



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO E MEIO
AMBIENTE – PRODEMA

LEONARDO VIEIRA MELO FREIRE

TRATAMENTO DE ÁGUA PARA COMUNIDADES RURAIS USANDO *Moringa*
***oleifera* COMO COAGULANTE NATURAL**

FORTALEZA

2017

LEONARDO VIEIRA MELO FREIRE

TRATAMENTO DE ÁGUA PARA COMUNIDADES RURAIS USANDO *Moringa oleifera*
COMO COAGULANTE NATURAL

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente. Área de concentração: Proteção Ambiental e Gestão dos Recursos Naturais.

Orientador: Prof. Dr. José Carlos de Araújo.
Co-orientador: Prof. Ms. Raimundo Bemvindo Gomes.

FORTALEZA

2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- F933t Freire, Leonardo Vieira Melo.
Tratamento de água para comunidades rurais usando Moringa oleifera comocoagulante natural /
Leonardo Vieira Melo Freire. – 2017.
130 f. : il. color.
- Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação,
Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Fortaleza, 2017.
Orientação: Prof. Dr. José Carlos de Araújo.
Coorientação: Prof. Me. Raimundo Bemvindo Gomes.
1. Tecnologia Social. 2. Tratamento d`água. 3. Coagulante Natural. 4. Qualidade da água. I. Título.
CDD 333.7
-

LEONARDO VIEIRA MELO FREIRE

TRATAMENTO DE ÁGUA PARA COMUNIDADES RURAIS USANDO *Moringa oleifera*
COMO COAGULANTE NATURAL

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente. Área de concentração: Proteção Ambiental e Gestão dos Recursos Naturais.

Aprovada em: ___/___/____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. José Carlos de Araújo (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Ms. Raimundo Bemvindo Gomes (Co-orientador)
Instituto Federal do Ceará (IFCE)

Prof. Dr. Alexsandro Oliveira da Silva
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof^a. Dr^a. Daniela Queiroz Zuliani
Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB)

A Deus.

Aos meus queridos pais, Mazé e Fran e irmã Raquel pelo amor, carinho, atenção, dedicação, orações e por tudo que me ensinaram e proporcionaram para que eu pudesse chegar até aqui.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a DEUS por estar ao meu lado e a todos os dias me dar a oportunidade de ser uma pessoa melhor, estando em todos os momentos e a cada segundo do meu viver. Obrigado Senhor por todas as graças e intempéries que passei até então e que tive força, principalmente apoio, para poder chegar onde estou. “Feliz o homem que teme o Senhor” (Salmo 11,1), pois “Deus sem nós continua sendo DEUS, mas nós sem DEUS não somos nada” (Ramon Cristian).

À minha família por estar ao meu lado dia após dia me incentivando e dando o suporte de que eu tanto necessito. Em especial aos meus pais, Maria José Vieira da Silva e Francisco José Melo Freire que me educaram e que são base de todos os meus valores e crenças, e à minha irmã, Ana Raquel Vieira Freire que é um pilar de superação, garra, determinação do meu viver.

Aos meus amigos que tiveram paciência e a boa vontade de estarem comigo me ajudando direta e indiretamente no desenvolvimento da dissertação, em especial a Driele Siqueira Brandão e a Sandila de Sousa Leitão que despenderam tempo a me ajudarem.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo fornecimento da bolsa do Programa de Suporte à Pós-Graduação de Instituição de Ensino Superior.

À Universidade Federal do Ceará (UFC), instituição a qual a pesquisa está atrelada, e à coordenação, corpo discente e docente do Programa de Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA), em especial à Profa. Elisa Zanella que com todo o seu carisma, dedicação, seriedade tem desenvolvido trabalho ímpar na coordenação do programa.

Ao Grupo de Estudos Hidrosedimentológico do Semiárido (HIDROSED) no qual tive vínculo e a todos os alunos e colaboradores vinculados a este laboratório pela amizade, em especial aos bolsistas Fernando Soares de Sousa Matos e a Gleiciane dos Santos Gomes, graduandos do curso de Engenharia Ambiental pela UFC que me ajudaram no desenvolvimento da pesquisa dando suporte em cada etapa que foi desenvolvida, sendo muito bom estar ao lado de vocês durante esta caminhada.

Ao Sr. Luís, motorista do setor de transporte que esteve comigo em todas as campanhas fazendo o trajeto Fortaleza – Madalena, no qual sempre esteve pronto e disposto a ajudar.

Ao Sr. “China”, que me ajudou gentilmente todas as vezes que precisei de vagens da Moringa.

Ao Laboratório de Limnologia e Microbiologia Ambiental (LMA), local onde foram processadas todas as análises com bastante ajuda de todos os bolsistas e colaboradores sem exceção no qual serei eternamente grato por todo o tempo e pelo conhecimento compartilhado e amizades em especial ao Hélio, Adriano, André, Leandro, César, Sara, Monalisa e Carlos.

Em especial também ao Cleidson e a Dona Gorete, mas também a todos que me receberam sempre de braços abertos prontos para ajudar em todas as campanhas que fiz no Assentamento 25 de Maio.

Ao meu co-orientador Prof. Bemvindo Gomes, responsável pelo LMA, homem de notório saber que me acolheu de forma ímpar em seu laboratório no IFCE – Campus Fortaleza, estendendo sua mão sempre a me ajudar com bastante humildade no qual tenho um apreço e carinho enorme, além de não ter medido esforço em me fazer me sentir parte da família que é o LMA.

Com apreço enorme ao meu orientador, prof. José Carlos que desde a primeira vez que o conheci percebi que eu estava diante não de qualquer professor, mas diante de alguém que ama o que faz, que tem empatia com as pessoas, com um nato motivador, inspirador, sonhador e principalmente realizados. Gratidão é uma palavra, além de ser um sentimento muito forte que tenho por você ter me dado a possibilidade de desenvolver uma pesquisa tão importante e assim ter concluído o mestrado. Perdão também é outra palavra forte que resume o que sinto ao lembrar de momentos dessa nossa caminhada juntos.

Porém, mesmo quando nada poderia ter solução você, com o mesmo olhar e voz de inspiração me motivava a seguir em frente, por isso não há nada maior do que gratidão que sinto. E uma vez você me disse o seguinte: “Tem um filósofo de quem gosto muito, Anthony de Mello, que nos ensina que o caminho para a felicidade está em "VER" a realidade, nem mais, nem menos. Portanto, é bom e salutar ver seus erros, mas também é bom e salutar ver suas virtudes”. Obrigado por ser essa pessoa de profunda humilde, responsável, atencioso e amigo, conseqüentemente um orientador extraordinário.

“Por vezes sentimos que aquilo que fazemos não é, senão, uma gota de água no mar. Mas o mar seria menor se lhe faltasse uma gota.”

Madre Teresa de Calcutá (1910 – 1997)

RESUMO

Ter acesso à água de qualidade é um direito fundamental do ser humano, independentemente de sua classe social ou instrução. As famílias que habitam comunidades em locais difusos, em grande parte, não possuem nenhuma forma de tratamento em seu abastecimento hídrico, que tem como principal fonte d'água os pequenos barramentos (açudes). Geralmente, os tratamentos d'água apresentam a etapa de coagulação como processo fundamental para o sucesso das etapas subsequentes. Existem vários coagulantes de origem química, como o sulfato de alumínio, o cloreto férrico, o hidroxocloreto de alumínio e o sulfato férrico, que demandam preparo técnico específico dos operadores, além de não terem custos tão acessíveis. Em substituição à coagulação química, alguns coagulantes de origem vegetal, como a *Moringa oleifera*, vêm sendo estudados e apresentam resultados vantajosos em substituição à coagulação química por serem biodegradáveis e não tóxicos. A escassez hídrica já não é mais explicada somente pela falta quantitativa da água, mas também pela contaminação e poluição dos corpos hídricos. Assim, a pesquisa propõe elaborar uma técnica de tratamento unidomiciliar com a utilização do extrato das sementes da moringa somando à etapa de filtração lenta com o filtro de barro para a etapa de clarificação, e por fim, com a tecnologia social SODIS (*Solar Water Desinfection*) para a desinfecção. O objetivo deste trabalho é de propor uma alternativa de tratamento unidomiciliar de água que se adeque à realidade das famílias rurais do semiárido nordestino, que não possuem água tratada. Objetiva-se que o tratamento tenha insumos eficientes, custo módico e não agrida o ambiente. É importante o estudo de tecnologias que possibilitem a adaptação do homem à vida no campo através do acesso à água de qualidade. As variáveis limnológicas analisadas foram pH, turbidez, Demanda Bioquímica de Oxigênio - DBO e Coliformes Termotolerantes - CTT. A área de estudo foi o Assentamento 25 de Maio, Madalena-CE, que abriga cerca de 600 famílias. No assentamento, a principal fonte de abastecimento de água são os açudes, para usos em geral. O açude Quieto, de médio porte (15 hm³), é o mais importante do assentamento e foi praticamente o único que conseguiu resistir à seca pluri-anual (2012 – 2016) que assolou a região. O açude Quieto (ou Marengo) assiste diretamente três comunidades do assentamento (Quieto, Vila Angelim e Raiz) e foi a fonte de água escolhida para a realização deste estudo. A tecnologia proposta (utilização do coagulante natural, filtração e posterior desinfecção com o SODIS) apresentou eficiência na redução dos parâmetros físico-químicos e bacteriológicos analisados. No entanto, tal tecnologia apresentou limitações e deve ser aprimorada. Entre as principais limitações citam-se: (i) o elevado tempo demandado para a filtração; e a baixa eficiência na redução de cianobactérias.

PALAVRAS-CHAVE: Tecnologia Social. Tratamento d'água. Coagulante Natural.

