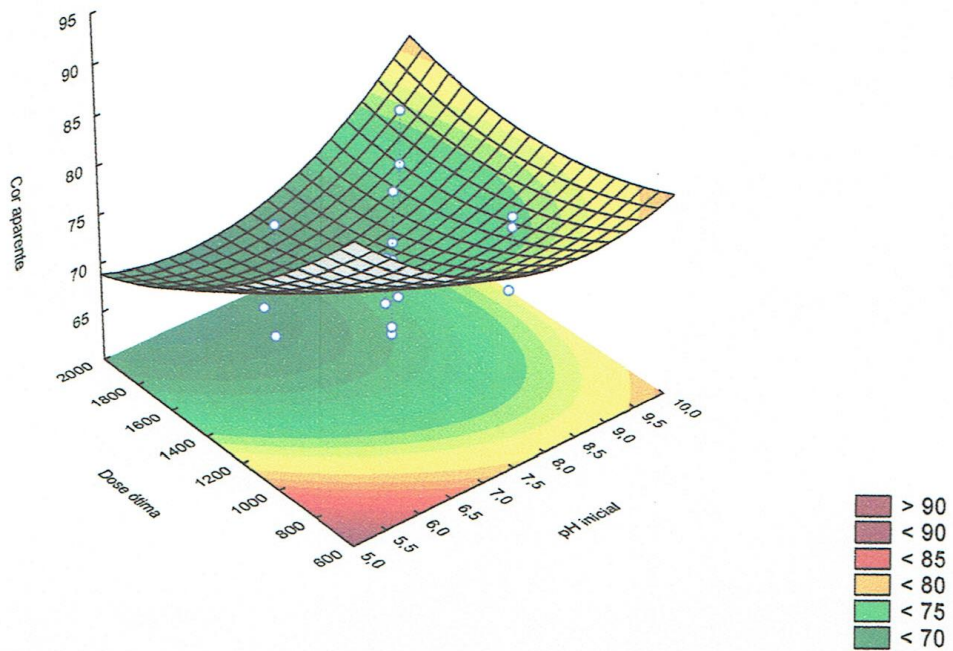


Figura 5.8: Curva de contorno e superfície de resposta na remoção de cor: interação dos fatores dose de *Moringa* e pH inicial



Com base nos modelos, foram construídas superfícies de respostas e de contornos para a remoção da turbidez e cor. Observando nas Figuras de contorno e de superfície acima citadas, nota-se que os valores da Tabela 5.6 representam os pontos críticos a partir dos quais o processo de coagulação e floculação para a remoção da turbidez e cor torna-se crítica.

Tabela 5.6: Regiões críticas para turbidez e cor aparente e pH final

Parâmetros	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>
Turbidez	8,74	1,37	0,12	892,99
Cor aparente	1,12	30,04	3,16	969,40
pH final	9,62	31,26	4,46	849,67

A figura 5.9 mostra visualmente a diferença entre a água bruta e a água após o tratamento com *Moringa*.

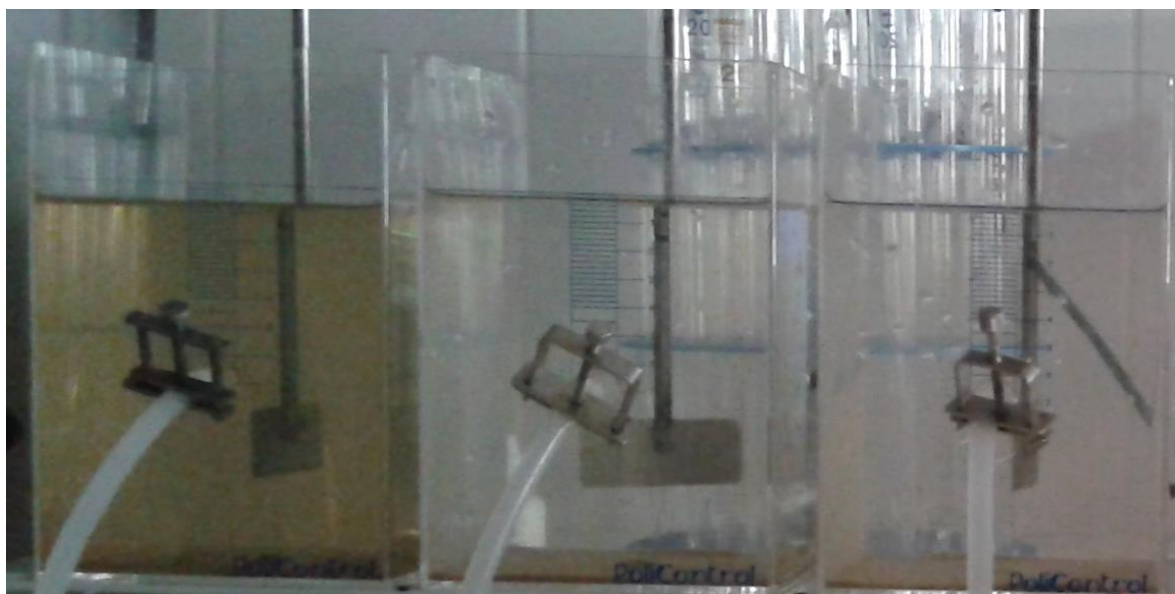


Figura 5.9: À direita água tratada com *Moringa* e à esquerda água bruta (ensaio 7)

### 5.3. Ensaio de eficiência da desinfecção solar na remoção de *E. coli* e coliformes totais na água clarificada com *Moringa oleifera*

#### 5.3.1. Caracterização da água usada na desinfecção solar por 2, 4 e 6 horas

A Tabela 5.7 mostra as características da água bruta usada nos ensaios com SODIS. A água foi coletada na entrada da ETA Moinhos de Vento, que capta a água no Lago Guaíba.

Tabela 5.7: Característica da água bruta usada nos ensaios com SODIS por 2, 4 e 6 horas

Parâmetro de qualidade	Unidade	Lago Guaíba
Cor	Pt-Co	137
Turbidez	UNT	47,5
<i>E. coli</i>	NMP/100 ml	$2 \times 10^3$
Coliformes totais	NMP/100 ml	$73 \times 10^4$
pH	-	6,6
Temperatura da água	°C	16,5

### 5.3.2. Análise da remoção de *E. coli* e coliformes totais antes do tratamento com SODIS

A água usada para a remoção de *E. coli* e coliformes totais antes do tratamento com SODIS foi clarificada com *Moringa oleifera* de acordo com as condições ótimas descritas no item 5.1.2. Usando essas condições, os valores medidos de cor e turbidez foram de: 39 Pt-Co; 7,3 UNT (água não filtrada) e de 1,5 UNT (água filtrada), que correspondem a eficiência de remoção de 80; 84 e 97%, respectivamente. Para a água filtrada, foram usados filtros quantitativos de porosidade disforme de 20 cm x 20 cm duplicados e sobrepostos em três camadas. O conjunto de filtros foi dobrado.

Madsen *et al.* (1987) mediram 80 a 95 % de remoção de bactérias em água do Rio Nilo. Esses valores estão próximos aos obtidos neste estudo para água clarificada com *Moringa* (Tabela 5.8). Sabe-se que, a clarificação da água bruta reduz a concentração de microorganismos, aumentando segurança no processo subsequente de desinfecção (Piveli, 1998).

Tabela 5.8: Número mais provável de *E. coli* e coliformes totais na água bruta e tratada com *Moringa*

Bactérias	Água Bruta	Água clarificada com <i>Moringa oleifera</i>			
		Sem filtração	% de remoção	Com filtração	% de remoção
C. total	$73 \times 10^4$	$268,2 \times 10^2$	96,3	$35,9 \times 10^2$	99,5
<i>E. coli</i>	$2 \times 10^3$	$3,1 \times 10^1$	98,5	$1 \times 10^1$	99,5

Os valores de coliformes totais e *E. coli* apresentados na Tabela 5.8 evidenciam que a água bruta da estação de captação tem presença de matéria fecal. O tratamento desta com *Moringa* foi suficiente para colocá-la próxima aos padrões de *E. coli* exigidos pela norma da OMS, MISAU (2004) e Brasil (2011), pois houve uma remoção da *E. coli* em 98,5% para água não filtrada e de 99,5% para água filtrada com filtro quantitativo de porosidade disforme (Tabela 7 do Anexo). Os valores apresentados no estudo concordam com os observados por Jahn (1998) em seu experimento verificou uma redução de 90–99,9% desse microorganismo. Para esse autor, essa redução deve-se ao fato das sementes de *Moringa* terem a capacidade de coagular microorganismos patogênicos e reduzir a turbidez, além de possuírem cotilédones que contém substâncias antimicrobianas que ajudam na remoção de microorganismos.

### **5.3.3. Análise da remoção de *E. coli* e coliformes totais depois do tratamento com SODIS**

As amostras de água clarificadas com *Moringa* (com e sem filtração), de acordo com o descrito no item 5.3.2, foram submetidas à exposição solar por 2, 4 e 6 horas para avaliar a eficiência de remoção de coliformes totais e *E. coli*.

#### **Exposição solar das amostras de água por 2, 4 e 6 horas**

A amostra de água clarificada como *Moringa* foi colocada em garrafas PET transparentes e expostas à radiação solar por 2, 4 e 6 horas. As temperaturas da água na garrafa e do ar no sol foram de 54 e 44°C (Figura 5.10), e o índice UV e a umidade do dia foram de 11 e 58%, respectivamente (Tabela 10 do Anexo). Meierhofer & Wegelin (2002), Zapp *et al.* (1987) e Sichel *et al.* (2007) afirmaram que, se a temperatura da água for de pelo menos 50°C, uma hora é suficiente para remoção de microorganismos, caso atinja 40°C, assume-se que seis horas sejam suficientes para inativar 99,99% de *E. coli*.

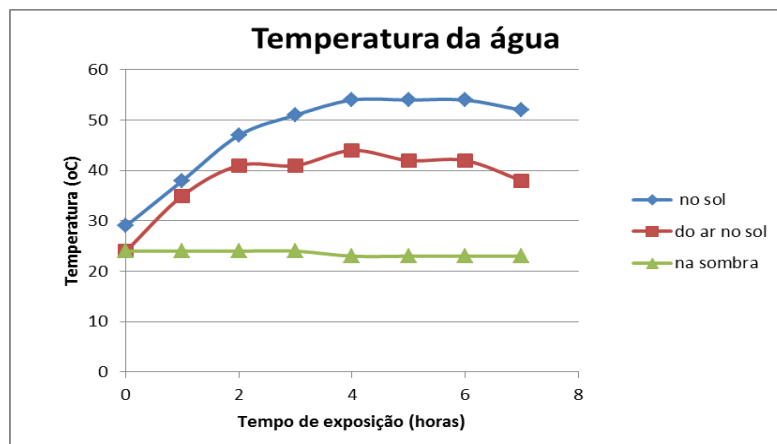


Figura 5.10: Temperatura da água na exposição por 2, 4 e 6 horas

**a) Remoção de coliformes totais e *E. coli* na água sem filtração clarificada com *Moringa***

A Tabela 5.9 mostra a redução de *E. coli* e coliformes totais em amostras de água sem filtração clarificadas com *Moringa* e expostas ao sol e a sombra por 2, 4 e 6 horas. A exposição ao sol por 6 horas resultou na remoção de 100% de *E. coli* tanto nas amostras de água preparadas no mesmo dia, como nas preparadas no dia anterior. A remoção em 100% de coliformes totais por 6 horas só foi possível na água preparada no mesmo dia e exposta ao sol.

Tabela 5.9: Número mais provável de coliformes totais e *E. coli* na água sem filtração clarificada com *Moringa* e exposta a sombra e sol por 2, 4 e 6 horas

Tipo de Exposição	Bactérias	Água s/ filtração	2 horas	%	4 horas	%	6 horas	%	Reincidência após 6 h
Sombra	C. total	$268,2 \times 10^2$	$240,2 \times 10^{2*}$	10,4	$214 \times 10^{2*}$	20,2	$190,3 \times 10^{2*}$	29,0	-
	<i>E. coli</i>	$3,1 \times 10^1$	10,8*	65,2	2*	93,5	<1*	100	-
Sol	C. total	$268,2 \times 10^2$	$108,2 \times 10^{2*}$	59,7	$67,7^{**}$	99,7	<1**	100	Sem
	<i>E. coli</i>	$3,1 \times 10^1$	10,9*	64,8	<1**	100	<1**	100	Sem

\*Amostra de água preparada no dia anterior à exposição solar

\*\*amostra de água preparada no mesmo dia da exposição solar

Na Tabela 5.9 pode-se notar que, para amostras expostas à sombra houve uma remoção de 10,4 e 65,2% de coliformes totais e *E. coli* por 2 horas e de 20,2 e 93,5% por 4 horas. A exposição ao sol das amostras preparadas no mesmo dia por 4 horas resultou na remoção de



99,7% de coliformes totais e de 100% de *E. coli*, enquanto, nas amostras preparadas no dia anterior e expostas por 2 horas houve uma remoção de 59,7 e 64,8% de coliformes totais e *E. coli*.