ABSTRACT

Having access to quality water is a fundamental right of the human being, regardless of social class or education. The families that live in communities in diffuse places, for the most part, do not have any form of treatment in their water supply, which has as main source of water the small barrages (dams). Generally, water treatments present the coagulation step as a fundamental process for the success of subsequent steps. There are several chemical coagulants, such as aluminum sulphate, ferric chloride, aluminum hydroxychloride and ferric sulphate, which require specific technical preparation of the operators, in addition to not having such affordable costs. As a substitute for chemical coagulation, some vegetable coagulants, such as *Moringa oleifera*, have been studied and present advantageous results in substitution of chemical coagulation for being biodegradable and non-toxic. Water scarcity is no longer explained solely by the lack of quantitative water, but also by the contamination and pollution of water bodies. Thus, the research proposes to elaborate a technique of unidomiciliar treatment with the use of the extract of the seeds of the moringa adding to the stage of slow filtration with the clay filter for the stage of clarification and, finally, with the social technology SODIS (Solar Water Desinfection) for disinfection. The objective of this work is to propose an alternative of unidomiciliar treatment of water that fits the reality of the rural families of the northeastern semi-arid region, who do not have treated water. The objective is that the treatment has efficient inputs, cost-effective and does not harm the environment. It is important to study technologies that allow the adaptation of man to rural life through access to quality water. The limnological variables analyzed were pH, turbidity, Biochemical Oxygen Demand - BOD and Thermotolerant Coliform - CTT. The study area was the May 25 settlement, Madalena-CE, which houses about 600 families. In the settlement, the main source of water supply is the dams, for general uses. The Quieto dam, medium-sized (15 hm³), is the most important in the settlement and was practically the only one that was able to withstand the multi-year drought (2012-2016) that devastated the region. The Quieto dam (or Marengo) directly assists three communities in the settlement (Quieto, Vila Angelim and Raiz) and was the water source chosen for this study. The proposed technology (use of natural coagulant, filtration and subsequent disinfection with SODIS) showed efficiency in reducing the physical-chemical and bacteriological parameters analyzed. However, such technology has limitations and should be improved. Among the main limitations are: (i) the high time required for filtration; And the low efficiency in reducing cyanobacteria.

KEYWORDS: Social Technology. Water Treatment. Natural Coagulant.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Bacias Hidrográficas do Ceará.....	29
Figura 2 – Monitor de Secas (Março/2017).....	35
Figura 3 – Consumo médio <i>per capita</i> dos prestadores de serviços participantes do SNIS, em 2015 e na média dos últimos 3 anos.....	51
Figura 4 – Características de partículas coloidais.	55
Figura 5 – Colisão de Partículas.	55
Figura 6 – Força de Van der Waals.....	55
Figura 7 – Faixas espectrais de radiação solar	67
Figura 8 – Faixas de radiação solar visíveis.....	67
Figura 9 – Mapa de Localização do Assentamento 25 de Maio.....	72
Figura 10 – pH-metro.	77
Figura 11 – Turbidímetro.	78
Figura 12 – Tubos Duplos e Simples com Meio A1 (A1 MEDIUM)	80
Figura 13 – EMB Angar - Levine.....	81
Figura 14 – ONPGmug.....	81
Figura 15 – Coleta manual de água no Açude Quieto.....	83
Figura 16 – Caixa d’água de distribuição a partir do açude Marengo.....	86
Figura 17 – Árvore <i>Moringa oleifera</i>	88
Figura 18 – Delineamento da solução coagulante	90
Figura 19 – Água Bruta	91
Figura 20 – Solução Coagulante.....	91
Figura 21 – Água bruta após sedimentação e decantação.	92
Figura 22 – Filtro de barro.....	92
Figura 23 – Exposição da água clarificada ao sol	93
Figura 24 – Delineamento do tratamento.	93
Figura 25 – Açude Quieto	97
Figura 26 – Presença de animais no açude Quieto	97
Figura 27 – Peixes mortos às margens do açude Quieto	97

Figura 28 – Peixes mortos às margens do açude Quieto	97
Figura 29 – Água esverdeada do açude Quieto	98
Figura 30 – Dessedentação animal	98

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – pH da amostra da Água Bruta	96
Gráfico 2 – Turbidez da amostra da Água Bruta.....	96
Gráfico 3 – DBO da amostra da Água Bruta.....	96
Gráfico 4 – CTT da amostra da Água Bruta.....	96
Gráfico 5 – pH da amostra da Água Clarificada (C1).....	100
Gráfico 6 – Turbidez da amostra da Água Clarificada (C1).....	100
Gráfico 7 – DBO da amostra da Água Clarificada (C1).....	101
Gráfico 8 – CTT da amostra da Água Clarificada (C1)	101
Gráfico 9 – pH da amostra da Água Clarificada (C2).....	102
Gráfico 10 – Turbidez da amostra da Água Clarificada (C2).....	102
Gráfico 11 – DBO da amostra da Água Clarificada (C2).....	103
Gráfico 12 – CTT da amostra da Água Clarificada (C2)	103
Gráfico 13 – pH da amostra da Água Clarificada (C3).....	104
Gráfico 14 – Turbidez da amostra da Água Clarificada (C3).....	104
Gráfico 15 – DBO da amostra da Água Clarificada (C3).....	104
Gráfico 16 – CTT da amostra da Água Clarificada (C3)	104
Gráfico 17 – pH (Água Clarificada C1, C2 e C3)	105
Gráfico 18 – Turbidez (Água Clarificada C1, C2 e C3).....	106
Gráfico 19 – DBO (Água Clarificada C1, C2 e C3).....	106
Gráfico 20 – CTT (Água Clarificada C1, C2 e C3).....	106
Gráfico 21 – pH da amostra da Água Desinfetada (C1).....	108
Gráfico 22 – Turbidez da amostra da Água Desinfetada (C1)	108
Gráfico 23 – DBO da amostra da Água Desinfetada (C1)	109
Gráfico 24 – CTT da amostra da Água Desinfetada (C1)	109
Gráfico 25 – pH da amostra da Água Desinfetada (C2).....	110
Gráfico 26 – Turbidez da amostra da Água Desinfetada (C2)	110
Gráfico 27 – DBO da amostra da Água Desinfetada (C2)	110
Gráfico 28 – CTT da amostra da Água Desinfetada (C2).....	110

Gráfico 29 – pH da amostra da Água Desinfetada (C3).....	112
Gráfico 30 – Turbidez da amostra da Água Desinfetada (C3)	112
Gráfico 31 – DBO da amostra da Água Desinfetada (C3)	112
Gráfico 32 – CTT da amostra da Água Desinfetada (C3).....	112
Gráfico 33 – pH (Água Desinfetada C1, C2 e C3).....	112
Gráfico 34 – Turbidez (Água Desinfetada C1, C2 e C3)	113
Gráfico 35 – DBO (Água Desinfetada C1, C2 e C3)	113
Gráfico 36 – CTT (Água Desinfetada C1, C2 e C3).....	113
Gráfico 37 – pH da amostra da Água Não Tratada	114
Gráfico 38 – Turbidez da amostra da Água Não Tratada.....	114
Gráfico 39 – DBO da amostra da Água Não Tratada.....	115
Gráfico 40 – CTT da amostra da Água Não Tratada.....	115
Gráfico 41 – pH (Água Bruta / Tratada – C1, C2 e C3 / Sem Tratamento)	115
Gráfico 42 – Turbidez (Água Bruta / Tratada – C1, C2 e C3 / Sem Tratamento).....	116
Gráfico 43 – DBO (Água Bruta / Tratada – C1, C2 e C3 / Sem Tratamento)	117
Gráfico 44 – CTT (Água Bruta / Tratada – C1, C2 e C3 / Sem Tratamento)	117

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Esquema das atividades de pesquisa do SODIS	69
Quadro 2 – Caracterização da Água Bruta	96
Quadro 3 – Caracterização da Água Clarificada – Concentração 1 (C1)	100
Quadro 4 – Caracterização da Água Clarificada – Concentração 2 (C2)	102
Quadro 5 – Caracterização da Água Clarificada – Concentração 3 (C3)	103
Quadro 6 – Caracterização da Água Desinfetada – Concentração 1 (C1).....	107
Quadro 7 – Caracterização da Água Desinfetada – Concentração 2 (C2).....	109
Quadro 8 – Caracterização da Água Desinfetada – Concentração 2 (C2).....	111
Quadro 9 – Caracterização da Água Não Tratada – Controle.	114

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Prazo para análise após a coleta.....	86
Tabela 2 – Média pluviométrica anual do Município de Madalena (2007 / 2017)	97
Tabela 3 – Redução (%) de Turbidez da Água Clarificada – Concentração (C1).....	100
Tabela 4 – Redução (%) de CTT da Água Clarificada – Concentração (C1)	101
Tabela 5 – Redução (%) de Turbidez da Água Clarificada – Concentração (C2).....	102
Tabela 6 – Redução (%) de CTT da Água Clarificada – Concentração (C2)	103
Tabela 7 – Redução (%) de Turbidez da Água Clarificada – Concentração (C3).....	104
Tabela 8 – Redução (%) de CTT da Água Clarificada – Concentração (C3)	105
Tabela 9 – Percentual de redução MÍN e MÁX dos parâmetros <i>Turbidez</i> , <i>DBO</i> e <i>CTT</i> entre as Concentrações C1, C2 e C3 e a Água Bruta.....	107
Tabela 10 – Redução (%) de Turbidez da Água Desinfetada – Concentração (C1)	108
Tabela 11 – Redução (%) de CTT da Água Desinfetada – Concentração (C1)	108
Tabela 12 – Redução (%) de Turbidez da Água Desinfetada – Concentração (C2)	109
Tabela 13 – Redução (%) de CTT da Água Desinfetada – Concentração (C2)	110
Tabela 14 – Redução (%) de Turbidez da Água Desinfetada – Concentração (C3)	111
Tabela 15 – Redução (%) de CTT da Água Desinfetada – Concentração (C3)	111

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ADENE	Agência de Desenvolvimento do Nordeste
ANA	Agência Nacional das Águas
ASA	Articulação do Semiárido Brasileiro
CAGECE	Companhia de Água e Esgoto do Ceará
CBH	Comitê de Bacia Hidrográfica
CEB	Comunidades Eclesiais de Base
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CF	Constituição Federal
CMMAD	Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento
CNRH	Conselho Nacional de Recursos Hídricos
COGERH	Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CPT	Comissão Pastoral da Terra
CTT	Coliformes Termotolerantes
CUT	Central Única dos Trabalhadores
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DNA	<i>Deoxyribonucleic Acid</i>
DNOCS	Departamento Nacional de Obras Contra as Secas
EAC	Ecosistemas Aquáticos Continentais
<i>E. coli</i>	<i>Escherichia coli</i>
ETA	Estação de Tratamento de água
GTI	Grupo de Trabalho Interministerial
HIDROSED	Pesquisa Hidrosedimentológica do Semiárido
INBS	Instituto Brasileiro de Sustentabilidade
INCRA	Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária
IPEC	Instituto de Permacultura e Ecovilas do Cerrado
IPECE	Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MS	Ministério da Saúde
MST	Movimento Sem Terra
NMP	Número Mais Provável

OMS	Organização Mundial da Saúde
ONU	Organização das Nações Unidas
PH	Potencial Hidrogeniônico
PLANERH	Plano Estadual de Recursos Hídricos
PNRH	Política Nacional de Recursos Hídricos
PROURB	Programa de Desenvolvimento Urbano
PT	Partido dos Trabalhadores
P1MC	Programa Um Milhão de Cisternas
P1+2	Programa Uma Terra e Duas Águas
RMF	Região Metropolitana de Fortaleza
RTS	Rede de Tecnologia Social
SIGERH	Sistema Integrado de Gestão dos Recursos Hídricos
SISAR	Sistema Integrado de Saneamento Rural
SODIS	<i>Solar Water Disinfection</i>
SOHIDRA	Superintendência de Obras Hidráulicas
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
SRH	Secretaria de Recursos Hídricos
SUDENE	Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste
TA	Tecnologia Apropriada
TS	Tecnologia Social
UFC	Universidade Federal do Ceará
UNICEF	Fundo das Nações Unidas para a Infância
UT	Unidade de Turbidez
UVA	Ultravioleta A
VMP	Valor Máximo Permitido

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	19
2	FUNDAMENTAÇÃO TERÓRICA	23
2.1	Caracterização e Gestão das Águas	23
2.2	Saneamento Ambiental e Qualidade das Águas	37
2.3	Tratamento de Água	45
2.4	Coagulação	59
2.5	Tecnologias sociais	62
3	MATERIAIS E MÉTODOS	70
3.1	Caracterização da área de estudo	70
3.2	Desenho experimental	74
3.2.1	<i>Parâmetros</i>	74
3.2.2	<i>Preparo dos equipamentos</i>	81
3.2.3	<i>Coleta e preservação das amostras</i>	83
3.2.4	<i>Insumos de processamento</i>	86
3.2.5	<i>Delineamento do processo de tratamento</i>	87
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	84
5	CONCLUSÃO	117
	REFERÊNCIAS	119

1 INTRODUÇÃO

Os desafios oriundos por demandas cada vez crescentes por água, além da forte degradação ambiental referente à problemática hídrica, vêm impulsionando estudos científicos e acadêmicos, sobre o uso racional e adequado dos recursos hídricos consoante com a sua destinação. Na região do semiárido brasileiro, de forma expressiva, mesmo com os diversos esforços governamentais com programas que objetivam amenizar os prolongados períodos de estiagem, ainda há forte insegurança hídrica, principalmente para as populações de localidades difusas do sertão nordestino.

A água, juridicamente tutelada pelo Estado, é um bem fundamental e um direito irrenunciável à dignidade da pessoa humana, no entanto, um dos seus problemas alarmantes está diretamente relacionado com o dano da sua qualidade para o abastecimento humano. Assim, é relevante propor alternativas sustentáveis, de fácil acesso e de baixo custo, que auxiliem prioritariamente a parcela da população que não possui sistema de tratamento de água a otimizar o seu fornecimento para o consumo.

Em nível internacional, em 2015, foi criado pela Organização das Nações Unidas - ONU uma nova agenda para até 2030 que se baseia em lições e progressos aprendidos com os 8 Objetivos de Desenvolvimento do Milênio (2000-2015), no qual foram definidos novos 17 objetivos de desenvolvimento sustentável e um deles se refere à água potável e saneamento, com o propósito de apoiar e fortalecer a participação das comunidades locais para melhorar a gestão da água e do saneamento (UNRIC, 2015).

Desde o surgimento do conceito de desenvolvimento sustentável, a escassez que sempre esteve associada a aspectos físicos, como a falta de chuvas, passou a ir além da ideia de uma falta quantitativa, abrangendo também a ausência de uma água que tenha qualidade para o consumo. Todavia, o que se percebe *in loco* é que a disponibilidade das fontes hídricas vem diminuindo consideravelmente, principalmente em função da interferência humana no meio, comprometendo ainda mais a qualidade dos corpos d'água em geral (ARANTES, 2010), sendo então necessária a utilização de recursos alternativos (SOUSA, 2008). Um exemplo é o reúso, ferramenta valiosa na gestão da água, por ser uma prática eficiente de racionalização e conservação dos recursos hídricos, conforme princípios estabelecidos na Agenda 21, podendo ser utilizada como instrumento para regular a oferta e a demanda hídrica (BRASIL, 2005).

No que concerne ao abastecimento das comunidades difusas, a açudagem caracteriza-se como uma das melhores alternativas para solução de escassez de água no semiárido, já que essa população ocupa o espaço de forma descentralizada e não possuem um sistema de abastecimento planejado (FEITOSA, 2011). Desse modo, o tratamento prévio da água é indispensável para assegurar uma qualidade maior e evitar a transmissão de doenças e problemas de saúde.

Os açudes, por serem os principais mananciais de abastecimento, são utilizados para diversas atividades, tais como uso doméstico, práticas agrícolas, dessedentação de animais, lazer e pesca (PINHEIRO, 2011). Contudo, muitos desses mananciais são contaminados com resíduos sólidos e possivelmente não apresentam os níveis aceitáveis para muitos de seus usos previstos (RAMOS, 2005), contudo ainda assim são fontes utilizáveis pela população. Nos últimos cinco anos (2012 – 2016), o Estado do Ceará perpassou por uma de suas piores secas, e os conflitos sociais referentes à indisponibilidade de água com qualidade são constantes. É nesses períodos que a entrada de nutrientes agrava ainda mais o assoreamento e a qualidade das águas dos sistemas lacustres.

Assim, o reuso, processo pelo qual a água passa a ser reutilizada após ter sido usada para algum fim, é uma alternativa viável já que o cenário atual em diversos locais do sertão nordestino acontece o inverso do que deveria acontecer com a principal fonte de abastecimento. Em situação de escassez, de acordo com a Política Nacional dos Recursos Hídricos de lei 9.433/77 em seu art. 1º, III, estabelece o uso prioritário para o consumo humano e a dessedentação animal, porém, o acesso livre dos animais ao corpo hídrico, os dejetos e águas servidas que são lançadas diretamente à água a deterioram de forma mais incisiva. Com isso, o tratamento da água de forma simplificada e segura é uma realidade possível, para o consumo humano.

Nas comunidades rurais, em que os sistemas convencionais de tratamento de água enfrentam difícil implantação, necessitam de opções adequadas à realidade local que possa inseri-los em todas as etapas de um processo que seja de fácil manuseio e eficaz, além de priorizar o baixo custo (FRANCO, 2010). Por isso a importância de buscar auxílio por alternativas individuais, que, segundo Brasil (2006), seria toda e qualquer solução de abastecimento de água que atenda a um único domicílio. A escolha do açude Quieto, também conhecido pela população como Marengo, no assentamento 25 de Maio, se deve a ele ser capaz de atender à demanda por maior tempo do que os demais no entorno, além de ser o

único de médio porte e o que não secou inteiramente (embora seu estoque tenha sido reduzido a apenas 1,4% de sua capacidade máxima), estando em seu volume morto.

A pesquisa buscou tratar a água do açude Quieto por meio de técnicas de um sistema de tratamento completo, mas que seja com o uso de insumos de fácil acesso com base na realidade das famílias que residem no assentamento, por meio da etapa de clarificação com as fases de coagulação/floculação (com o uso de coagulante natural), decantação, filtração e com a etapa de desinfecção (com o uso da tecnologia SODIS) (DI BERNARDO, 1993). Essas etapas são processos imprescindíveis à obtenção da qualidade de uma água que seja própria para o consumo humano, sendo que nas instalações de tratamento completo convencional são utilizados coagulantes químicos que precisam ser manuseados de forma correta por pessoal capacitado, além de agredirem o ambiente com o lodo proveniente da decantação.

No Brasil, um coagulante químico amplamente utilizado é o sulfato de alumínio (PARLATORE, 1987), porém, eles podem deixar resíduos químicos tóxicos na água, e a alternativa advém da utilização de coagulantes naturais, como o uso das sementes da planta da *Moringa oleifera*, que vem sendo utilizadas no tratamento de águas brutas (SUTHERLAND, FOLKARD e GRANT, 1990) e de efluentes (DA SILVA *et al.*, 2001). Elas apresentam polissacarídeos com forte poder aglutinante, o que permite o uso das sementes pulverizadas no tratamento da água por floculação e sedimentação, capazes de eliminar a turvação, micropartículas, fungos, bactérias e vírus (JAHN *et al.*, 1986), além de ser de fácil manuseio, já que para a produção da solução coagulante basta macerar as sementes e homogeneizar com água destilada, e de ser bem acessível por ser possível ter uma árvore no quintal. Esta propriedade das sementes caracteriza a moringa como um cultivo viável até mesmo para o mercado internacional (RANGEL, 2003).

Já para a desinfecção, um recurso universalmente disponível é a luz solar, sendo essa uma fonte sem custo e bastante propícia para uso em regiões afastadas e menos favorecidas (MONTEIRO *et al.*, 2000). A Desinfecção Solar da Água (SODIS - *Solar Water Disinfection*) faz uso de dois elementos da radiação: a radiação UVA, responsável pela modificação do DNA dos microrganismos e a radiação infravermelha que proporciona a elevação da temperatura da água, considerando-se que os microrganismos são sensíveis ao aquecimento (BERTHOLINI; BELLO, 2011).

O que se propõe nesse estudo é alcançar meios alternativos sustentáveis de baixo custo e eficazes que ajudem as populações de localidades rurais difusas a terem uma alternativa de tratamento de água em um período prolongado de estiagem. Mesmo nos

períodos chuvosos, por mais que as comunidades possam ter alternativas de abastecimento, essa tecnologia social de tratamento da água é uma forma que as comunidades rurais possam ter para melhorar a sua qualidade de vida, já que os mesmos não possuem Estação de Tratamento de água – ETA, como nas sedes dos centros urbanos. Intenciona-se que essa seja uma prática que contribuirá para que o poder público seja alertado com os problemas referentes ao controle de qualidade da água, além de conscientizar a própria população para um uso mais adequado dos recursos hídricos, além de subsidiar novas pesquisas, possibilitando maior conhecimento científico sobre a temática.