**b) Remoção de coliformes totais e *E. coli* na água com filtração clarificada com *Moringa***

A Tabela 5.10 mostra a redução de *E. coli* em amostras de água com filtração clarificada com *Moringa* e expostas ao sol e a sombra por 2, 4 e 6 horas. A exposição na sombra e no sol por 6 horas removeu 100% de *E. coli*, tanto para amostra preparada no mesmo dia da exposição, bem como nas preparadas no dia anterior. Para a água tratada no dia anterior e exposta à sombra, a remoção de coliformes totais por 6 horas foi de 45,4%. A remoção dos coliformes totais foi em 100% após 6 horas de exposição solar.

Tabela 5.10: Número mais provável de *E.coli* e coliformes totais na água com filtração clarificada com *Moringa* e exposta a sombra e ao sol por 2, 4 e 6 horas

Tipo de Exposição	Bactérias	Água c/ filtração	2 horas	%	4 horas	%	6 horas	%	Reincidência após 6 h
Sol	C. total	35,9x10 <sup>2</sup>	29x10 <sup>2*</sup>	19,2	19,4x10 <sup>2**</sup>	46,0	<1 <sup>**</sup>	100	Sem
	<i>E. coli</i>	1x10 <sup>1</sup>	3 <sup>*</sup>	70	<1 <sup>**</sup>	100	<1 <sup>**</sup>	100	Sem
Sombra	C. total	35,9x10 <sup>2</sup>	28,1x10 <sup>2*</sup>	21,7	24,9x10 <sup>2*</sup>	30,6	19,6x10 <sup>2*</sup>	45,4	-
	<i>E. coli</i>	1x10 <sup>1</sup>	3,1 <sup>*</sup>	69	2 <sup>*</sup>	80	<1 <sup>*</sup>	100	-

\*Amostra de água preparada no dia anterior à exposição solar

\*\*amostra de água preparada no mesmo dia da exposição solar

Na Tabela 5.10 pode se notar que, em amostras de água expostas à sombra por 2 e 4 horas, a remoção de coliformes totais foi de 21,7 e 30,6% e de *E. coli* foi 69 e 80% respectivamente, enquanto que, para o mesmo período, a exposição ao sol removeu 21,7 e 30,6% de coliformes totais e de 69 e 80% de *E. coli*.

Londe (2002) observou inativação de 100% de coliformes totais e *E. coli* num período de exposição de 6 horas em um dia nublado e a água com turbidez e cor final de 2 UNT e 62 uC.

Brandão *et al.* (2013) observou remoção total em 2 horas de exposição, temperatura da água de 50°C, e turbidez inicial de 110 UNT e concentração de coliformes totais de  $10^6$  UFC/100ml.

Os resultados observados nas Tabelas 5.9 e 5.10 mostram que amostras de água exposta à radiação solar não tiveram reincidência de coliformes totais e *E. coli* após 6 horas de término do teste. Essa análise concorda com a que foi observada por Paterniani e Silva (2005) num estudo com efluentes de tratamento terciário (5,5 UNT de turbidez e 126 de cor aparente) e concentrações de coliformes totais e *E. coli* na ordem de  $10^5$  e  $10^4$  NMP por 100 ml, respectivamente. Os autores observaram, no entanto que, as garrafas expostas no concentrador solar alcançaram 70°C e tiveram remoção total dos microorganismos em 4 horas de exposição, e as que ficaram sem concentrador solar, alcançaram 50°C em tempo de exposição de 6 horas, havendo inativação de 100% de microorganismos. Num trabalho realizado por Reed *et al.* (2000) na Índia e na África do Sul, evidenciaram que a energia solar inativava *E. coli* quando a garrafa PET sofria uma leve agitação, incorporando oxigênio, o que aumenta a capacidade de desinfecção de microorganismos, entre 3 e 6 horas de exposição da água ao sol.

#### 5.3.4. Exposição solar das amostras de água por 48 horas

##### 5.3.4.1. Caracterização da água usada na desinfecção solar por 48 horas

A Tabela 5.11 mostra as características da água bruta usada nos ensaios com SODIS por 48 horas. A água foi coletada na entrada da ETA Moinhos de Vento.

Tabela 5.11: Característica da água bruta usada nos ensaios com SODIS por 48 horas

Parâmetro de qualidade	Unidade	Lago Guaíba
Cor	Pt-Co	177
Turbidez	UNT	43,8
<i>E. coli</i>	NMP/100 ml	$10,75 \times 10^3$
Coliformes totais	NMP/100 ml	$64,05 \times 10^4$
pH	-	6,7
Temperatura da água	°C	17,1

A água usada nos ensaios para a remoção de coliformes totais e *E. coli* antes do tratamento com SODIS foi clarificada com *Moringa oleifera* de acordo com as condições ótimas descritas no item 5.1.2. Usando essas condições, os valores medidos de cor e turbidez foram de: 45 uC; 11,5 UNT (água não filtrada) e de 7,6 UNT (água filtrada), que correspondem eficiência de 75; 74 (água não filtrada) e 83% (água filtrada), respectivamente. Para a água filtrada, foram usados filtros quantitativos de porosidade disforme de 20 cm x 20 cm, que por sua vez foram duplicados e sobreposto em duas camadas. A Tabela 5.12 mostra o número mais provável de coliformes totais e fecais em amostras de água filtrada e não filtrada clarificada com *Moringa* para o ensaio por 48 horas.

Tabela 5.12: Número mais provável de *E. coli* e coliformes totais na água bruta e tratada com *Moringa*

Bactérias	Água	Água clarificada com <i>Moringa oleifera</i>			
	Bruta	Sem filtração	% de remoção	Com filtração	% de remoção
C. total	$64,05 \times 10^4$	$33,25 \times 10^3$	94,8	$22,22 \times 10^3$	96,5
<i>E. coli</i>	$10,75 \times 10^3$	$83,3 \times 10^1$	92,3	$51,2 \times 10^1$	95,2

**a) Remoção de coliformes totais e *E. coli* na água sem filtração clarificada com *Moringa***

Na exposição por 48 horas, os valores de coliformes totais e *E. coli* foram calculados a partir de três amostras iguais de água retiradas na garrafa PET, e o mesmo procedimento foi utilizado para as 12 garrafas. Com isso, foi usada a média geométrica por ser a melhor medida de tendência central em relação à média aritmética para os casos de coliformes, onde há variações numéricas de ordens de magnitude (Sperling, 2007). As amostras de água usadas no ensaio foram preparadas no dia anterior à exposição. No dia da exposição, as temperaturas da água (com e sem filtração) e do ar no sol após a exposição solar por 48 horas foram de 41 e 30°C no dia 21 e de 44 e 33°C no dia 22 (Figura 5.11). A umidade do dia e o índice UV no dia 21 foram de 77% e 10 e no dia 22 foi de 55% e 10 (Tabela 11 do Anexo), respectivamente. A água usada na exposição foi preparada no dia anterior.

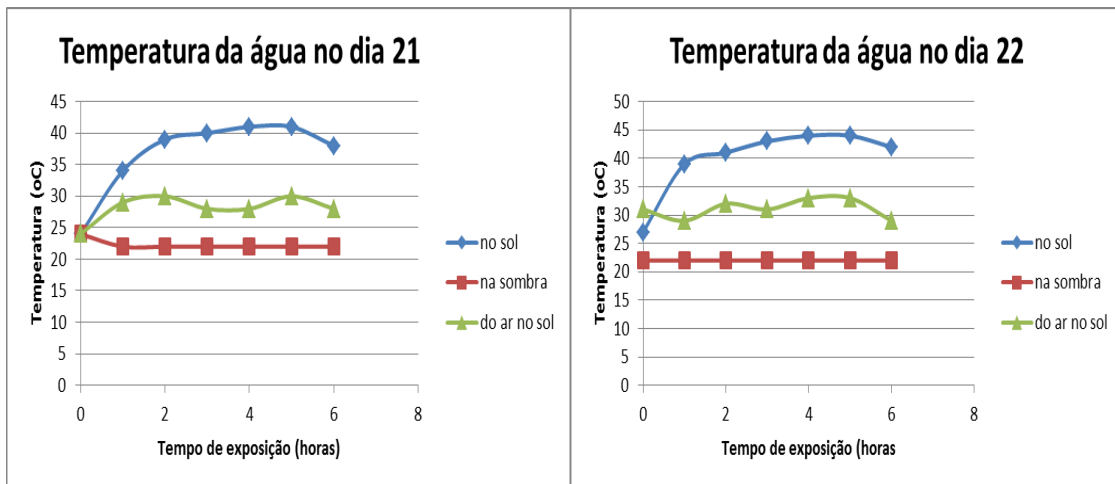


Figura 5.11: Temperatura da água na exposição por 48 horas

A Tabela 5.13 mostra a média geométrica do número mais provável de *E. coli* e coliformes totais em amostras de água não filtrada clarificada com *Moringa* e exposta a radiação solar por 48 horas. Observando a tabela nota-se que, a exposição solar por 48 horas ocasionou a remoção de *E. coli* e coliformes totais de 84,6 e 27,2%, respectivamente.

Tabela 5.13: Média geométrica do número mais provável de coliformes totais e *E. coli* na água sem filtração clarificada com *Moringa* e exposta ao sol por 48 horas

Parâmetro	Bacterias	Água sem filtração	Diluições	Média geométrica da água tratada + 48 horas	% de remoção
Sol	<i>E. coli</i>	$83,3 \times 10^1$	$5 \times 10$ 100,5	128,0	84,6
	C. total	$332,5 \times 10^2$	$41,7 \times 10$ $10,5 \times 10^3$ 176,7 $\times 10^2$ $76,6 \times 10^3$	$242,2 \times 10^2$	27,2

**b) Remoção de coliformes totais e *E. coli* na água com filtração clarificada com *Moringa***

A Tabela 5.14 mostra a média geométrica do número mais provável de *E. coli* e coliformes totais em amostras de água filtrada clarificada com *Moringa* e exposta a radiação

solar e a sombra por 48 horas. Observando a tabela nota-se que, a exposição das amostras ao sol ocasionou a remoção de 53,6 e de 91,8% de *E. coli* e coliformes totais e de 58,4 e 44,5 de *E. coli* e coliformes totais na sombra.

Tabela 5.14: Média geométrica do número mais provável de *E. coli* e coliformes na água com filtração clarificada com *Moringa* e exposta a sombra e sol por 48 horas

Parâmetro	Bacterias	Água com filtração	Diluições	Média geométrica da água tratada + 48 horas	% de remoção
Sol	<i>E. coli</i>	83,3x10 <sup>1</sup>	2	41,9	91,8
			119,1x10		
	C. total	35,9x10 <sup>2</sup>	309,4	16,7x10 <sup>2</sup>	53,6
			24,6x10 <sup>2</sup>		
Sombra	<i>E. coli</i>	83,3x10 <sup>1</sup>	80,7x10	212,8	58,4
			3x10		
	C. total	35,9x10 <sup>2</sup>	66,8x10	19,9x10 <sup>2</sup>	44,5
			17,4x10 <sup>2</sup>		
			42,4x10 <sup>2</sup>		

#### 5.4. Qualidade da água clarificada com *Moringa* e SODIS

A Tabela 5.15 apresenta os valores limites recomendados como parâmetros de qualidade de água para consumo de acordo com MISAU (2004) e Ministério de Saúde do Brasil (2011).