O objetivo geral da dissertação foi implantar um sistema sustentável simples, eficiente e de baixo custo para o tratamento da água que melhor se adeque às condições econômicas, sociais, culturais e ambientais de localidades rurais difusas do interior do Estado do Ceará, que são susceptíveis à indisponibilidade hídrica de qualidade para o seu consumo, principalmente em períodos de extrema escassez, como as secas plurianuais.

São objetivos específicos: i) verificar qual a dosagem ideal do coagulante natural (semente da *Moringa oleifera*) é necessária na etapa de clarificação da água bruta, neste caso referente ao açude Quieto com prioridade ao abastecimento humano; ii) avaliar a importância das etapas subsequentes à clarificação que se refere à filtração e a desinfecção, destacando-se a tecnologia SODIS como alternativa sustentável viável no processo de tratamento de água; e iii) comparar a eficiência das etapas de clarificação e desinfecção com a água que não passou pelo sistema de tratamento.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Caracterização e Gestão das Águas

A água é fundamental para a existência da vida, no qual está presente em todas as atividades do homem e em qualquer ser vivo. A sociedade a utiliza para diferentes finalidades, desde as necessidades básicas da vida, como alimentação e saúde até a produção de bens industriais.

Segundo Campos e Studart (2001), no passado, a água era considerada um recurso inesgotável, e, por isso, a gestão era descomprometida com a preservação ambiental, o que apresentava rara preocupação com a otimização de seu uso. No entanto, o que hoje percebemos é que o planeta já sofre as consequências com a falta de água, e essa ausência não decorre somente da carência do líquido em si, mas dos problemas relacionados também à distribuição e ao conhecimento sobre seu uso.

Em locais onde a escassez é uma realidade intrínseca, a solução inicial para os impasses esteve associada à gestão dos grandes reservatórios superficiais de armazenamento d'água. Assim, a construção de açudes torna-se, então, o verdadeiro núcleo de vida e de atividade social nos períodos chuvosos e principalmente calamitosos da seca, assegurando a redução do êxodo rural e a utilização da água para usos múltiplos, tais como dessedentação de animais, agricultura familiar, implantação de polos agrícolas, aquicultura, entre outros (GUERRA; GUERRA, 2001; DANTAS *et al.*, 2011).

A região Nordeste destaca-se por apresentar o maior índice de açudagem do mundo, englobando cerca de 70 mil açudes de pequeno porte que representam aproximadamente 80% do total de açudes construídos (MALVEIRA; DE ARAÚJO; GÜNTNER, 2012). Atualmente vem sendo estudados os processos dinâmicos, adquirindo conhecimentos e levantando dados a fim de um melhor manejo e gerenciamento dos recursos hídricos dos grandes aos pequenos açudes (FEITOSA, 2011).

Segundo Silva (2014), na estiagem, os maiores impactos sobre os recursos hídricos estão relacionados à redução das fontes de abastecimento, especialmente das águas armazenadas em açudes de menor capacidade. Considerando as altas taxas de evaporação na zona semiárida nordestina em períodos de seca, os açudes com profundidade inferior a seis metros secam completamente. Porém, açudes com maior capacidade de acumulação de água, como o açude Quieto que é de médio porte, podem tornar-se indisponíveis devido a problemas de qualidade de água (CARVALHO 2012; DUARTE, 2002).

A eutrofização, por exemplo, processo onde há o aumento da concentração de nutrientes, principalmente nitrogênio e fósforo, em um determinado corpo hídrico, causando diversas modificações no ambiente aquático, tais como o acréscimo da produtividade de níveis tróficos e alterações no funcionamento do ecossistema, constitui um importante agente na degradação da qualidade da água, causando vários impactos ecológicos, econômicos e sociais. (SILVA, 2014).

A Organização das Nações Unidas – ONU estima que cerca de 40% da população global vivam hoje em situação de estresse hídrico, e essas pessoas habitam regiões onde a oferta anual é inferior a 1.700 metros cúbicos de água por habitante, limite mínimo considerado pela ONU, no qual vem sendo um dos mais graves problemas socioambientais enfrentados pela humanidade (VICTORINO, 2007).

Um conjunto de dados apresentados por Shiklomanov (1999) mostrou projeções da demanda futura e consumo real para vários usos múltiplos até 2050, e os dados alertam que a demanda por água até essa data deve crescer 55%. Sendo que a partir de 2030, se mantermos os atuais padrões de consumo o mundo enfrentará um déficit no abastecimento de água de 40%. De acordo com estimativas do Instituto Internacional de Pesquisa de Política Alimentar, até 2050 um total de 4,8 bilhões de pessoas estarão em situação de estresse hídrico.

Em uma reunião das Nações Unidas, em Nova Déli, na Índia, Michael Jarraud, Presidente da Um-Water e Secretário Geral da Organização Meteorológica Mundial disse que há um consenso internacional de que a água e o saneamento são essenciais para a realização dos objetivos de desenvolvimento sustentável, e que eles estão intrinsecamente ligados às alterações climáticas, à agricultura, segurança alimentar, saúde, energia, igualdade, gênero e educação (INBS, 2016).

Nesse sentido, é fundamental e necessária a implantação de efetivas políticas que visem o bom uso da água em todas as relações sociais e humanas. Fazendo-se necessário que a gestão da responsabilidade ambiental se torne parte integrante de todas as políticas econômicas e produtivas da humanidade (PEREIRA, 2016).

Em relação ao Brasil, este é um dos países que possui mais água doce do mundo, porém, a sua distribuição não é uniforme no território nacional (COSTA, 2009). Algumas cidades brasileiras enfrentam crises de abastecimento, entre as quais podem ser incluídas localidades na região Norte, onde há 80% das descargas de água dos rios brasileiros (REBOUÇAS, 2003).

No Brasil os recursos hídricos são abundantes, o que lhe confere a terceira posição dos países com maior potencial hídrico do mundo (ANA, 2016). Em geral, os rios nacionais são perenes e têm alimentação pluvial, com exceção do Amazonas, que também recebe águas do derretimento de gelo da cordilheira dos Andes. Já a região Nordeste a sua rede hidrográfica é formada por rios intermitentes, e o revés é bem peculiar, já que os rios desaparecem durante o período de estiagem (MALTCHIK, 1999).

Segundo Ab'Saber (1974),

“em seu conjunto, a região semiárida possui uma drenagem exorréica, dotada de rios intermitentes sazonais. Nos anos reconhecidamente secos, a drenagem passa a ter um escoamento tipicamente esporádico nas áreas mais afetadas pela escassez e pela irregularidade das precipitações. Desta forma, os rios do domínio semiárido brasileiro funcionam como cursos intermitentes estacionais por diversos anos”.

O clima semiárido, no qual está inserida a quase totalidade da região Nordeste brasileira, é caracterizado pelas irregularidades espaciais e temporais na distribuição das chuvas e pela escassa segurança de oferta hídrica, acarretando problemas sociais e econômicos diante da carência por água.

O Estado do Ceará, desde o período colonial, buscando desenvolver alternativas que amenizassem a situação do seu déficit hídrico, teve como marco o que se convencionou de “política de açudagem”, iniciada ainda no século XIX e difundida pelos governos centrais ao longo dos últimos séculos.

“A política de açudagem no Nordeste é antiga e esteve intrinsecamente interligada no fenômeno natural das secas, e seus primórdios de açudagem vêm do início da colonização brasileira pelos portugueses. Pode-se constatar que a história do açude no Nordeste é tão antiga como a história de sua colonização pelos portugueses. O próprio nome açude, derivado da palavra árabe *as-sadd* (barragem) comprova a origem ainda mais remota, se nos debruçarmos sobre a história do homem e de suas técnicas” (MOLLE, 1994, p.14).

Essa política, com o propósito de construir barramentos ao longo de rios e riachos e, até mesmo, do fechamento dos sangradouros naturais das lagoas, mantêm a mesma finalidade atualmente, que é o de garantir o acúmulo de água para o abastecimento humano e animal, prioritariamente nos períodos prolongados de estiagem, além de prover os diversos tipos de uso a que eles são destinados como a agricultura, a piscicultura e ao lazer, por exemplo. Na cultura da região Nordeste, acostumada com rios secos e águas difíceis, a ideia predominante é segurar as águas em reservatórios e considerar como perda as águas que escoam para o mar (CAMPOS, 2002).

Durante o século XX a política de açudagem foi conduzida e executada pelo governo federal no qual foram construídos grandes reservatórios. No Estado do Ceará também foi possível o desenvolvimento da perenização de trechos de rios, o surgimento de outras

atividades econômicas como a agricultura irrigada, a pesca e a piscicultura, além do fortalecimento do turismo rural e do lazer (LIMA FILHA, *et al.*, 2006).

Segundo dados da Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará – COGERH, os sistemas hídricos cearenses são organizados em 12 regiões hidrográficas, cada uma com o seu respectivo Comitê de Bacia Hidrográfica – CBH. Ao todo são monitorados e gerenciados 154 açudes, e destes, 79 são estaduais, 66 federais e 09 municipais, sendo que os açudes federais são monitorados com apoio do Departamento Nacional de Obras Contra as Secas – DNOCS.

A capacidade hídrica total dos açudes monitorados pela COGERH é de aproximadamente 18,6 bilhões de m³. No início do mês de maio de 2017, o volume acumulado nesses reservatórios correspondia a aproximadamente 2,3 bilhões de m³, o que representa 12,6% da capacidade total. A partir dessa política de açudagem, 88 vales são perenizados por açudes e quatro sistemas de grandes açudes são integrados com alocação conjunta:

- Vale do Jaguaribe (açudes Castanhão, Orós e Banabuiú e açudes da Região metropolitana de Fortaleza – RMF)
- Vale do Acaraú (açudes Araras, Jaibaras, Taquara e Edson Queiroz)
- Vale do Curu (açudes Pentecoste, General Sampaio, Caxitoré e Frios)
- Sistema Metropolitano (açudes vinculados ao sistema Jaguaribe)

Para suprir a demanda hídrica existem os eixos de transferência que possuem processo de alocação vinculado ao reservatório adjacente usado como fonte hídrica: Eixão das Águas e o Canal do Trabalhador. O Cinturão das Águas também é uma obra hidráulica de suma importância para o Estado do Ceará que conectará através de canais, sifões e túneis a água oriunda da transposição do Rio São Francisco levando água para todas as 12 bacias hidrográficas do Estado. Essa obra de abastecimento é realizada pelo Governo Estadual do Ceará em parceria com o Governo Federal através do Ministério da Integração Nacional com o objetivo de trazer garantia de qualidade de vida a quem mora no semiárido.