Tabela 5.15: Valores limite aconselhados como parâmetros de qualidade de água

Parâmetros	Unidade	Valor Limite	Comentários da OMS
Cor	UC	15 – aceitável;	Acima de 15 UC é detetados pelas pessoas, mas abaixo, são mais aceitáveis.
Turbidez	UNT	5	Níveis elevados protegem microorganismos dos efeitos da desinfecção.
C. total e <i>E. coli</i>	NMP/100ml	Ausência em 100 ml	Causa diarreias e outras doenças.
pH	-	6,00 – 9,5	Sabor

Fonte: MISAU (2004)

Água potável deve ter ausência de *E. coli* e coliformes totais por 100 ml da amostra (Ministério da Saúde do Brasil, 2011; MISAU, 2004). Após a determinação do ensaio nas condições ótimas do uso do coagulante, procedeu-se a determinação das características da qualidade da água clarificada com *Moringa oleifera*. As Tabelas 5.16 e 5.17 mostram valores de turbidez e cor obtidos no tratamento da água como *Moringa* e valores máximos de tratabilidade alcançados na água após os testes de coagulação, floculação e sedimentação com a *Moringa* e desinfecção com SODIS.

Tabela 5.16: Valores de turbidez e cor obtidos no tratamento da água como *Moringa*

Parâmetro de qualidade	Água clarificada com <i>Moringa</i>				
	Inicial	Sem filtração	% de remoção	Com filtração	% de remoção
Cor (uH)	137	39	71,5	35	74,5
Turbidez (UNT)	47,5	7,5	84,2	1,5	96,8

Tabelas 5.17: Valores máximos de tratabilidade alcançados na água após os testes de coagulação, floculação e sedimentação com a *Moringa* e desinfecção com SODIS.

Processo	Tipo de tratamento	Bactérias	
		C. total	<i>E. coli</i>
Água bruta	-	$73 \times 10^4$	$2 \times 10^3$
a) Água clarificada com <i>Moringa</i>	Sem filtração	$268,2 \times 10^2$	$3,1 \times 10$
	% de remoção	96,3	98,5
	Com filtração	$35,9 \times 10^2$	$1 \times 10^1$
	% de remoção	99,5	99,5
b) Exposição da água clarificada ao sol por 6 horas	Com filtração	0	0
	% de remoção	100	100
Reincidência de C. total e <i>E. coli</i> após 6 h		-	Sem Sem
Potabilidade quanto a C. total e <i>E. coli</i>	a) + b)	100	100

As Tabelas 5.16 e 5.17 evidenciam que, a exposição da água à radiação solar, antecipado pela clarificação *Moringa oleifera* e filtração, promoveram uma diminuição significativa de *E. coli* e coliformes totais após 6 horas de exposição, sendo assim considerada potável quanto a esses indicadores de poluição fecal (Tabela 5.16). A utilização simultânea dos três tipos de tratamento melhorou consideravelmente a potabilidade da água (Tabela 5.17).

## 6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Na presente dissertação, foi usado o extrato aquoso das sementes de *Moringa oleifera* na coagulação, floculação e sedimentação de substâncias e microorganismos patogênicos dissolvidos na água bruta. As sementes de *Moringa* usadas como coagulante e floculante, foram piladas até obter-se uma granulometria reduzida. Com a água tratada com *Moringa*, foi feita a desinfecção solar (SODIS) para inativação de microorganismos patogênicos remanescentes. Na desinfecção solar, a água foi exposta ao sol por seis horas, tempo necessário para inativação de microorganismos patogênicos.

O extrato aquoso de *Moringa oleifera* sem a exposição à radiação solar mostrou-se eficiente na redução de *E. coli* em 98,5% e de coliformes totais em 96,3%, para água não filtrada e de 99,5% para ambos microorganismos na água filtrada com um filtro quantitativo de porosidade disforme. O uso conjunto de *Moringa oleifera*, da filtração e desinfecção solar eliminaram 100% de *E. coli* e coliformes totais após um período de exposição solar de 6 horas, tornando-a potável em relação a esse parâmetro.

Através do Delineamento Composto Central Rotacional foi possível verificar que as variáveis que influenciaram na remoção da turbidez foram: a dose ótima de *Moringa*, os tempos de mistura lenta e rápida e a interação entre os tempos de mistura rápida e lenta. A remoção de cor foi influenciada pelas variáveis: a dose ótima de *Moringa* e tempo de mistura lenta. O intervalo de pH adotado não afetou de forma significativa na remoção da cor e turbidez. Pela análise de coeficiente de regressão, o modelo matemático que melhor se adequou na otimização das variáveis estudadas foi o da turbidez.

A Metodologia de Superfície de Resposta do Delineamento Composto Central Rotacional determinou que a região satisfatória para remoção de cor e turbidez nos ensaios de coagulação, floculação e sedimentação teve pH de 6,3, tempos de mistura rápida e lenta de 4 e 25 minutos, respectivamente, e dose de *Moringa* de 950 mg/l. A região crítica, onde a remoção da turbidez não seria satisfatória, apresentou pH inicial de 8,0, dose ótima de 695mg/l; tempos de mistura rápida e lenta de 2,3 e 10,1 minutos, respectivamente,. A região crítica onde a remoção da cor



---

aparente não seria satisfatória, apresentou pH inicial de 8,1, dose ótima de 969 mg/l, tempos de mistura rápida e lenta de 3,2 e 20,8 minutos, respectivamente.

Os resultados obtidos neste trabalho evidenciam que soluções simples e de baixo custo podem melhorar a qualidade da água usada para consumo humano em regiões onde não há sistemas de abastecimento público de água potável. O uso de *Moringa oleifera* para a remoção de turbidez e SODIS para desinfecção produz água com qualidade para prevenir enfermidades de transmissão hídrica responsáveis por muitas mortes, em especial de crianças, nos países emergentes.

Uma recomendação que pode ser feita a partir dos resultados observados nesta pesquisa é a aplicação do método de tratamento de água constituído por coagulação com *Moringa oleifera* e desinfecção com SODIS em uma região onde não há serviço de abastecimento de água potável. Seria interessante uma avaliação conjunta deste método de tratamento de água associado a estudos epidemiológicos que comprovem seus efeitos na diminuição da ocorrência de doenças de veiculação hídrica na população beneficiada.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Acra, A.; RaffouL, A.; Karahagopian, Y. (1984). *Solar disinfection of drinking water and oral rehydration solutions*. Paris, UNICEF.

Abreu Lima, G. J. (2007). *Uso de polímero natural do quiabo como auxiliar de floculação e filtração em tratamento de água e esgoto*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ, Rio de Janeiro, Brasil.

Akhtar, M., Moosa Hasany, S., Bhangar, M. I., & Iqbal, S. (2007). Sorption potential of *Moringa oleifera* pods for the removal of organic pollutants from aqueous solutions. *Journal of Hazardous Materials*, 141(3), 546–556.

Ali, E. N.; Muyibi, S. A.; Salleh, H. M.; Alam, M. Z.; Salleh, M. R. (2010). Production of natural coagulant from *Moringa oleifera* seed for application in treatment of low turbidity water. *Journal of Water Resource and Protection*, 2010, 2, 259-266 doi:10.4236/jwarp.2010.23030 Published Online March 2010.

Almeida, L. B.; Bendati, M. M.; Schwarzbach, M. S. R.; Maizonave, C. R. M.; Bringhenti, M. L. (2000). *Avaliação da qualidade da água do Lago Guaíba (Rio Grande do Sul, Brasil) como suporte para a gestão da bacia hidrográfica* in: XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental. V-076, ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental; Porto Alegre – Brasil.

Almeida, R. B. R. (2009). *Clarificação de água utilizando sementes da planta Moringa oleifera* União Dinâmica de Faculdade Cataratas, Curso de Engenharia Ambiental pela Faculdade Dinâmica das Cataratas - UDC, Foz do Iguaçu, Paraná - Brasil; disponível em: <http://www.udc.edc.br/monografia/monoamb79.pdf>

Alves, C. (2007). *Tratamento de águas de abastecimento*. 2.<sup>a</sup> edição; Publindústria, Porto – Portugal.

Amagloh, F. K.; Benang, A. (2009). Effectiveness of *Moringa oleifera* seed as coagulant for water purification in: *African Journal of agricultural Research*. vol. 4 (1), p. 119–123, February 2009; disponível em: < <http://www.academicjournals.org/ajar/PDF/pdf%202009/Feb/Amagloh%20and%20Benang.pdf>; acesso em: 27 de Novembro de 2013,

Amaral, L. A.; Barros, L. S. S. E.; Junior, O. D. R.; Lorenzon, C. S.; Lorenzon, A. P. (2006). *Tratamento alternativo da água utilizando estrato de sementes de Moringa oleifera e radiação solar*. Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Volume 73, São Paulo – Brasil; *Arq. Inst. Biol.*, São Paulo, v.73, n.3, p.287-293, jul./set.

American Water Works Association – AWWA (1991). *Giardia and Cryptosporidium in Water Supplies*. American Water Works Association Research Foundation and American Water Works Association; Denver, CO.

American Public Health Association – APHA (1992). *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 16th ed. Washington, D.C., p.9.68-9.69.

Arafa, S. and Nelson, S. (1985). "*Utilization of solar energy and the development of an egyptian village*". Physical Science Department, American University in Cairo, Cairo, Egypt.

Araújo Junior, O (2013). *Saneamento ambiental e qualidade de vida*; EcoTerra – Brasil. Disponível em: < [www.ecoterrabrasil.com.br](http://www.ecoterrabrasil.com.br) >. Acesso em: 27 Novembro de 2013.

Araújo, C. S. T (2009). *Desenvolvimento de metodologia analítica para extração e pré-concentração de Ag (I) utilizando Moringa oleifera*. Dissertação de Doutorado, Instituto de Química, Programa de Pós-graduação em Química, Universidade Federal de Uberlândia.

Bastos, R. K. X.; Borja, P, C.; Heller, L.; Libanio, M.; Sperling, E. V. (2006). *Vigilância e Controle da qualidade da água para consumo humano*. Ministério da Saúde do Brasil, Secretaria de vigilância em saúde; Brasília – Brasil; 212p.

Bastos, R. K. X.; Borja, P. C.; Heller, L.; Libanio, M.; Sperling, E. V. (2001). *Abordagem sanitário-epidemiológica do tratamento e da qualidade da água: entre o desejável e o possível*, in: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 21; João Pessoa; Anais, Rio de Janeiro; ABES I-101.

Bhatia, S., Othman, Z., Ahmad, A. L., (2007). Pretreatment of palm oil mill effluent (POME) using *Moringa oleifera* seeds as natural coagulant. *Journal of Hazardous Materials*; 145, 120–126. doi:10.1016/j.jhazmat.2006.11.003.

Borba, L.R (2001). *Viabilidade do uso da Moringa oleifera Lamarck no tratamento simplificado de água para pequenas comunidades*. Dissertação de Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal da Paraíba, Brasil.

Branco, S. M (1986). *Hidrologia aplicada à engenharia sanitária*. 3ª ed; CETESB/ACATESB; São Paulo; 640p.

Brandão, K. S. R. (2007). *Optimização do processo de produção de biodiesel metílico e etílico de Ricinus communis aplicando um delineamento composto central rotacional*. Dissertação de Mestrado em Química Analítica; Departamento de Química, Programa de Pós-graduação em Química, Universidade Federal do Maranhão; São Luís, Brasil.

Brandão, C. C. S.; De Souza, M, A. A.; Monteiro, P. C. G (2013). *Viabilidade do uso da radiação solar na desinfecção da água*. Disponível em: <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/tratagua/peru/braapa120.pdf>; acesso no dia 27 de Novembro de 2013.

Brasil, Ministerio da Saúde do Brasil, DataSUS (2012). *Sistema de informação de atenção básica (SIAB) - Situação de saneamento-Brasil*. Disponível em: <http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/tabcgi.exe?siab/cnv/siabcBR.DEF> acesso em: 18 de Março de 2013.

Brasil, Ministério da Saúde do Brasil (2011). *Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade*. Portaria Nº 2.914, de 12 de Dezembro de 2011.

Camarim, J. E. V. (2008). *Estudo comparativo de aproximações para redes de filas de manufatura utilizando planejamento de experimentos*. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção, Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal de São Carlos.

Cardoso, K. C. (2007). *Estudo do processo de coagulação/floculação por meio da Moringa oleifera Lam para obtenção de água potável*. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Química, Universidade Estadual de Maringá – UEM, Maringá, Paraná, Brasil.

Cardoso, K.C., Bergamasco,R., Cossich, E.S., Konradt-Moraes, L.C., (2008). Otimização dos tempos de mistura e decantação no processo de coagulação/floculação da água bruta por meio da *Moringa oleifera Lam*. *Acta Scientiarum – Technology*. 30, 193-198.

Cavalcanti, J. E. W. (2009). *Manual de tratamento de efluentes industriais*. Engenho Técnica Ltda; São Paulo, Brasil

Chaves, A. T. C. A. (2008). *Otimização do processo de produção de biodiesel etílico do óleo de girassol (*Helianthus annuus*) aplicando um delineamento composto central rotacional (DCCR)*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Química, Centro de ciências exatas e da natureza, Universidade Federal da Paraíba; João Pessoa – Brasil.

Cochran, W. G.; Cox, G. M. (1964). *Experimental design*. 2ª edição; John Wiley & Sons, Inc; New York, USA.

Daniel, L. A. (2001). *Processos de desinfecção e desinfetantes alternativos na produção de água potável*. ABES; Rio de Janeiro – Brasil; 155 pp.

Di Bernardo, L. e Dantas, A. D. B. (2003). *Métodos e técnicas de tratamento de água*. v.1; ABES; Rio de Janeiro.

Di Bernardo, L. e Dantas, A. D. B. (2005). *Métodos e técnicas de tratamento de água*. 2ª Edição; volume 1; RiMa Editora; São Carlos, São Paulo – Brasil.

Fechine, G.J.M; Rabello M.S; Souto-Maior R. M (2002). *The effect of ultraviolet stabilizers on the photodegradation of poly(ethylene terephthalate)*. Polymer Degradation And Stability, n. 75 v.1, p.153 – 159.

Felici, E. M. (2010). *Coagulação-floculação-sedimentação como pós-tratamento de efluente de sistema biológico em batelada aplicado a lixiviado de aterro de resíduos sólidos urbanos*. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Edificações e Saneamento, Centro de Tecnologia e Urbanismo, Universidade Federal de Londrina.

Fuglie, L. J. (1999). *The Tree Miracle: Moringa oleifera*. Natural Nutrition for the Tropics; Church World Service, Dakar. Church World Service, Dakar. 68PP; Revista em 2001 e publicado como a árvore de milagre: a vários atributos de *Moringa*, 172 pp.

Franco, B.D.G.M.; Landgraf, M (2003). *Microbiologia dos alimentos*. Atheneu; São Paulo – Brasil.

Fundação Nacional da Saúde – FUNASA (2014). *Saneamento rural*. <http://www.funasa.gov.br/site/engenharia-de-saude-publica-2/saneamento-rural/> (acesso em 05/12/2014).

Galdámez, E. V. C. (2002). *Aplicação das técnicas de planejamento e análise de experimentos na melhoria da qualidade de um processo de fabricação de produtos plásticos*. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

Ghebremichael, K. A.; Gunaratna, K. R.; Henriksson, H.; Brumer H.; Dalhammar, G. (2005). A simple purification and activity assay of the coagulant protein from *Moringa oleifera* seed. *WaterResearch*; v.39; p 2338-2344;

Gijsman, P; Meijers G; Vitarelli, G (1999). *Comparison of the UV-degradation chemistry of polypropylene, polyethylene, polyamide 6 and polybutylene terephthalate*. *Polymer Degradation And Stability*, n. 65 v.3, p.433 – 441.

Girardi, F. (2009). *Tratamento de vinhança utilizando coagulantes naturais*. Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química/Universidade Estadual de Maringá.

Gomes, J. M. C. (2011). *Contribuição para o estudo de sistemas de tratamento de água a adotar em zonas economicamente desfavoráveis*. Dissertação de Mestrado em Engenharia do Ambiente, Perfil de Engenharia Sanitária) – Faculdade de Ciência e tecnologia Departamento de Ciências e Engenharia do Ambiente, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa.

Gordon, G.; Bubnis, B. (2000). Environmentally friendly methods of water disinfection: the chemistry of alternative disinfectants. *Progress in Nuclear Energy*, Oxford, V. 37, n.1/4, p.37-40

Governo de Moçambique (2014). *Portal do Governo de Moçambique*. Disponível em: <http://www.portaldogoverno.gov.mz/>; acessado a 4 de Dezembro de 2014.

Gregghi, S. Q (2005). *Avaliação da eficiência de métodos rápidos usados para detecção de coliformes totais e E. coli em amostras de água, em comparação com a técnica de fermentação em tubos múltiplos*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Campus Araraquara, Universidade Estadual Paulista, Araraquara-brasil.

Gueyrard, D. *et al.* (2000). First synthesis of an O-glycosylated glusosinolate isolated from *Moringa oleifera*. *Tetrahedron Letters*, London, v.41, n.43.p. 8307 – 8309, Oct.2000.

Haaland, P.D (1989). *Experimental design in biotechnology*. New York: Marcel Dekker.

Herculano, L. M. L (2012). *Implantação de tecnologias alternativas de saneamento como forma de garantir água de qualidade, quantidade e higiene no semiárido moçambicano: Caso do distrito de Funhalouro*. Dissertação de Mestrado, Instituto de Pesquisa Hidráulica, Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, UFRGS, Porto alegre, Brasil.

Hsu, Bing-Mu et al (1999). Occurrence of *Giardia* and *Cryptosporidium* in the Kau-Ping river and its watershed in southern Taiwan. *WaterResearch*, New York, v. 33, n.11, p.2701-2707.

Idexx Laboratories (2013). Disponível em: <<http://al.idexx.com/agua/>>. Acesso em: 13 jan. 2013.

Jahn, S.A.A (1988). Using *Moringa oleifera* seeds as coagulants in developing countries: *Journal of the American Water Work Association*; v.80, n.6, p.43-50.

Katayon, S., Noor, M, Asma, M. et al (2006). Effects of storage conditions of *Moringa oleifera* seeds on its performance in coagulation. *Journal Biosource Technology*, Vol. 97, pp.1455-1460.

Kawamura, S., (1991). Effectiveness of natural polyelectrolytes in water treatment; *Journal Awa*; Japan, 79(6), 88-91.

Kehoe, S.C; Joyce, T.M; Ibrahim,P; Gillespie, J.B; Shahar, R.A And Mcguigan, K.G (2001). Effect of agitation, turbidity, aluminium foils reflectors and volume on inactivation efficiency of batch-process solar disinfectors. *WaterResearch*, vol 35, n.4, p. 1061-1065,

Kumari, P.; Sharma, P.; Srivastava, S; Srivastava. M. M. (2006). Biosorption studies on shelled *Moringa oleifera* Lamarck seed powder: Removal and recovery of arsenic from aqueous system. *International Journal of Mineral Processing*, v.78, p.131-139.



Laubusch, E. J. (1971). *Water quality and treatment: A Handbook of Public Water Supplies* (American Water Works Association). McGraw-Hill Book Company; New York.

Langa, J. (2014). Anualmente, no país: mais de 14 mil mortos por falta de saneamento. *Jornal Notícias*; Maputo–Moçambique; 14 de Setembro de 2014; disponível em: <<http://www.jornalnoticias.co.mz/index.php/main/14260-anualmente-no-pais-mais-de-14-mil-mortos-por-falta-de-saneamento>>; acesso em: 18/04/2014.

Lédo, P. G. S.; Lima, R. F. S.; Paulo, J. B. A. (2010). *Efficiency of aluminium sulphate and Moringa oleifera seeds as coagulants for the clarification of water*; Land contamination & Reclamation. v. 18, n. 1.

Libânio, M. (2008). *Fundamentos de qualidade e tratamento de água*. 2. ed.; Campinas: Editora Átomo.

Londe, L. R (2002). *Eficiência da filtração lenta no tratamento de efluentes de leitos cultivados*. Dissertação de Mestrado, FEAGRI-UNICAMP, Campinas, Abril/2002.

Macieira, R. P. (2011). *Produção de compósito do tipo gesso-polimérico para aplicação na fabricação de painéis externos em edificações*. Dissertação de Mestrado, Pós-Graduação em Desenvolvimento de Processos Ambientais, Universidade Católica de Pernambuco, Recife-Brasil.

Madigan, M. T; Martinko, J. M; Dunlap, P. V; Clark, D. P (2010). *Microbiologia de Brock*. 12<sup>a</sup> edição; Andréa Queiroz Maranhão; Porto Alegre – Brasil.

Madrona, G.S., Serpelloni, G.B., Vieira, A.M.S., Nishi, L., Cardoso, K.C., Bergamasco, R., (2010). *Study of the effect of saline solution on the extraction of the Moringa oleifera seed's active component for water treatment*. Water, Air and Soil Pollution. 211, 409–415.

Madsen, m.; Schlundt, j.; Omer, E.F (1987). Effect of water coagulation by seeds of *Moringa oleifera* on bacterial concentrations. *Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, v.90, n.3, p.101-109.

Manafi, M. (1995). *New medium for simultaneous detection of total coliforms and Escherichia coli in water*. American Society for Microbiology; Annual Meeting American Society of Microbiology, 95<sup>th</sup>; Washington; p-43-50.

Manafi, M. (2000). New developments on chromogenic and fluorogenic culture media; *International Journal of Food Microbiology*, v. 60; p.205-218.

Manafi, M.; Rosmann, H. (1998). *Evaluation of readycult presence-absence test for detection of total coliforms and E.coli in water*. American Society of Microbiology, Washington.

Mansilla, H. D; Litter, M. I (2003). *Solar disinfection of water in rural communities of LatinAmerica* in ASO Project AE 141/2001. AICD (Agência Internacional para la Cooperacion y el Desarrollo).

Mantovani, M. C.; Paterniani, J. E. (2006). *Uso de sementes de Moringa oleifera no tratamento de água com filtração lenta direta* in: XIV Congresso de Iniciação Científica – UNICAMP. Faculdade de Engenharia Agrícola - FEAGRI, UNICAMP.

Mateus, N. B.; Conagin, A.; Barbin, D. (2001). Viabilidade de uso do delineamento composto central. Departamento de Estatística, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, Paraná-Brasil; *Ata Scientiarum*; v. 23, n. 6, p. 1537-1546.

Medema, G. J. (1998). Sedimentation of free and attached *Cryptosporidium oocysts* and *Giardia cysts* in water. *Applied and Environmental Microbiology*, Washington, v. 64, n. 11, p. 4460-4466.

Meierhofer, R & Wegelin, M. (2002). *Solar water disinfection: A guide for the application of SODIS*. SANDEC at EAWAG, London – England.

Mendes, F., Coelho, N. (2007). *Estudo do uso da Moringa oleifera para remoção de prata e manganês em águas*. Horizonte Científico, Uberlândia – Brasil.

Mendes, C. G. N. (2008). *Aspectos de qualidade da água, fluxogramas de ETA's e coagulação*. Campinas: Faculdade de Engenharia Civil, UNICAMP; notas de aula.

Méndez-Hermida F.; Castro-Hermida J.A.; Ares-Mazás E.; Kehoe S.C.; Mcguigan K.G (2005). Effect of batch-process solar disinfection on survival of *Cryptosporidium parvum* oocysts in drinking water. *Applied Environmental Microbiology*; Vol. 71, No. 3, 1653-1654; Washington DC – USA.

Metcalf & Eddy (2003). *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*. 4ª Edição; McGraw – Hill Higher Education.

Mihelcic, J. R.; Zimmerman, J. B. (2012). *Engenharia ambiental: Fundamentos, sustentabilidade e projeto*. LTC - Livros Técnicos e Científicos Editoras Ltda; Rio de Janeiro - Brasil.

Ministério da Saúde – MISAU (2004). *Boletim da República: Publicação Oficial da República de Moçambique*. I Série – Número 37; 15 de Setembro de 2004. Disponível em: <[http://www.legisambiente.gov.mz/index.php?option=com\\_docman&task=doc\\_view&gid=101](http://www.legisambiente.gov.mz/index.php?option=com_docman&task=doc_view&gid=101)>; acesso em: 20 junho de 2013.

Montenegro, R. S. P.; Pan, S. S. K.; Ribeiro, M. C. M. (2000). *Resina PET para Recipiente*. Edgard Blücher; São Paulo – Brasil.

Montgomery, D. C. (2001). *Design and analysis of experiments*. 3ª ed. New York: John Wiley & Sons

Montgomery, D. C. (2009). *Design and analysis of experiments*. 7<sup>a</sup> ed.; John Wiley & Sons; New York, USA.

Muyibi, S. A.; Evison, L. M (1994). *Moringa oleifera seeds for softening hardwater*. Newcastle: University of Newcastle upon Tyne.

Ndabigengesere, A.; & Narasiah, K. S (1998). Quality of water treated by coagulation using *Moringa oleifera* seeds. *WaterResearch*, 32, 781 – 791.

Niemela, S. I.; Lee, J. V.; Fricker; C. R. (2003). A comparison of the international standards organisation reference method for the detection of coliforms and *Escherichia coli* in water with a defined substrate procedure; *Journal of Applied Microbiology*; v.95; p.1285-1292.