No âmbito da proteção legal da água, no Brasil houve um caminho semelhante ao da proteção ao meio ambiente, no qual a água era acessória a outros interesses (MMA, 2017). Com a aprovação do Decreto nº 26.643 em 1934, o Código de Águas Brasileiro surge em um período que se exigia dos recursos hídricos uma atuação direcionada à geração de energia

elétrica, sendo esse o primeiro passo de um vasto trabalho que ocorreu para a mudança de conceitos relativos ao uso e a propriedade da água.

Porém, esse decreto não foi capaz de congregiar meios para combater o desperdício, a poluição das águas e resolver os conflitos de uso (TAKEDA, 2010). Embora, o Código das Águas tenha sido um importante dispositivo que possibilitou que na atualidade o Brasil trabalhe com instrumentos de gestão.

A nível global, o relatório Nosso Futuro Comum, a partir da Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento – CMMAD, em 1987, representou grande marco na mudança de atitude em relação à gestão não só das águas, mas do meio ambiente, enfatizando a necessidade de aumentar a capacidade de previsão dos impactos ambientais para a implantação do novo modelo de desenvolvimento, denominado de desenvolvimento sustentável (CMMAD, 1998).

Demais discussões internacionais também chamaram a atenção para a necessidade da reforma e modernização da gestão dos recursos hídricos como ocorreu na Conferência das Nações Unidas sobre a Água, realizada em Mar del Plata no mês de março de 1977, cujo Plano de Ação recomendava, dentre outras, que:

“Cada país deve formular e analisar uma declaração geral de políticas em relação ao uso, à ordenação e a conservação da água, como marco de planejamento e execução de medidas concretas para a eficiente aplicação dos diversos planos setoriais. Os planos e políticas de desenvolvimento nacional devem especificar os objetivos principais da política sobre o uso da água, a qual deve ser traduzida em diretrizes e estratégias, subdivididas, dentro do possível, em programas para o uso ordenado e integrado do recurso.” (CEPAL, 1998).

Com a promulgação da Constituição Brasileira de 1988, o domínio das águas no Brasil passa a ser considerado apenas público, sendo um bem difuso pertencente a toda a coletividade. Em seguida, alguns estados membros instituíram suas próprias políticas estaduais de recursos hídricos, o primeiro foi o Estado de São Paulo em 1991, depois o Estado Ceará em 1992, no ano de 1994 mais dois estados da região Sul haviam elaborado suas políticas estaduais e desde dezembro do ano de 2007 todos os estados brasileiros e o Distrito Federal já possuíam lei que instituem suas políticas estaduais de recursos hídricos.

No entanto, a omissão do Estado Federal em regular matéria de tão amplo interesse finalmente surgiu, e em 1997, com a lei federal 9.433, foi instituído a Política Nacional de Recursos Hídricos – PNRH, também conhecida por Lei das Águas, no qual há o reconhecimento da necessidade de proteger as águas dentro da estrutura global ambiental, integrando os recursos hídricos ao meio ambiente para garantir o desenvolvimento sustentável e à manutenção do meio ambiente ecologicamente equilibrado (MMA, 2017).

A PNRH foi inspirada no modelo francês que reconhece a bacia hidrográfica como unidade de gestão hidrográfica (ANA, 2012). Esse sistema estabelece que a gestão hidrológica brasileira deva continuamente visar os usos múltiplos das águas, além de determinar que sua utilização prioritária seja para o abastecimento humano. Acentua-se, assim, o interesse pelo sistema de administração por bacias hidrográficas, a partir de variadas experiências, que vêm sendo realizadas no mundo já a algumas décadas. No Brasil, atualmente, existem:

- 09 Comitês de Bacias Hidrográficas (CBH) interestaduais
 1. CBH – Piranhas Açu
 2. CBH – São Francisco
 3. CBH – Verde Grande
 4. CBH – Paraíba
 5. CBH – Rio Doce
 6. CBH – Paraíba do Sul
 7. CBH – Rio Grande
 8. CBH – Piracicaba, Capivarí e Jundiá
 9. CBH – Paranapanema

- 204 Comitês de Bacias Hidrográficas (CBH) estaduais
 1. Região Norte – 05 CBH
 2. Região Nordeste – 50 CBH
 3. Região Centro-Oeste – 19 CBH
 4. Região Sudeste – 77 CBH
 5. Região Sul – 53 CBH

- 12 Comitês de Bacias Hidrográficas no Ceará (CBH)
 1. CBH do Rio Alto Jaguaribe
 2. CBH do Rio Médio Jaguaribe
 3. CBH do Rio Baixo Jaguaribe
 4. CBH do Rio Banabuiú
 5. CBH do Rio Curu
 6. CBH do Rio Salgado
 7. CBH da Região Metropolitana de Fortaleza - RMF
 8. CBH do Rio Acaraú
 9. CBH do Rio Acaraú

10. CBH do Litoral
11. CBH Sertões de Crateús
12. CBH da Serra da Ibiapaba

Figura 1: Bacias Hidrográficas do Ceará



Fonte: Secretaria de Recursos Hídricos

Esse instrumento de gestão, a bacia hidrográfica, visa à otimização dos recursos hídricos em harmonia com agências de desenvolvimento regional e com órgãos ambientais. (OLIVEIRA e ALVES, 2002). O Conselho Nacional de Recursos Hídricos – CNRH, criado a partir da Lei das Águas, desenvolve atividades desde junho de 1998, ocupando a instância mais alta na hierarquia do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos:

É um colegiado que desenvolve regras de mediação entre os diversos usuários da água sendo, assim, um dos grandes responsáveis pela implementação da gestão dos recursos hídricos no País. Por articular a integração das políticas públicas no Brasil é reconhecido pela sociedade como orientador para um diálogo transparente no processo de decisões no campo da legislação de recursos hídricos (CNRH, 2017).

Através da lei nº 9.984, a Agência Nacional das Águas – ANA, também criada como desdobramento da Lei das Águas, é responsável por todos os instrumentos de gestão, sob o qual desempenha ações de regulação, apoio à gestão, monitoramento, programas e projetos além de um conjunto de informações com o objetivo de estimular a adequada gestão e o uso racional e sustentável dos recursos hídricos (ANA, 2017).

Em âmbito Estadual, o Ceará foi um dos pioneiros que buscou esse novo modelo de gerenciamento das águas antes mesmo da instituição da Lei 9.433/97, através do seu Plano Estadual de Recursos Hídricos – PLANERH, instituído pela Lei nº 11.996/92, sendo instrumento de referência da PNRH, junto com o Sistema Integrado de Gestão dos Recursos Hídricos – SIGERH (SRH, 2006).

Os Planos de Recursos Hídricos têm um importante papel enquanto referência constituindo os documentos de base para se buscar o alcance de metas estabelecidas com o desenvolvimento da sociedade (ANA, 2016).

Mesmo antes da disseminação do conceito sobre gestão das águas com os seus princípios de descentralização, integração e participação, houve no Nordeste o surgimento de ciclos tecnológicos direcionados aos recursos hídricos que remontam à época do império.

No período imperial, algumas ações pontuais foram realizadas para minorar os efeitos da estiagem, como através da escavação de poços, cacimbas e a construção de pequenos barramentos nas nascentes dos rios. Com as missões realizadas pela Coroa no Nordeste Brasileiro, surge a proposta de construção de reservatórios de grande porte com vistas à ampliação do atendimento a pequenas localidades. O açude Cedro, em Quixadá, iniciado em 1888 e concluído em 1906, é o marco desse primeiro período que se desdobra, na atualidade, na recente ênfase dada à gestão e ao monitoramento da água (SRH, 2006).

No Estado do Ceará, a fase atual de gerenciamento tem início no final da década de 1970, estabelecendo um novo estágio de desenvolvimento com a gestão participativa e integrada dos recursos hídricos. No ano de 1983, último ano de um período de cinco anos de escassez, foi criado um grupo de trabalho com o intuito de formular uma nova política pública de recursos hídricos, surgindo o I Plano Diretor dos Recursos Hídricos do Ceará (CEARÁ, 2009).

Nesse contexto, em abril de 1987 foi criada a Secretaria de Recursos Hídricos do Ceará – SRH com o objetivo de garantir a oferta de água para todos os cearenses, além de promover o abastecimento e o desenvolvimento agrícola e industrial (SRH, 2006). No mesmo

ano, a partir da Lei nº 11.380 foi criada como autarquia a Superintendência de Obras Hidráulicas – SOHIDRA e regulamentada pelo Decreto nº 19.012 (SOHIDRA, 2013).

A SOHIDRA é o órgão responsável pela implantação da infraestrutura hídrica do Estado do Ceará, no qual executa trabalhos de fiscalização e construção de barragens, eixos de integração, canais, adutoras, poços e sistemas de abastecimento de água (SRH, 2006). No ano de 1993 foi criada a Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos – COGERH, conhecida como Companhia das Águas, pela Lei nº 12.217, no qual é responsável pelo gerenciamento e disciplinamento de mais de 90% das águas acumuladas no Ceará, de forma descentralizada, integrada e participativa (COGERH, 2013). Até o fim da década de 1990, vários projetos avançaram para a implantação dos instrumentos de gestão:

- Programa de Desenvolvimento Urbano de Gerenciamento dos Recursos Hídricos – PROURB;
- Início das atividades de outorga e licenciamento, e
- Elaboração dos Planos de Bacias Hidrográficas.

Já no início do século XXI, quando a questão ambiental ganha contornos antes inimagináveis, no Brasil o debate sobre esse recurso fundamental à vida se ampliou no movimento social, na área econômica e, em particular, nas agendas governamentais.