Nishi, L.; Madrona, G. S.; Vieira, A. M. S.; Bassetti, F. J.; Silva, G. F.; Bergamasco, R. (2011). *Coagulação/Floculação com Sementes de Moringa oleifera Lam para Remoção de Cistos de Giardia spp. e Oocistos de Cryptosporidium spp. da água*. 3<sup>a</sup> Internacional Workshop Advances in cleaner production – Cleaner production initiatives and challenges for a sustainable world; São Paulo, Brasil; 18-20 de Maio de 2011.

Nkurunziza, T., Nduwayezu, J.B., Banadda, E.N., Nhapi, I., (2009). The effect of turbidity levels and *Moringa oleifera* concentration on the effectiveness of coagulation in water treatment. *Water Science and Technology*. 59, 1551–1558.

Oates, P. M.; Shanahan, P.; Polz, M.F. (2003). Solar Disinfection (SODIS): Simulation of Solar Radiation for Global Assessment and Application for Point-of-use Water Treatment in Haiti. *WaterResearch*, vol 37, p. 47-54.

Okuda, T., Baes, A. U., Nishijima, W., & Okada, M. (1999). Improvement of extraction method of coagulation active components from *Moringa oleifera* seed. *WaterResearch*, 33(15), 3373–3378. doi:10.1016/S0043- 354/(99)00046-9.

Oliveira, C. J. (2011). *Mecanismos, técnicas e aplicações da agregação no tratamento mineral e ambiental*. CETEM/MCT, 69 p.:il. (Série Tecnologia Ambiental, 60); Rio de Janeiro

Organização Mundial da Saúde – OMS (2008). *Guidelines for drinking water quality*. Vol. 1, 2ª edição; Genebra – World Health Organization.

Palmer, C. J.; Tsai, Y. L.; Lang, A. L.; Sangermano, L. R. (1993). *Evaluation of colilert-marine water for detection of total coliforms and Escherichia coli in the marine environment*. Applied Environmental Microbiology., v.59, n.3, p.786-790.

Pavanelli, G. (2001). *Eficiência de diferentes tipos de coagulantes na coagulação, floculação e sedimentação de água com cor ou turbidez elevada*. Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

Paterniani, J. E. S. (2004). *Potencialidades do reúso da água na agricultura* In: Fórum Permanente de agronegócios. Produção agrícola e meio ambiente; Brasil.

Paterniani, J. E. S.; Roston, D. M. (2003). *Tecnologias para tratamento e reúso da água no meio rural*. In: Hamada, E. (Ed.) *Água, agricultura e meio ambiente no Estado de São Paulo: avanços e desafios*. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente.

Paterniani, J. E. S.; Silva, M. J. M. (2005). *Desinfecção de efluentes com tratamento terciário utilizando energia solar (SODIS): avaliação do uso do dispositivo para concentração dos raios solares*. Nota técnica; *Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental*; Vol.10. Nº 1 - jan/mar.

Paterniani, J. E. S.; Mantovani, M. C.; Santana, M. R. (2009). *Uso de sementes de Moringa oleifera para tratamento de águas superficiais*. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*; Campina Grande; v.13, n.6, p. 765 - 771.

Piantá, C. A. V. (2008). *Emprego de coagulantes orgânicos naturais como alternativas ao uso do sulfato de alumínio no tratamento de água*, in: Projeto de Pesquisa do Trabalho de

Diplomação a ser apresentado ao Departamento de Engenharia Civil. Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Pinto, N. O.; Hermes, L. C. (2006). *Sistema simplificado para melhoria da qualidade da água consumida nas comunidades rurais do semi-árido do Brasil*. Embrapa Meio Ambiente, 47p. – (Embrapa Meio Ambiente. Documentos; 53).

Price, Martin L. (1985): *The Moringa tree*; Echo Technical Note.

Prüss-Üstin, A.; Corvalán, C. (2006). *Preventing disease through health environments: towards an estimate of the environmental burden of disease*. Geneva: World Health Organization.

Piveli, R.P (1998). *Apóstilas da disciplina química ambiental*. São Paulo: FSP-USP.

Ray, B. (1996). *Fundamental food microbiology*. Boca Raton; CRC Press,. 516p.

Reed, R.H.; Mani, S.K.; Meyer, V (2000). *Solar photo-oxidative disinfection in drinking water: preliminary field observations*. Letters of Applied Microbiology; v.30, n.6, p.432-436, 2000.

Ribeiro, A. T. A (2010). *Aplicação da Moringa oleifera no tratamento de água para consumo humano: remoção de poluente por coagulação-floculação*. Dissertação de Mestrado em Engenharia do Ambiente, Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto – Portugal.

Richter, C. A. & Netto, J. A. (1991). *Tratamento de Água - tratamento atualizada*. 4º Edição; Edgard Blucher Ltda; São Paulo.

Richter, C.A. (2009). *Água - métodos e tecnologia de tratamento*. Editora Edgard Blucher Ltda; São Paulo.

Rincon, A.G.; Pulgarin, C. (2007). Fe<sup>+3</sup> and TiO<sub>2</sub> solar-light assisted inactivation of E. coli at field scale. Implications in solar disinfection at low temperatures of large quantities of water. *Catalysis Today, ScienceDirect*, vol.122, p. 128-136

Rivas, F. J.; Beltrán, F.; Carvalho, F.; Acedo, b.; Gimeno, O. (2004). Stabilized leachates: sequential coagulation–flocculation chemical oxidation process. *Journal of Hazardous Materials*; v. B116; p. 95-102.

Rodrigues, M.I.; Iemma, A.F (2005). *Planejamento de experimentos*. 1ª ed; Campinas, Brasil.

Saitoh, T. S.; El-Ghetany, H. H. (2002). *Pilot solar water disinfection system: Performance Analysis ans Testing*. *Solar Energy*, vol 72, nº 3, p. 261-269.

Sanches, S. (2003). Agentes desinfetantes alternativos para o tratamento de água. *Revista Química Nova na Escola*; Nº 17.

Saramago, S.F.P.; Silva, N.P (2005). Uma introdução ao estudo de superfícies de resposta. *Revista Horizonte Científico*; 4ª Ed; Universidade Federal de Uberlândia.

Schwartz, D. (1996). *Water clarification using Moringa oleifera*: Gate Information Service. Disponível em: <[http://www.deutsch-aethiopischerverein.de/Gate\\_Moringa .pdf](http://www.deutsch-aethiopischerverein.de/Gate_Moringa.pdf)>. Acesso em: 08/10/2012.

Schwartz, D. (2000). *Water clarification using Moringa oleifera*. Gate Information Service Disponível em: <[http://www.deutsch-aethiopischerverein.de/Gate\\_Moringa .pdf](http://www.deutsch-aethiopischerverein.de/Gate_Moringa.pdf)>. Acesso em: 08/10/2012.

Sharma, H. S. S (1995). *Thermogravimetric analysis of mushroom (Agaricus bisporus) compost for fibre components* In: ELLIOT, T. *Proceedings of the 14th International Congress on the Science and Cultivation of Edible Fungi*. Balkema; Rotterdam, p. 267-273.

Silva, N.; Silveira, N. F. A.; Junqueira, V. C. A.; Catanúsio Neto, R. (2000). *Manual de métodos de análise microbiológica da água*. Campinas: ITAL/Núcleo de Microbiologia,. 99p. (Manual Técnico).

Sonntag, H-G.; Kuhn, K. P.; Chaberny, I. F.; Massholder, K.; Stichler, M.; Benz, V. W.; Erdinger, L (2003). Disinfection of surfaces by photocatalytic oxidation with titanium dioxide and UVA light. *Chemosphere*; p.71-77.

Sperling, M. V. (2005). *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. 3 edição; Belo Horizonte, MG; Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais; 452 p.

Sperling, M. V. (2007). *Estudo e modelagem da qualidade da água de rios*. 7 edição; Belo Horizonte, MG; Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais; 588 p.

Spiegel (1982). *Théorie et applications de la statistique*. Paris: McGraw-Hill.

Tominaga, M.Y.; Mídio, A.F. (1999). Exposição humana a trihalometanos presentes na água tratada; *Revista de Saúde Pública*, 33(4): p. 413-421.

United Nations Children's Fund – UNICEF/WHO (2012). *Progress on drinking water and sanitation*. Update; New York – USA.

Vanacôr, R. N. (2005). *Avaliação do coagulante orgânico veta orgânico utilizado em estação de tratamento de água para abastecimento público*. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre - Brasil.



Vasconcelos, J. C.; Aquino, J. S. De (1995). *Análise microbiológica (potabilidade) da água consumida em escolas públicas de conjuntos habitacionais da zona oeste de Manaus- Amazonas*. 13<sup>o</sup> Vol; Bol. CEPPA; Curitiba – Brasil; p. 119-124.

Vesilind, P. A; Morgan, S. M (2011). *Introdução à engenharia ambiental*. Tradução da 2<sup>a</sup> Edição Norte Americana, Cengage Learning, São Paulo – Brasil.

Wegelin, M (1994). Solar water disinfection: scope of the process and analysis of radiation experiments. *Journal of Water SRT-Acqua*, v.43, n.3, p.154-169.

WHO; UNICEF (2010). *Progress on sanitation and drinking water: World Health*. Geneva: World Health Organization.

World Health Organization - WHO (2011). *Guidelines for drinking water quality*. 4<sup>th</sup> ed. Geneva: World Health Organization.

Zapp, J.; Santacruz, J.; Moncayo, J. I.; Montes, M. L.; Hernandez, N. (1987). *Solar water purification in coffee growers climate*. Tokio, United Nations University.

Zimbre, E. (2000). *Química da água subterrânea*. Disponível em: <http://www.meioambiente.pro.br/agua/guia/aguasubterranea.htm>

# ANEXOS

## 8. ANEXO

Tabela 1: Padrão de potabilidade para substâncias químicas que representam risco à saúde

Parâmetro	Valor Maximo permitido	Unidade
Antimónio	0,005	mg/l
Bário	0,7	mg/l
Arsenio	0,01	
Boro	0,3	mg/l
Cádmio	0,003	mg/l
Calcio	50	mg/l
Chumbo	0,01	mg/l
Cianeto	0,07	mg/l
Cloretos	250	mg/l
Cobre	1	mg/l
Crómio	0,05	mg/l
Cloro livre	5	
Fósforo	0,1	mg/l
Bromate	0,025	
Ferro total	0,3	mg/l
Fluoreto	1,5	mg/l
Clorito	0,2	
Monocloramina	3	
Cloreto de vinila	5	µg/l
Benzene	5	µg/l
Diclorometano	20	µg/l
Tetracloroeto de carbon	2	µg/l
Tetracloroetano	40	µg/l
Triclorobenzeno	20	µg/l

Fonte: Ministério da Saúde de Moçambique (2004)

Tabela 1: Padrão de potabilidade para substâncias químicas que representam risco à saúde  
(Continuação).

Parâmetro	Valor Máximo permitido	Unidade
Tricloetano	70	µg/l
Matéria orgânica	2,5	mg/l
Magnésio	50	mg/l
Manganês	0,1	mg/l
Mercúrio	0,001	mg/l
Molibdênio	0,07	mg/l
Nitrito	3	mg/l
Nitrato	50	mg/l
Níquel	0,02	mg/l
Sódio	200	mg/l
Sulfato	250	mg/l
Selênio	0,01	mg/l
Sólidos totais	1000	mg/l
Zinco	3	mg/l
Pesticidas totais	0,0005	mg/l

Tabela 2: Principais agentes infecciosos mundialmente encontrados na água destinada ao abastecimento público

Bactérias	Vírus	Protozoários	Helmintos
<i>Campylobacter jejuni</i>	<i>Adenovirus (31 tipos)</i>	<i>Balantidium coli</i>	<i>Ancylostoma duodenale</i>
<i>Escherichia coli</i>	<i>Enterovirus (71 tipos)</i>	<i>Entamoeba histolytica</i>	<i>Ascaris lumbricoides</i>
<i>Salmonella</i>	<i>Hepatite A</i>	<i>Giardia lamblia</i>	<i>Echinococcus granulosus</i>
<i>Shigella</i>	<i>Norwalk</i>	<i>Cryptosporidium</i>	<i>Necator americanus</i>
<i>Vibrio cholerae</i>	<i>Reovirus</i>		<i>Fasciolopsis buski</i>
<i>Yersina enterocolitica</i>	<i>Coxsackie</i>		<i>Strongyloides stercoralis</i>
	<i>Rotavirus</i>		<i>Taenia solium</i>
			<i>Trichuris trichiura</i>

Fonte: Di Bernardo e Dantas (2005)

Tabela 3: Contaminação de água por organismos provenientes de fezes via esgoto sanitário

Organismos	Qtd excretada por grama de fezes	Sobrevivência água (dia)	Dosagem infectante
<b>Bactéria</b>			
<i>Escherichia coli</i>	10 <sup>8</sup>	90	10 <sup>2</sup> a 10 <sup>9</sup>
<i>Salmonella</i>	10 <sup>6</sup>	60 a 90	10 <sup>6</sup> a 10 <sup>7</sup>
<i>Shigella</i>	10 <sup>6</sup>	30	100
<i>Campylobacter</i>	10 <sup>7</sup>	7	10 <sup>6</sup>
<i>Vibrio cholerae</i>	10 <sup>6</sup>	30	10 <sup>8</sup>
<i>Yersina enterocolitica</i>	10 <sup>5</sup>	90	10 <sup>9</sup>
<i>Aeromonas</i>	-	90	10 <sup>8</sup>
<i>Leptospira</i>	-	-	3
<b>Vírus</b>			
<i>Enterovirus</i>	10 <sup>7</sup>	90	1 a 72
<i>Hepatite A</i>	10 <sup>6</sup>	5 a 27	1 a 10
<i>Rotavírus</i>	10 <sup>6</sup>	5 a 27	1 a 10
<i>Norwalk</i>	-	5 a 27	-
<b>Protozoário</b>			
<i>Entamoeba</i>	10 <sup>7</sup>	25	10 a 100
<i>Giardia</i>	10 <sup>5</sup>	25	1 a 10
<i>Crytosporidium</i>	100	-	1 a 30
<i>Balantidium coli</i>	-	20	25 a 100
<b>Helmintos</b>			
<i>Ascaris</i>	1000	365	2 a 5
<i>Taenia</i>	1000	270	1

Fonte: Dantas e Di Bernardo (2005)

Tabela 4: Quantidade de organismos necessária para iniciar enfermidade

Organismo	Quantidade
<i>Giardia lamblia</i>	10
<i>Shigella dysenteriae</i>	10
<i>Vibrio colerae</i>	1000
<i>Salmonella typhi</i>	10000
Cistos de <i>Entamoeba histolytica</i>	20
<i>Escherichia coli</i>	$10^{10}$
<i>Clostridium perfringens</i>	$10^{10}$

Fonte: Di Bernardo e Dantas (2005)

Tabela 5: Poder nutritivo da *Moringa oleifera* e o valor nutricional das folhas, vagens e pó (por 100g da porção comestível).

Parâmetros	Folhas	Vagens	Pó das folhas
Umidade (%)	75	86,9	7,5
Calorias	92	26	205
Proteínas (g)	6,7	2,5	27,1
Gorduras (g)	1,7	0,1	2,3
Carboidrato (g)	13,4	3,7	38,2
Cálcio (mg)	440	30	2003
Ferro (mg)	7	5,3	28,2
Fósforo (mg)	70	110	204
Potássio	259	259	1324
Cobre (µg/g)	1,1	3,1	0,57
Iodine (µg/kg)	51	18	
Fibra (g)	0,9	4,8	
Acido oxálico (%)	101	0,01	1,6
Acido nicotínico (mg)	0,8	0,2	
Vitamina A-B (mg)	6,8	0,11	16,3
Vitamina B-coline (mg)	423	423	
Vitamina B1-Fhiamic (mg)	0,21	0,05	2,64
Vitamina B2 – riboflanic (mg)	0,05	0,07	20,5
Vitamina B3 acido nicotínico (mg)	0,8	0,2	8,2
Vitamina C-acido ascórbico (mg)	220	120	17,3
Vitamina E – Topopherol acetane	-	-	113

Fonte: Price (1985)



Tabela 6: Número mais provável de coliformes totais e *E. coli* estimados com o uso do método Colilert

IDEXX Quanti-Tray®/2000 MPN Table

# Large Wells Positive	# Small Wells Positive																								
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
0	<1	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	11.0	12.0	13.0	14.1	15.1	16.1	17.1	18.1	19.1	20.2	21.2	22.2	23.3	24.3
1	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.1	8.1	9.1	10.1	11.1	12.1	13.2	14.2	15.2	16.2	17.3	18.3	19.3	20.4	21.4	22.4	23.5	24.5	25.6
2	2.0	3.0	4.1	5.1	6.1	7.1	8.1	9.2	10.2	11.2	12.2	13.3	14.3	15.4	16.4	17.4	18.5	19.5	20.6	21.6	22.7	23.7	24.8	25.8	26.9
3	3.1	4.1	5.1	6.1	7.2	8.2	9.2	10.3	11.3	12.4	13.4	14.5	15.5	16.5	17.6	18.6	19.7	20.8	21.8	22.9	23.9	25.0	26.1	27.1	28.2
4	4.1	5.2	6.2	7.2	8.3	9.3	10.4	11.4	12.5	13.5	14.6	15.6	16.7	17.8	18.8	19.9	21.0	22.0	23.1	24.2	25.3	26.3	27.4	28.5	29.6
5	5.2	6.3	7.3	8.4	9.4	10.5	11.5	12.6	13.7	14.7	15.8	16.9	17.9	19.0	20.1	21.2	22.2	23.3	24.4	25.5	26.6	27.7	28.8	29.9	31.0
6	6.3	7.4	8.4	9.5	10.6	11.6	12.7	13.8	14.9	16.0	17.0	18.1	19.2	20.3	21.4	22.5	23.6	24.7	25.8	26.9	28.0	29.1	30.2	31.3	32.4
7	7.5	8.5	9.6	10.7	11.8	12.8	13.9	15.0	16.1	17.2	18.3	19.4	20.5	21.6	22.7	23.8	24.9	26.0	27.1	28.3	29.4	30.5	31.6	32.8	33.9
8	8.6	9.7	10.8	11.9	13.0	14.1	15.2	16.3	17.4	18.5	19.6	20.7	21.8	22.9	24.1	25.2	26.3	27.4	28.6	29.7	30.8	32.0	33.1	34.3	35.4
9	9.8	10.9	12.0	13.1	14.2	15.3	16.4	17.6	18.7	19.8	20.9	22.0	23.2	24.3	25.4	26.6	27.7	28.9	30.0	31.2	32.3	33.5	34.6	35.8	37.0
10	11.0	12.1	13.2	14.4	15.5	16.6	17.7	18.9	20.0	21.1	22.3	23.4	24.6	25.7	26.9	28.0	29.2	30.3	31.5	32.7	33.8	35.0	36.2	37.4	38.6
11	12.2	13.4	14.5	15.6	16.8	17.9	19.1	20.2	21.4	22.5	23.7	24.8	26.0	27.2	28.3	29.5	30.7	31.9	33.0	34.2	35.4	36.6	37.8	39.0	40.2
12	13.5	14.6	15.8	16.9	18.1	19.3	20.4	21.6	22.8	23.9	25.1	26.3	27.5	28.6	29.8	31.0	32.2	33.4	34.6	35.8	37.0	38.2	39.5	40.7	41.9
13	14.8	16.0	17.1	18.3	19.5	20.6	21.8	23.0	24.2	25.4	26.6	27.8	29.0	30.2	31.4	32.6	33.8	35.0	36.2	37.5	38.7	39.9	41.2	42.4	43.6
14	16.1	17.3	18.5	19.7	20.9	22.1	23.3	24.5	25.7	26.9	28.1	29.3	30.5	31.7	33.0	34.2	35.4	36.7	37.9	39.1	40.4	41.6	42.9	44.2	45.4
15	17.5	18.7	19.9	21.1	22.3	23.5	24.7	25.9	27.2	28.4	29.6	30.9	32.1	33.3	34.6	35.8	37.1	38.4	39.6	40.9	42.2	43.4	44.7	46.0	47.3
16	18.9	20.1	21.3	22.6	23.8	25.0	26.2	27.5	28.7	30.0	31.2	32.5	33.7	35.0	36.3	37.5	38.8	40.1	41.4	42.7	44.0	45.3	46.6	47.9	49.2
17	20.3	21.6	22.8	24.1	25.3	26.6	27.8	29.1	30.3	31.6	32.9	34.1	35.4	36.7	38.0	39.3	40.6	41.9	43.2	44.5	45.9	47.2	48.5	49.8	51.2
18	21.8	23.1	24.3	25.6	26.9	28.1	29.4	30.7	32.0	33.3	34.6	35.9	37.2	38.5	39.8	41.1	42.4	43.8	45.1	46.5	47.8	49.2	50.5	51.9	53.2
19	23.3	24.6	25.9	27.2	28.5	29.8	31.1	32.4	33.7	35.0	36.3	37.6	39.0	40.3	41.6	43.0	44.3	45.7	47.1	48.4	49.8	51.2	52.6	54.0	55.4
20	24.9	26.2	27.5	28.8	30.1	31.5	32.8	34.1	35.4	36.8	38.1	39.5	40.8	42.2	43.6	44.9	46.3	47.7	49.1	50.5	51.9	53.3	54.7	56.1	57.6
21	26.5	27.9	29.2	30.5	31.8	33.2	34.5	35.9	37.3	38.6	40.0	41.4	42.8	44.1	45.5	46.9	48.4	49.8	51.2	52.6	54.1	55.5	56.9	58.4	59.9
22	28.2	29.5	30.9	32.3	33.6	35.0	36.4	37.7	39.1	40.5	41.9	43.3	44.8	46.2	47.6	49.0	50.5	51.9	53.4	54.8	56.3	57.8	59.3	60.8	62.3
23	29.9	31.3	32.7	34.1	35.5	36.8	38.3	39.7	41.1	42.5	43.9	45.4	46.8	48.3	49.7	51.2	52.7	54.2	55.6	57.1	58.6	60.2	61.7	63.2	64.7
24	31.7	33.1	34.5	35.9	37.3	38.8	40.2	41.7	43.1	44.6	46.0	47.5	49.0	50.5	52.0	53.5	55.0	56.5	58.0	59.5	61.1	62.6	64.2	65.8	67.3
25	33.6	35.0	36.4	37.9	39.3	40.8	42.2	43.7	45.2	46.7	48.2	49.7	51.2	52.7	54.3	55.8	57.3	58.9	60.5	62.0	63.6	65.2	66.8	68.4	70.0
26	35.5	36.9	38.4	39.9	41.4	42.8	44.3	45.9	47.4	48.9	50.4	52.0	53.5	55.1	56.7	58.2	59.8	61.4	63.0	64.7	66.3	67.9	69.6	71.2	72.9
27	37.4	38.9	40.4	42.0	43.5	45.0	46.5	48.1	49.6	51.2	52.8	54.4	56.0	57.6	59.2	60.8	62.4	64.1	65.7	67.4	69.1	70.8	72.5	74.2	75.9
28	39.5	41.0	42.6	44.1	45.7	47.3	48.8	50.4	52.0	53.6	55.2	56.9	58.5	60.2	61.8	63.5	65.2	66.9	68.6	70.3	72.0	73.7	75.5	77.3	79.0
29	41.7	43.2	44.8	46.4	48.0	49.6	51.2	52.8	54.5	56.1	57.8	59.5	61.2	62.9	64.6	66.3	68.0	69.8	71.5	73.3	75.1	76.9	78.7	80.5	82.4
30	43.9	45.5	47.1	48.7	50.4	52.0	53.7	55.4	57.1	58.8	60.5	62.2	64.0	65.7	67.5	69.3	71.0	72.9	74.7	76.5	78.3	80.2	82.1	84.0	85.9
31	46.2	47.9	49.5	51.2	52.9	54.6	56.3	58.1	59.8	61.6	63.3	65.1	66.9	68.7	70.5	72.4	74.2	76.1	78.0	79.9	81.8	83.7	85.7	87.6	89.6
32	48.7	50.4	52.1	53.8	55.6	57.3	59.1	60.9	62.7	64.5	66.3	68.2	70.0	71.9	73.8	75.7	77.6	79.5	81.5	83.5	85.4	87.5	89.5	91.5	93.6
33	51.2	53.0	54.8	56.5	58.3	60.2	62.0	63.8	65.7	67.6	69.5	71.4	73.3	75.2	77.2	79.2	81.2	83.2	85.2	87.3	89.3	91.4	93.6	95.7	97.8
34	53.9	55.7	57.6	59.4	61.3	63.1	65.0	67.0	68.9	70.8	72.8	74.8	76.8	78.8	80.8	82.9	85.0	87.1	89.2	91.4	93.5	95.7	97.9	100.2	102.4
35	56.8	58.6	60.5	62.4	64.4	66.3	68.3	70.3	72.3	74.3	76.3	78.4	80.5	82.6	84.7	86.9	89.1	91.3	93.5	95.7	98.0	100.3	102.6	105.0	107.3
36	59.8	61.7	63.7	65.7	67.7	69.7	71.7	73.8	75.9	78.0	80.1	82.3	84.5	86.7	88.9	91.2	93.5	95.8	98.1	100.5	102.9	105.3	107.7	110.2	112.7
37	62.9	65.0	67.0	69.1	71.2	73.3	75.4	77.6	79.8	82.0	84.2	86.5	88.8	91.1	93.4	95.8	98.2	100.6	103.1	105.6	108.1	110.7	113.3	115.9	118.6
38	66.3	68.4	70.6	72.7	74.9	77.1	79.4	81.6	83.9	86.2	88.6	91.0	93.4	95.8	98.3	100.8	103.4	105.9	108.6	111.2	113.9	116.6	119.4	122.2	125.0
39	70.0	72.2	74.4	76.7	78.9	81.3	83.6	86.0	88.4	90.9	93.4	95.9	98.4	101.0	103.6	106.3	109.0	111.8	114.6	117.4	120.3	123.2	126.1	129.2	132.2
40	73.8	76.2	78.5	80.9	83.3	85.7	88.2	90.8	93.3	95.9	98.5	101.2	103.9	106.7	109.5	112.4	115.3	118.2	121.2	124.3	127.4	130.5	133.7	137.0	140.3
41	78.0	80.5	83.0	85.5	88.0	90.6	93.3	95.9	98.7	101.4	104.3	107.1	110.0	113.0	116.0	119.1	122.2	125.4	128.7	132.0	135.4	138.8	142.3	145.9	149.5
42	82.6	85.2	87.8	90.5	93.2	96.0	98.8	101.7	104.6	107.6	110.6	113.7	116.9	120.1	123.4	126.7	130.1	133.6	137.2	140.8	144.5	148.3	152.2	156.1	160.2
43	87.6	90.4	93.2	96.0	99.0	101.9	105.0	108.1	111.2	114.5	117.8	121.1	124.6	128.1	131.7	135.4	139.1	143.0	147.0	151.0	155.2	159.4	163.8	168.2	172.8
44	93.1	96.1	99.1	102.2	105.4	108.6	111.9	115.3	118.7	122.3	125.9	129.6	133.4	137.4	141.4	145.5	149.7	154.1	158.5	163.1	167.9	172.7	177.7	182.9	188.2
45	99.3	102.5	105.8	109.2	112.6	116.2	119.8	123.6	127.4	131.4	135.4	139.6	143.9	148.3	152.9	157.6	162.4	167.4	172.6	178.0	183.5	189.2	195.1	201.2	207.5
46	106.3	109.8	113.4	117.2	121.0	125.0	129.1	133.3	137.6	142.1	146.7	151.5	156.5	161.6	167.0	172.5	178.2	184.2	190.4	196.8	203.5	210.5	217.8	225.4	233.3
47	114.3	118.3	122.4	126.6	130.9	135.4	140.1	145.0	150.0	155.3	160.7	166.4	172.3	178.5	185.0	191.8	198.9	206.4	214.2	222.4	231.0	240.0	249.5	259.5	270.0
48	123.9	128.4	133.1	137.9	143.0	148.3	153.9	159.7	165.8	172.2	178.9	186.0	193.5	201.4	209.8	218.7	228.2	238.2	248.9	260.3	272.3	285.1	298.7	313.0	328.2
49	135.5	140.8	146.4	152.3	158.5	165.0	172.0	179.3	187.2	195.6	204.6</														