Hoje, a gestão dos recursos hídricos no Ceará está alinhada com o desencadeamento da reestruturação produtiva, que tem modernizado a economia através do incentivo estatal e do atraso social que permitem a redução de custos, condição indispensável para a reprodução do capital no seio da globalização. A ampliação da oferta hídrica via grandes projetos de infraestruturas faz parte da política de atendimento aos setores econômicos (SABOIA, 2015).

É nesse diálogo relativo à gestão que nasceram programas como o “Água Doce”, que, por meio de dessalinizadores, aproveita as águas subterrâneas salobras e salinas para consumo humano, e o programa de ação nacional de combate à desertificação e mitigação dos efeitos da seca, no qual hoje é modelo de ação no país e para vários países que enfrentam problemas semelhantes (MMA, 2017).

Para que se possa então exercer de forma eficiente o gerenciamento de toda essa infraestrutura, é necessário o esforço conjunto e disciplinado de várias instituições, já que a gestão da água tem interface com várias políticas setoriais. Segundo Pereira (2016), a gestão integrada dos recursos hídricos depende principalmente da colaboração e do

compartilhamento em todos os níveis da sociedade para alcançar o manejo integrado dos recursos hídricos.

A questão hídrica não é mais determinada unicamente pela hidrografia, e um novo mapa das águas está sendo engendrado, onde o império da ciência e da técnica através da transformação da natureza via infraestruturas tem remodelado a concentração e a distribuição territorial dos recursos hídricos, obedecendo à lógica acumulativa do modo de produção (SABOIA, 2015).

Diante de tamanha infraestrutura e gerenciamento da água mesmo com as dificuldades no déficit hídrico ainda enfrentados no Nordeste brasileiro, é nítida a necessidade de tecnologias que possibilitem a permanência do homem à vida do campo através da produção de alimentos e acesso à água de qualidade (ANDRADE; PEREIRA, 2010).

De acordo com Feitosa *et al.* (2016), a Caatinga tem sido há muito tempo explorada de forma não sustentável pelo homem, o que levou a perdas da diversidade florística e faunística, aceleração do processo de erosão do solo e redução da qualidade da água dos açudes. Com o período prolongado de estiagem, o número de eventos que geram escoamento superficial é bastante limitado, o que nos últimos anos se iniciou com a seca plurianual de 2012 e que se prolonga nos dias atuais (DE ARAÚJO e BRONSTERT, 2016).

A seca que afeta atualmente o Nordeste, teve uma intensidade e impacto, não vistos em várias décadas. Mesmo que as secas sejam recorrentes e enquanto algumas medidas tenham sido tomadas pelos governos para atenuar os impactos, ainda há uma percepção de que os moradores, principalmente em áreas rurais, ainda não estão adaptados a estas intempéries (MARENGO, 2016). Em áreas rurais os pequenos e médios reservatórios armazenam água para superar a escassez em anos normais, ajudando a reduzir a vulnerabilidade das pessoas à seca e aumentando seus meios de subsistência. Porém, tais reservatórios tornam-se indisponíveis durante secas plurianuais (LIEBE, *et al.*, 2005; KROL; BRONSTERT, 2007).

Segundo a SRH (2017), o último período de seca, 2012 - 2016 é considerado a pior situação enfrentada, ao ser comparado com os dados desde 1910. Assim, a gravidade da situação gerou a necessidade do Estado intensificar a aplicação de recursos e estratégias para minimizar os efeitos dessa seca tanto na área de infraestrutura hídrica, como no setor de planejamento e gestão.

Os ambientes semiáridos, em contraposição aos áridos possuem uma situação menos agressiva referente à falta de água, embora predomine durante o ano uma estação seca e um curto período chuvoso, permitindo a reposição das águas dos reservatórios (SUDENE, 1981).

Mesmo com toda essa vulnerabilidade, o semiárido brasileiro é considerado o mais povoado entre todas as regiões áridas e semiáridas intertropicais do planeta (SILANS, 2002). Ainda assim, segundo Bezerra (2002), o principal fator limitante do desenvolvimento nessa região é a água, não propriamente pelo volume precipitado, mas pela quantidade evaporada.

A semiaridez está presente na região norte de Minas Gerais e quase integralmente nos Estados do Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe e Bahia. Essa delimitação foi definida inicialmente pela Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste – SUDENE, através da Lei nº 7.827, de 27 de setembro de 1989 (BRASIL, 2007).

Com base nas conclusões do Grupo de Trabalho Interministerial - GTI, responsáveis pelo estudo da delimitação do novo semiárido brasileiro, instituído pela Portaria Interministerial nº 6, de 29 de março de 2004, a atualização da área do semiárido foi realizada em 10 de março de 2005, por meio da Portaria do Ministério da Integração Nacional.

Dos Estados anteriormente mencionados, 1.133 municípios fazem parte da nova delimitação e do polígono das secas. Antes dessa atualização, os municípios integrantes do polígono eram 1.031. A metodologia aplicada pelo GTI teve como base para a escolha dos municípios, cinco modelos:

1. Índice de aridez de Thorntwaite de 1941;
2. Risco de ocorrência de seca;
3. Unidades Geossistêmicas;
4. Isoieta de 800 mm; e
5. Percentual de dias com déficit hídrico.

A partir das avaliações de cada critério proposto, o GTI sugeriu que passassem a integrar a região semiárida, todo município pertencente à área de atuação da Agência de Desenvolvimento do Nordeste - ADENE que atendessem pelo menos um dos seguintes critérios:

1. Municípios que estivessem na faixa de isoieta de até 800 mm;
2. Que tivesse um Índice de Aridez de Thorntwaite, de 1941 de até 0,5; e
3. O critério de *Risco de Seca* superior a 60%.

Segundo Campos (1994), a seca está intimamente relacionada ao ponto de vista do observador. Embora a causa primária das secas resida na insuficiência ou irregularidade das precipitações pluviais, no caso das secas climatológicas, também existem uma sequência de causas e efeitos, como as secas edáficas, a seca social e a seca hidrológica (FERNANDES, 2002).

Historicamente o Nordeste semiárido é caracterizado pelo estigma da seca:

Com a ausência de uma infraestrutura de reservação de águas, a seca, desde quando se conhece o Nordeste, têm resultado em movimentos migratórios (CAMPOS, 1994).

A primeira marca, que antecede à ocupação da região das caatingas pelos colonizadores portugueses, conforme Souza (1979) é relatada por Fernão Cardin ao ano de 1583.

As condições adversas do Nordeste, incluído as secas periódicas, retardaram muito o início da ocupação portuguesa na região. Até a primeira metade do século XVII o domínio das áreas secas do interior do Nordeste de Pernambuco ao Ceará era dos índios. A partir de então e de forma bastante lenta tem início o processo de ocupação com o desenvolvimento da pecuária, única atividade possível na região das caatingas (PAULINO, 1992).

Nos séculos XVI e XVII, havia grande deficiência de documentação que referenciasse as secas ocorridas nesse período. A partir da ocupação do sertão através da atividade pecuária é que se passou a registrar melhor sobre episódios referentes às secas.

O Estado do Ceará é considerado o mais seco do Nordeste estando quase que totalmente incluído na área de maior incidência de secas (CAMPOS, 1994).

Segundo Neves (2001), embora a seca seja um fenômeno natural, ela também é um fato social inserido em uma rede de relacionamentos políticos, culturais, sociais, institucionais e econômicos, reveladores das condições de pobreza e da baixa representativa política de parcela da população nordestina.

No entanto, é apenas a partir de 1877 que as secas tomam contornos de crise econômica e social, refletindo em ações mais efetivas dos governos, assentadas em ações emergências e de reorientação do processo produtivo da região (PESSOA, 2002).

Embora ocorressem constantemente danos com as secas até aquele período, as medidas de combate aos seus efeitos ainda não eram alvo de ações do governo nacional, e de forma incipiente pelos governos provinciais, devido à baixa concentração de pessoas vivendo

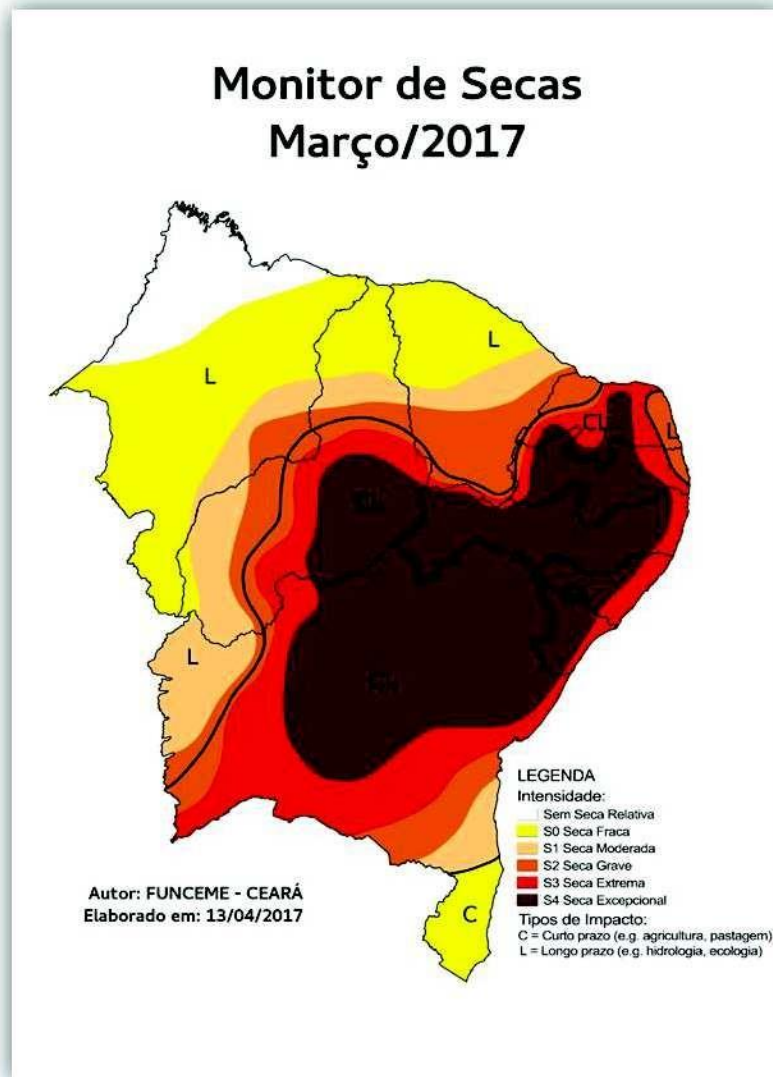
nos sertões, em comparação às regiões da Zona da Mata e do Agreste (OLIMPIO, *et al.*, 2015).

No momento, a região perpassa por um período prolongado de estiagem e o Estado do Ceará tem tido significativas perdas no volume dos açudes, e também ocasionando danos e perdas de cultura e pastagens, criando situações de emergência pela falta de água.

Por isso, o conhecimento da distribuição espacial das secas é também muito importante para a definição de políticas de convivência desse fenômeno no semiárido. E atualmente o Ministério da Integração Nacional criou, em 2012, no auge de um período extremamente seco na região Nordeste que perpetua até os dias atuais, um grupo de trabalho pra avaliar a política e as abordagens de gestão brasileiras relativas às secas, assim como para estudar e apresentar subsídios para o desenho de uma Política Nacional de Secas, criando o “Monitor de Secas”.

O Monitor de Secas é um processo de acompanhamento regular e periódico da situação da seca no Nordeste, cujos resultados consolidados são divulgados por meio do Mapa do Monitor de Secas. Mensalmente informações sobre a situação de secas são disponibilizadas até o mês anterior, com indicadores que refletem o curto prazo (últimos 3, 4 e 6 meses) e o longo prazo (últimos 12, 18 e 24 meses), indicando a evolução da seca na região (ANA, 2017 – Monitor de Secas do Nordeste no Brasil <<http://monitordesecas.ana.gov.br/>>).

Segundo os dados tabulados, no *site* de monitoramento de secas, no mês de março de 2017, a partir das classificações estabelecidas a partir da intensidade da seca, 5,54% dos municípios do Nordeste brasileiro estão fora da situação de seca e 94,96% estão relacionados a algum tipo de seca, podendo ser uma seca fraca, moderada, grave, extrema ou excepcional como se observa na Figura 2.



Fonte: Monitor de Secas do Nordeste Brasileiro
<<http://monitordesecas.ana.gov.br/>>

Durante o século XXI, em meio à crise hídrica atual, se percebe uma busca mais efetiva de meios de convivência com esse fenômeno, aliando ações de curto e longo prazo em ações mais efetivas na redução dos impactos econômicos, sociais e ambientais.

Segundo Olímpio *et al.* (2015), o Programa Bolsa Família, por exemplo, realizado pelo Governo Federal, é a ação mais eficiente no combate das mazelas sociais da seca. Um dos resultados é que não houve a formação de massas de flagelados, tampouco ocorreram migrações e saques. E isso porque o dinheiro repassado à população garante pelo menos a aquisição dos bens básicos para a sobrevivência e dá uma maior segurança, favorecendo a permanência do sertanejo em sua terra.

Já entre as medidas emergenciais atualmente empregadas se tem, por exemplo, a distribuição de água por meio de carros-pipa, distribuição de grãos, seguro-safra, garantia-safra e campanhas de doação de alimentos, roupas e água.

2.2 Saneamento ambiental e qualidade das águas

O cuidado com o provimento de água às populações acompanha a humanidade desde seu surgimento (HELLER, *et al.*, 2006), pois em suas múltiplas atividades os seres humanos precisavam da água para suprir suas necessidades básicas.

Vários registros de experiências de suprimento de água são encontrados desde a antiguidade, demonstrando o progressivo desenvolvimento de tecnologias para a sua captação, transporte, tratamento, e distribuição, no qual desenvolveu algumas técnicas importantes, como a irrigação, construção de diques e canalizações superficiais e subterrâneas, se preocupando sempre com a qualidade da água e com medidas sanitárias.

O homem aprendeu por experiência própria, que a água suja e o acúmulo de lixo, transmitem doenças, sendo preciso adotar medidas para dispor de água limpa e, livrar-se dos detritos (BARROS, 2014). Por isso a importância dos serviços de água tratada e de esgoto, os serviços de saneamento, na saúde das pessoas e no seu bem estar é vastamente reconhecida.

Para Barros (2014),

“o saneamento é um conjunto de medidas para preservar as condições do meio ambiente, prevenindo doenças e melhorando as condições da saúde pública. As principais atividades do saneamento básico estão ligadas à coleta e tratamento de resíduos produzidos pelo homem, como esgoto e lixo, tornando-os inofensivos à saúde. Outra atividade importante é o fornecimento de água de qualidade para a população”.

Segundo dados do Ministério das Cidades (2014), o Brasil ainda possui mais de 100 milhões de cidadãos sem acesso à coleta de esgotos e 70% dos esgotos coletados são tratados. Já com relação ao abastecimento de água por rede, mais de 35 milhões de brasileiros não têm acesso ao serviço.

A importância sanitária do abastecimento de água é das mais ponderáveis. A implantação ou melhoria dos serviços de abastecimento de água traz como resultado uma rápida e sensível melhoria na saúde e nas condições de vida de uma comunidade, principalmente através do controle e prevenção de doenças, da promoção de hábitos higiênicos, do desenvolvimento de esportes, como a natação e da melhoria da limpeza pública. Ressalta-se, assim, conforme tem sido constatado em muitos lugares, que a implantação ou melhorias dos sistemas de abastecimento de água traz como consequência uma diminuição sensível na incidência das doenças relacionadas à água (OLIVEIRA, 1987).

No Estado do Ceará, a política estadual propõe melhorias e condições adequadas de prestação de serviços destinados ao saneamento, sob o qual tais ações devem estar relacionadas com o propósito de minimizar as emissões de cargas poluidoras, e garantir a

manutenção da qualidade dos recursos hídricos promovendo o consequente desenvolvimento humano e econômico local (PINHEIRO, 2011).

Uma das mais relevantes ações referentes ao abastecimento na área rural é o SISAR - Sistema Integrado de Saneamento Rural, que tem o Ceará como referência por ser reconhecido como uma das grandes políticas de saneamento rural no país (CAGECE, 2016).

De acordo com Hosoi (2011), o Nordeste brasileiro vem ganhando notabilidade através de programas de saneamento rural, por meio de uma parceria entre o Governo do Ceará e a sociedade civil, no qual o SISAR atende 615 comunidades isoladas, implantando sistemas de abastecimento de água e a sua gestão autossustentável. Sob o ponto de vista da gestão social, essa proposta diferenciada pode ser considerada exitosa (ANA, 2012).

Porém, ao longo dos anos, diversas dificuldades são encontradas nesses locais onde os sistemas são instalados, o que mostra uma grande problemática de gerenciamento por todos os agentes envolvidos no processo. E isso demonstra que o programa não tem a amplitude necessária diante das carências da população difusa (COELHO, 2013). O Pacto das Águas reconhece a insuficiência no setor de abastecimento de água e constata a situação de insegurança hídrica, caracterizada em termos de quantidade e qualidade de água (CEARÁ, 2008).

A exemplo do que acontece no Assentamento 25 de Maio com o açude Quieto, a sua água é distribuída por encanamento para as famílias que residem nas comunidades Raiz, Quieto e Angelim, no qual a água é bombeada para uma caixa d'água que por fim distribuí para as comunidades, porém, hoje se encontra inoperante devido a diminuição da água que com o tempo se tornou imprópria para o uso da população local.

Outra ação que trouxe avanços importantes para o saneamento local é o sistema fossa verde, alternativa de tratamento unidomiciliar no qual é aproveitado o esgoto para agricultura familiar, em que a principal vantagem desse sistema é a possibilidade de destinação mais adequada do efluente doméstico ao invés dele ficar exposto a céu aberto, disseminando vetores patogênicos e contaminando os recursos hídricos. Esse sistema é uma técnica disseminada pelo Instituto de Permacultura e Ecovilas do Cerrado – ECOCENTRO IPEC, destacando-se no Estado do Ceará através do projeto Olho na Água (PINHEIRO, 2011; COELHO, 2013).

É muito importante que os sistemas a serem instalados devam contemplar a realidade sociocultural da população, as características do ambiente físico e natural e os custos e condições do processo, pois a universalização dos sistemas de saneamento não significa

somente o uso exclusivo de tecnologias convencionais, mas a possibilidade também de alternativas simplificadas e individuais (GALVÃO JÚNIOR, 2009).

Comumente com a ausência de esgotamento sanitário, nas áreas difusas do sertão, a forma usual de destino final do efluente domiciliar se dá por meio do lançamento direto no solo ou em corpos hídricos, causando a infiltração e contaminação no solo, além de resultar no processo de eutrofização antrópica dos açudes (COELHO, 2013). Esse fenômeno corresponde ao desequilíbrio ambiental em meio aquático decorrente do excesso de nutrientes, contribuindo para um aumento na taxa de produtividade no ecossistema e diminuição do nível de oxigênio dissolvido devido ao acúmulo de matéria orgânica não degradada, ocasionando a mortandade de peixes e de outros organismos (ESTEVES, MEIRELLES-PEREIRA, 2011; BRAGA *et al.*, 2005; TUNDISI, MATSUMURA-TUNDISI, 2008).

Segundo Gaiser (2003), as regiões semiáridas são zonas de alta fragilidade, assim, o manejo antrópico inadequado de pequenas bacias nesta região pode proporcionar sérios reflexos negativos que somados ao período de estiagem passa a ter problemas mais graves, desde alterações no padrão de infiltração, no balanço de água superficial e subterrâneo assim como produzir assoreamento (DE ARAÚJO, *et al.*, 2006; SRINIVASAN *et al.*, 2003; BRITO *et al.*, 2008; MAMEDE, 2008; MEDEIROS *et al.*, 2010).

Tal deterioração resulta em impactos socioeconômicos e, em alguns casos, em alterações permanentes e irreversíveis nos corpos d'água. Ressalta-se que corpos d'água eutrofizados estão, em princípio, impossibilitados de abastecer populações, mesmo após tratamento, pois induzem à produção de trihalometano (VIANA *et al.*, 2009). Assim, é importante que se conheça o estado atual do recurso hídrico referente á sua qualidade para então buscar que melhor ou quais melhores técnicas serão imprescindíveis para o processo de tratamento da água que precisa ser tratada.