Tabela 6: Número mais provável de coliformes totais e *E. coli* estimados com o uso do método Colilert (continuação)

IDEXX Quanti-Tray®/2000 MPN Table

# Large Wells Positive	# Small Wells Positive																							
	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
0	25.3	26.4	27.4	28.4	29.5	30.5	31.5	32.6	33.6	34.7	35.7	36.8	37.8	38.9	40.0	41.0	42.1	43.1	44.2	45.3	46.3	47.4	48.5	49.5
1	26.6	27.7	28.7	29.8	30.8	31.9	32.9	34.0	35.0	36.1	37.2	38.2	39.3	40.4	41.4	42.5	43.6	44.7	45.7	46.8	47.9	49.0	50.1	51.2
2	27.9	29.0	30.0	31.1	32.2	33.2	34.3	35.4	36.5	37.5	38.6	39.7	40.8	41.9	43.0	44.0	45.1	46.2	47.3	48.4	49.5	50.6	51.7	52.8
3	29.3	30.4	31.4	32.5	33.6	34.7	35.8	36.8	37.9	39.0	40.1	41.2	42.3	43.4	44.5	45.6	46.7	47.8	48.9	50.0	51.2	52.3	53.4	54.5
4	30.7	31.8	32.8	33.9	35.0	36.1	37.2	38.3	39.4	40.5	41.6	42.8	43.9	45.0	46.1	47.2	48.3	49.5	50.6	51.7	52.9	54.0	55.1	56.3
5	32.1	33.2	34.3	35.4	36.5	37.6	38.7	39.9	41.0	42.1	43.2	44.4	45.5	46.6	47.7	48.9	50.0	51.2	52.3	53.5	54.6	55.8	56.9	58.1
6	33.5	34.7	35.8	36.9	38.0	39.2	40.3	41.4	42.6	43.7	44.8	46.0	47.1	48.3	49.4	50.6	51.7	52.9	54.1	55.2	56.4	57.6	58.7	59.9
7	35.0	36.2	37.3	38.4	39.6	40.7	41.9	43.0	44.2	45.3	46.5	47.7	48.8	50.0	51.2	52.3	53.5	54.7	55.9	57.1	58.3	59.4	60.6	61.8
8	36.6	37.7	38.9	40.0	41.2	42.3	43.5	44.7	45.9	47.0	48.2	49.4	50.6	51.8	53.0	54.1	55.3	56.5	57.7	59.0	60.2	61.4	62.6	63.8
9	38.1	39.3	40.5	41.6	42.8	44.0	45.2	46.4	47.6	48.8	50.0	51.2	52.4	53.6	54.8	56.0	57.2	58.4	59.7	60.9	62.1	63.4	64.6	65.8
10	39.7	40.9	42.1	43.3	44.5	45.7	46.9	48.1	49.3	50.6	51.8	53.0	54.2	55.5	56.7	57.9	59.2	60.4	61.7	62.9	64.2	65.4	66.7	67.9
11	41.4	42.6	43.8	45.0	46.3	47.5	48.7	49.9	51.2	52.4	53.7	54.9	56.1	57.4	58.6	59.9	61.2	62.4	63.7	65.0	66.3	67.5	68.8	70.1
12	43.1	44.3	45.6	46.8	48.1	49.3	50.6	51.8	53.1	54.3	55.6	56.8	58.1	59.4	60.7	62.0	63.2	64.5	65.8	67.1	68.4	69.7	71.0	72.4
13	44.9	46.1	47.4	48.6	49.9	51.2	52.5	53.7	55.0	56.3	57.6	58.9	60.2	61.5	62.8	64.1	65.4	66.7	68.0	69.3	70.7	72.0	73.3	74.7
14	46.7	48.0	49.3	50.5	51.8	53.1	54.4	55.7	57.0	58.3	59.6	60.9	62.3	63.6	64.9	66.3	67.6	68.9	70.3	71.6	73.0	74.4	75.7	77.1
15	48.6	49.9	51.2	52.5	53.8	55.1	56.4	57.8	59.1	60.4	61.8	63.1	64.5	65.8	67.2	68.5	69.9	71.3	72.6	74.0	75.4	76.8	78.2	79.6
16	50.5	51.8	53.2	54.5	55.8	57.2	58.5	59.9	61.2	62.6	64.0	65.3	66.7	68.1	69.5	70.9	72.3	73.7	75.1	76.5	77.9	79.3	80.8	82.2
17	52.5	53.9	55.2	56.6	58.0	59.3	60.7	62.1	63.5	64.9	66.3	67.7	69.1	70.5	71.9	73.3	74.8	76.2	77.6	79.1	80.5	82.0	83.5	84.9
18	54.6	56.0	57.4	58.8	60.2	61.6	63.0	64.4	65.8	67.2	68.6	70.1	71.5	73.0	74.4	75.9	77.3	78.8	80.3	81.8	83.3	84.8	86.3	87.8
19	56.8	58.2	59.6	61.0	62.4	63.9	65.3	66.8	68.2	69.7	71.1	72.6	74.1	75.5	77.0	78.5	80.0	81.5	83.1	84.6	86.1	87.6	89.2	90.7
20	59.0	60.4	61.9	63.3	64.8	66.3	67.7	69.2	70.7	72.2	73.7	75.2	76.7	78.2	79.8	81.3	82.8	84.4	85.9	87.5	89.1	90.7	92.2	93.8
21	61.3	62.8	64.3	65.8	67.3	68.8	70.3	71.8	73.3	74.9	76.4	77.9	79.5	81.1	82.6	84.2	85.8	87.4	89.0	90.6	92.2	93.8	95.4	97.1
22	63.8	65.3	66.8	68.3	69.8	71.4	72.9	74.5	76.1	77.6	79.2	80.8	82.4	84.0	85.6	87.2	88.9	90.5	92.1	93.8	95.5	97.1	98.8	100.5
23	66.3	67.8	69.4	71.0	72.5	74.1	75.7	77.3	78.9	80.5	82.2	83.8	85.4	87.1	88.7	90.4	92.1	93.8	95.5	97.2	98.9	100.6	102.4	104.1
24	68.9	70.5	72.1	73.7	75.3	77.0	78.6	80.3	81.9	83.6	85.2	86.9	88.6	90.3	92.0	93.8	95.5	97.2	99.0	100.7	102.5	104.3	106.1	107.9
25	71.7	73.3	75.0	76.6	78.3	80.0	81.7	83.3	85.1	86.8	88.5	90.2	92.0	93.7	95.5	97.3	99.1	100.9	102.7	104.5	106.3	108.2	110.0	111.9
26	74.6	76.3	78.0	79.7	81.4	83.1	84.8	86.6	88.4	90.1	91.9	93.7	95.5	97.3	99.2	101.0	102.9	104.7	106.6	108.5	110.4	112.3	114.2	116.2
27	77.6	79.4	81.1	82.9	84.6	86.4	88.2	90.0	91.9	93.7	95.5	97.4	99.3	101.2	103.1	105.0	106.9	108.8	110.8	112.7	114.7	116.7	118.7	120.7
28	80.8	82.6	84.4	86.3	88.1	89.9	91.8	93.7	95.6	97.5	99.5	101.3	103.3	105.2	107.2	109.2	111.2	113.2	115.2	117.3	119.3	121.4	123.5	125.6
29	84.2	86.1	87.9	89.8	91.7	93.7	95.6	97.5	99.5	101.5	103.5	105.5	107.5	109.5	111.6	113.7	115.7	117.8	120.0	122.1	124.2	126.4	128.6	130.8
30	87.8	89.7	91.7	93.6	95.6	97.6	99.6	101.6	103.7	105.7	107.8	109.9	112.0	114.2	116.3	118.5	120.6	122.8	125.1	127.3	129.5	131.8	134.1	136.4
31	91.6	93.6	95.6	97.7	99.7	101.8	103.9	106.0	108.2	110.3	112.5	114.7	116.9	119.1	121.4	123.6	125.9	128.2	130.5	132.9	135.3	137.7	140.1	142.5
32	95.7	97.8	99.9	102.0	104.2	106.3	108.5	110.7	113.0	115.2	117.5	119.8	122.1	124.5	126.8	129.2	131.6	134.0	136.5	139.0	141.5	144.0	146.6	149.1
33	100.0	102.2	104.4	106.6	108.9	111.2	113.5	115.8	118.2	120.5	122.9	125.4	127.8	130.3	132.8	135.3	137.8	140.4	143.0	145.6	148.3	150.9	153.7	156.4
34	104.7	107.0	109.3	111.7	114.0	116.4	118.9	121.3	123.8	126.3	128.8	131.4	134.0	136.6	139.2	141.9	144.6	147.4	150.1	152.9	155.7	158.6	161.5	164.4
35	109.7	112.2	114.6	117.1	119.6	122.2	124.7	127.3	129.9	132.6	135.3	138.0	140.8	143.6	146.4	149.2	152.1	155.0	158.0	161.0	164.0	167.1	170.2	173.3
36	115.2	117.8	120.4	123.0	125.7	128.4	131.1	133.9	136.7	139.5	142.4	145.3	148.3	151.3	154.3	157.3	160.5	163.6	166.8	170.0	173.3	176.6	179.9	183.3
37	121.3	124.0	126.8	129.6	132.4	135.3	138.2	141.2	144.2	147.3	150.3	153.5	156.7	159.9	163.1	166.5	169.8	173.2	176.7	180.2	183.7	187.3	191.0	194.7
38	127.9	130.8	133.8	136.8	139.9	143.0	146.2	149.4	152.6	155.9	159.2	162.6	166.1	169.6	173.2	176.8	180.4	184.2	188.0	191.8	195.7	199.7	203.7	207.7
39	135.3	138.5	141.7	145.0	148.3	151.7	155.1	158.6	162.1	165.7	169.4	173.1	176.9	180.7	184.7	188.7	192.7	196.8	201.0	205.3	209.6	214.0	218.5	223.0
40	143.7	147.1	150.6	154.2	157.8	161.5	165.3	169.1	173.0	177.0	181.1	185.2	189.4	193.7	198.1	202.5	207.1	211.7	216.4	221.1	226.0	231.0	236.0	241.1
41	153.2	157.0	160.9	164.8	168.9	173.0	177.2	181.5	185.8	190.3	194.8	199.5	204.2	209.1	214.0	219.1	224.2	229.4	234.8	240.2	245.8	251.5	257.2	263.1
42	164.3	168.6	172.9	177.3	181.9	186.5	191.3	196.1	201.1	206.2	211.4	216.7	222.2	227.7	233.4	239.2	245.2	251.3	257.5	263.8	270.3	276.9	283.6	290.5
43	177.5	182.3	187.3	192.4	197.6	202.9	208.4	214.0	219.8	225.8	231.8	238.1	244.5	251.0	257.7	264.6	271.7	278.9	286.3	293.8	301.5	309.4	317.4	325.7
44	193.6	199.3	205.1	211.0	217.2	223.5	230.0	236.7	243.6	250.8	258.1	265.6	273.3	281.2	289.4	297.8	306.3	315.1	324.1	333.3	342.8	352.4	362.3	372.4
45	214.1	220.9	227.9	235.2	242.7	250.4	258.4	266.7	275.3	284.1	293.3	302.6	312.3	322.3	332.5	343.0	353.8	364.9	376.2	387.9	399.8	412.0	424.5	437.4
46	241.5	250.0	258.9	268.2	277.8	287.8	298.1	308.8	319.9	331.4	343.3	355.5	368.1	381.1	394.5	408.3	422.5	437.1	452.0	467.4	483.3	499.6	516.3	533.5
47	280.9	292.4	304.4	316.9	330.0	343.6	357.8	372.5	387.7	403.4	419.8	436.6	454.1	472.1	490.7	509.9	529.8	550.4	571.7	593.8	616.7	640.5	665.3	691.0
48	344.1	360.9	378.4	396.8	416.0	436.0	456.9	478.6	501.2	524.7	549.3	574.8	601.5	629.4	658.6	689.3	721.5	755.6	791.5	829.7	870.4	913.9	960.6	1011.2
49	461.1	488.4	517.2	547.5	579.4	613.1	648.8	686.7	727.0	770.1	816.4	866.4	920.8	980.4	1046.2	1119.9	1203.3	1299.7	1413.6	1553.1	1732.9			



Tabela 7: Análise de amostra de água bruta e tratada com *Moringa* por 6 horas

Tipo de água	Tipo de tratamento	Diluições	C. Totais	C. Fecais
Água Bruta	Não tratada	1,0E+00	> 2419,6	> 2419,6
		1,0E+01	> 2419,6	93,40
		1,0E+02	> 2419,6	23,80
		1,0E+03	1553,10	2,00 <sup>a</sup>
		1,0E+04	73,00 <sup>a</sup>	<1,00
Tratada com <i>Moringa</i>	Não filtrada	1,0E+00	691,00	12,10
		1,0E+01	691,00	3,10 <sup>a</sup>
		1,0E+02	268,20 <sup>a</sup>	<1,00
	Filtrada com uma camada de pano de 20x20 cm	1,0E+00	> 2419,6	2,00
		1,0E+01	43,60	1,00 <sup>a</sup>
	1,0E+02	35,90 <sup>a</sup>	<1,00	

a – valor significativo

Tabela 8: Análise de amostra de água não filtrada e filtrada com *Moringa* por 48 horas

Item	Preparação	Tipo de tratamento	Horas de exposição	Exposição	Diluições	C. Totais	C. Fecais
1	Realizada no dia anterior à exposição solar	Não Filtrada	2	Sombra	1,00E+00	> 2419,6	10,8
					1,00E+01	> 2419,6	<1
					1,00E+02	240,2	
					1,00E+02	24	<1
2	Realizada no dia anterior à exposição solar	Filtrada com uma camada de pano de 20cmx20cm	2	Sombra	1,00E+00	> 2419,6	<1
					1,00E+01	> 2419,6	<1
					1,00E+02	17,4	<1
3	Realizada no dia anterior à exposição solar	Filtrada com uma camada de pano de 20cmx20cm	4	Sombra	1,00E+00	> 2419,6	2
					1,00E+01	> 2419,6	<1
					1,00E+02	10,7	<1
							<1
4	Realizada no dia anterior à exposição solar	Não Filtrada	4	Sombra	1,00E+00	> 2419,6	<1
					1,00E+01	> 2419,6	<1
					1,00E+02	214	<1
5	Realizada no dia anterior à exposição solar	Filtrada com uma camada de pano de 20cmx20cm	6	Sombra	1,00E+00	> 2419,6	1
					1,00E+01	> 2419,6	<1
					1,00E+02	42,4	<1
					1,00E+03	44,5	

Tabela 8: Análise de amostra de água não filtrada e filtrada com *Moringa* por 48 horas (Continuação).

Item	Preparação	Tipo de tratamento	Horas de exposição	Exposição	Diluições	C. Totais	C. Fecais
6	Realizada no dia anterior à exposição solar	Não Filtrada	6	Sombra	1,00E+00	> 2419,6	<1
					1,00E+01	> 2419,6	<1
					1,00E+02	19,6	<1
7	Realizada no dia anterior à exposição solar	Filtrada com uma camada de pano de 20cmx20cm	2	Sol	1,00E+00	> 2419,6	3
					1,00E+01	> 2419,6	<1
					1,00E+02	24,6	<1
8	Realizada no dia anterior à exposição solar	Não Filtrada	2	Sol	1,00E+03	78	<1
					1,00E+00	> 2419,6	10,9
					1,00E+01	> 2419,6	3,1
9	Realizada no dia anterior à exposição solar	Filtrada com uma camada de pano de 20cmx20cm	4	Sol	1,00E+02	> 2419,6	1
					1,00E+03	190,3	<1
					1,00E+00	290,9	<1
10	Feita no dia da exposição solar	uma camada de pano de 20cmx20cm	4	Sol	1,00E+02	23,3	<1
	Realizada no dia anterior à exposição solar	Não Filtrada	4	Sol	1,00E+00	67,7	<1
					1,00E+01	9,6	<1
11	Realizada no dia anterior à exposição solar	Filtrada com uma camada de pano de 20cmx20cm	6	Sol	1,00E+00	<1	<1
	Feita no dia da exposição solar	uma camada de pano de 20cmx20cm	6	Sol	1,00E+01	80,7	-
12	Realizada no dia anterior à exposição solar	Não Filtrada	6	Sol	1,00E+00	<1	<1
					1,00E+01	-	-

Tabela 9: Análise de amostra de água não filtrada e filtrada com *Moringa* por 48 horas

Item	Preparação	Tipo de tratamento	Horas de exposição	Tipo de exposição	Diluições	C. Totais	C. Fecais
1	No dia anterior ao tratamento solar	Filtrada com uma camada de pano de 20x20 cm	48	Sombra	1,00E+00	> 2419,6	6,1
					1,00E+01	> 2419,6	3 <sup>a</sup>
					1,00E+02	> 2419,6	<1
					1,00E+03		
2	No dia anterior ao tratamento solar	Filtrada com uma camada de pano de 20x20 cm	48	Sombra	1,00E+00	> 2419,6	59,5
					1,00E+01	> 2419,6	48,1 <sup>a</sup>
					1,00E+02	> 2419,6	11,9
					1,00E+03		
3	No dia anterior ao tratamento solar	Filtrada com uma camada de pano de 20x20 cm	48	Sombra	1,00E+00	> 2419,6	14,3
					1,00E+01	> 2419,6	63,8 <sup>a</sup>
					1,00E+02	> 2419,6	2
					1,00E+03		
1	No dia anterior ao tratamento solar	Não Filtrada	48	Sol	1,00E+00	> 2419,6	7,1
					1,00E+01	> 2419,6	5 <sup>a</sup>
					1,00E+02	176,7	1
					1,00E+03		

Tabela 9: Análise de amostra de água não filtrada e filtrada com *Moringa* por 48 horas  
(Continuação)

Item	Preparação	Tipo de tratamento	Horas de exposição	Tipo de exposição	Diluições	C. Totais	C. Fecais
2	No dia anterior ao tratamento solar	Não Filtrada	48	Sol	1,00E+00	> 2419,6	100,5 <sup>a</sup>
					1,00E+01	> 2419,6	34
					1,00E+02	> 2419,6	78,8
					1,00E+03	10,5	
3	No dia anterior ao tratamento solar	Não Filtrada	48	Sol	1,00E+00	> 2419,6	21,4
					1,00E+01	> 2419,6	41,7 <sup>a</sup>
					1,00E+02	> 2419,6	8,6
					1,00E+03	76,6	
1	No dia anterior ao tratamento solar	Filtrada com uma camada de pano de 20x20 cm	48	Sol	1,00E+00	> 2419,6	2 <sup>a</sup>
					1,00E+01	> 2419,6	1
					1,00E+02	> 2419,6	<1
					1,00E+03		
2	No dia anterior ao tratamento solar	Filtrada com uma camada de pano de 20x20cm	48	Sol	1,00E+00	> 2419,6	163,1
					1,00E+01	> 2419,6	119,1 <sup>a</sup>
					1,00E+02	> 2419,6	65,7
					1,00E+03		
3	No dia anterior ao tratamento solar	Filtrada com uma camada de pano de 20x20 cm	48	Sol	1,00E+00	> 2419,6	579,4 <sup>a</sup>
					1,00E+01	> 2419,6	83,6
					1,00E+02	> 2419,6	19,9
					1,00E+03		

Tabela 10: Dados meteorológicos da exposição solar por 6 horas no dia 29 de outubro

Tempo (horas)	Temperatura da água no sol	Temperatura (°C)			Cobertura de nuvens (%)		Humidade (%)	IUV <sup>9</sup>
		Ar no sol	Máxima	Sensação	Manhã	Tarde		
9	-	-					84	-
10	29	24					-	2
11	38	35					61	4
12	47	41					58	6
13	51	41	38	40	21	52	52	8
14	54	44					35	10
15	54	42					33	11
16	54	42					28	
17	52	38					27	
18	-	-					27	

<sup>9</sup> Índice ultravioleta



Tabela 11: Dados meteorológicos da exposição solar por 48 horas

## Dia 21 de outubro

Tempo (horas)	Temp. da água		Temperatura (°C)			Cob. de nuvens (%)		Humidade (%)	IUV
	Sol	Sombra	do ar no sol	Máxima	Sensação	Manhã	Tarde		
9	-	-	-					94	
10	24	24	24			6	-	-	
11	34	22	29				-	-	
12	39	22	30				-	77	
13	40	22	28	24	26	-		-	10
14	41	22	28			-		-	
15	41	22	30			-	40	48	
16	38	22	28			-		-	
17	-	-	-			-		-	
18	-	-	-			-		42	

## Dia 22 de outubro

Tempo (horas)	Temp. água (°C)		Temperatura (°C)			Cob. de nuvens (%)		Humidade (%)	IUV
	Sol	Sombra	Do ar no sol	Máxima	Sensação	Manhã	Tarde		
9	-	-	-					88	
10	27	22	31			0	-	-	
11	39	22	29				-	-	
12	41	22	32				-	58	
13	43	22	31	25	27	-		-	10
14	44	22	33			-		-	
15	44	22	33			-	0	34	
16	42	22	29			-		-	
17	-	-	-			-		-	
18	-	-	-			-		33	