Segundo Pinheiro (2011), a ocorrência de processos de eutrofização em inúmeros reservatórios, aliada ao déficit de investimento em infraestrutura dos serviços de saneamento básico em todo o país, dificulta a tomada de decisão pelo poder público de quais reservatórios encontram-se em situação mais crítica para implementação de ações emergenciais de controle e reversão desse processo (FIGUEIRÊDO *et al.*, 2007).

Assim, ao propor projetos de saneamento, eles devem extrapolar sua concepção sanitária clássica, assumindo uma abordagem ambiental com vistas à promoção da saúde e à

conservação do meio físico e biótico (SOARES, *et al.*, 2002). Nesse caso, os benefícios nem sempre resultam diretamente das ações de saneamento, mas decorrem da nova relação ambiental e dos hábitos de comportamento e higiene que se estabelecem (COELHO, 2013). Em relação à água no século XXI, além da sua quantidade, é a sua qualidade que preocupa. A água é um recurso renovável, porém, por ser facilmente contaminável perde o seu uso para determinados fins como o abastecimento humano e a irrigação. Já a sua recuperação, em contrapartida, geralmente é trabalhosa e onerosa (PEREIRA, 2016).

É notório que a contaminação por lançamentos de efluentes industriais ou por esgoto doméstico não tratado, tem desencadeado diversas doenças.

As doenças relacionadas com a água que afetam a saúde do homem são relativamente muito difundidas e abundantes nas áreas rurais dos países em desenvolvimento. A incidência dessas doenças depende do clima, da geografia, da cultura, dos hábitos sanitários e, certamente, da quantidade e qualidade do abastecimento local de água, além dos métodos de disposição de dejetos (SAUNDERS, 1983).

Com a degradação das águas por meio da poluição e da não racionalização do seu uso, isso vem dificultando o seu tratamento, intensificando a escassez hídrica e aumentando os riscos à saúde humana pelo seu consumo inapropriado (PÁDUA e FERREIRA, 2006). Em todo o mundo, as doenças transmitidas pela água estão entre as principais causas de óbito de crianças com idade abaixo de cinco anos e, a cada ano, mais pessoas morrem. (OMS, 2002). A água pode ser um veículo de transmissão de diversas doenças, sendo classificadas em dois grupos: doenças de transmissão hídrica e doenças de origem hídrica.

As de transmissão hídrica são aquelas em que a água atua como veículo propriamente dito, do agente infeccioso, já as de origem são aquelas decorrentes de certas substâncias contidas na água em teor inadequado (OLIVEIRA, 1987).

As quatro as principais classes de doenças relacionadas à água são (ANA, 2011): problemas transmitidos pela água ingerida, problemas contraídos durante o banho, problemas provocados pelo contato com água contaminada e problemas relacionados a vetores que se reproduzem na água.

Assim, é conveniente destacar a distinção entre poluição e contaminação que continuamente são utilizados como sinônimos. Segundo Pádua e Ferreira (2006), poluição é a alteração das propriedades físicas, químicas, radiológicas ou biológicas naturais do meio ambiente (ar, água e solo), causada por qualquer forma de energia ou por qualquer substância sólida, líquida ou gasosa, ou através da combinação de elementos em níveis capazes de, direta ou indiretamente:

2.1.1 Ser prejudicial à saúde, à segurança e ao bem-estar das populações;

2.1.2 Criar condições inadequadas para fins domésticos, agropecuários, industriais e outros, prejudicando assim as atividades sociais ou econômicas; e,

2.1.3 Ocasionar danos relevantes à fauna, à flora e a outros recursos naturais.

A sensibilidade apurada do organismo humano faz com que os efeitos da poluição o atinjam com maior facilidade. Por isso, os padrões máximos estabelecidos para o consumo de água para o ser humano é mais rigoroso. Cerca de 80% das patologias que atingem a saúde humana estão ligas ao abastecimento de água, exatamente porque nesses ambientes podem aninhar mosquitos, vetores ou transmissores responsáveis por endemias e epidemias (OLIVEIRA e ALVES, 2002).

A contaminação também se constitui com os lançamentos diários de elementos que sejam nocivos à saúde do homem ou de animais, bem como dos vegetais que consomem esta água, independentemente do fato destes vierem ou não ao ambiente aquático. E não é necessário muito esforço para encontrarmos esses focos de contaminação nos nossos mananciais, como por exemplo, cacimbões transformados em fossas, sumidouros, lixões e criações de animais em locais impróprios.

A contaminação dos recursos hídricos tem provocado uma degradação sistêmica, pois os poluentes lançados nas águas superficiais por nossas indústrias contaminam os ecossistemas e eliminam ou restringem a continuidade da vida nesses ambientes. Como exemplo dessa degradação, podemos citar o aumento da exploração dos recursos hídricos subterrâneos, pois as águas superficiais estão cada vez mais poluídas e impossibilitadas de captação para consumo humano (OLIVEIRA e ALVES, 2002).

No Estado do Ceará, os principais geradores da contaminação para os reservatórios são descargas de esgotos domésticos e industriais, afluição de partículas dos solos, criação de gado no entorno dos açudes e piscicultura (CAVALCANTE, 2016).

A contaminação por organismos patogênicos, metais traço e produtos químicos tóxicos de produção humana, além da introdução de espécies invasoras e as alterações de acidez, temperatura e salinidade da água podem prejudicar os ecossistemas aquáticos, tornando sua utilização inapropriada para uso humano (ANA, 2011).

Ainda sobre poluição e contaminação, Di Bernardo (1993), aborda que a poluição decorre de qualquer alteração de natureza física, química, biológica ou mesmo de regime hidrológico que produza desequilíbrios no ciclo biológico normal, contribuindo para alterar a composição da fauna ou flora do meio (ROBERTO e ABREU, 1991). Já as consequências da poluição, como os efeitos diretos da introdução de substâncias ou organismos nocivos,

causando doenças ao ser humano, merecem a denominação genérica de contaminação (CETESB, 1969)

O conhecimento sobre a qualidade da água é essencial para a compreensão dos processos ambientais, e em particular dos corpos hídricos com relação aos impactos neles ocasionados. Em razão de que a água de baixa qualidade põe em risco a saúde humana e dos ecossistemas, o que reduz a possibilidade de água potável e de recursos hídricos próprios para outras finalidades, limitando a produtividade econômica e diminuindo as oportunidades de desenvolvimento (ANA, 2011).

Até meados do século XX, a qualidade da água para consumo humano era avaliada essencialmente através das suas características organolépticas, entretanto se percebeu que não era eficaz em termos de proteção contra microrganismos patogênicos e substâncias químicas perigosas presentes na água. Tornou-se assim, importante estabelecer normas paramétricas que traduzissem, de forma objetiva, as características que águas destinadas ao consumo humano deveriam obedecer (MENDES, 2006; PEREIRA, 2016).

Hoje, os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade estão normatizados na Portaria nº 2914 de 12 de dezembro de 2011 do Ministério da Saúde – MS, em que normatiza que toda água destinada ao consumo humano deve obedecer ao padrão de potabilidade, estando sujeita à vigilância da qualidade da água. E para cada parâmetro de qualidade da água de consumo humano, são designados valores máximos permitidos – VMP (BRASIL, 2011).

Já a classificação dos recursos hídricos, pertinentes ao seu enquadramento em relação aos variados usos a que eles são destinados, a Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA nº 357 de 17 de março de 2005, regulamenta a classificação dos corpos d'água estabelecendo as condições e padrões de lançamento de efluentes (CONAMA, 2005).

É importante essa regulamentação, pois, segundo Steiner (2011), a contaminação de sistemas fluviais, das águas costeiras e de outros ecossistemas não representam riscos apenas à saúde, mas também à atividade econômica.

A água se move em um círculo gerado pela energia solar, com a evaporação, a chuva, as correntes na superfície e a infiltração. Durante esse processo, comumente denominado de ciclo hidrológico, a água entra em contato com os meios ambientais como o

ar, o solo e as rochas, e é inevitável que os elementos sólidos, líquidos e gasosos sejam levados e solvidos (HERMANS, 2002).

Assim, por ser um bem comum a todo ser vivo, além de ter importante valor econômico, enquanto recurso hídrico, a água possui múltiplos usos, como o: abastecimento para consumo humano direto, para usos domésticos, usos industriais, irrigação, dessedentação de animais, conservação da fauna e flora, atividades de recreação, pesca e piscicultura, geração de energia, transportes e diluição de despejos.

Com isso, dependendo da destinação atribuída a esse solvente universal, as características de determinada da água podem ser próprias ou impróprias a um tipo de uso específico, já que existem diversos fatores que determinam essa qualidade.

Aquela que é destinada à navegação, por exemplo, não necessariamente precisa ter a mesma projeção de qualidade para a água que será destinada ao consumo humano, como também a presença de matéria orgânica que pode ser benéfica à irrigação, em contra partida pode acarretar sérios problemas à potabilização da água.

Sendo assim, os diversos usos acabam afetados de formas diferentes pela alteração da qualidade da água. Conforme Pádua e Ferreira (2006),

Devido à multiplicidade de aplicações da água nas diversas atividades humanas, o conceito de “qualidade de água”, precisa ser relativizado, em função do uso a que se destina.

As Nações Unidas estimam que um quarto da população mundial não possui acesso a fontes de água seguras e limpas. Assim, a Organização Mundial de Saúde - OMS chama a atenção para a relação estreita entre a qualidade de água e a saúde da população, pois calcula-se que cerca de 70% de todos os casos de doença têm sua causa na contaminação da água potável com microrganismos patogênicos, causada, entre outras, pela falta de tratamento da água e por encanamentos danificados (HERMANS, 2002).

Há algumas décadas, especialistas em recursos hídricos diagnosticaram que grande parte das águas doces do mundo estavam ameaçadas pela poluição em consequência do mau uso das mesmas e dos solos. Nos Estados Unidos, o problema foi avaliado pelo Conselho de Qualidade Ambiental na década de 1980, que concluiu que, apesar das medidas que vinham sendo tomadas, a qualidade das águas não melhorava. O problema do agravamento da qualidade das águas ainda persiste em várias partes do mundo (CAMPOS, 2002).

Atualmente a água armazenada em todos os açudes no Estado do Ceará está com a qualidade comprometida em algum nível. Em alguns casos a água possui substâncias

indesejáveis ou algum comprometimento acentuado (CAVALCANTE, 2016). Sendo assim, grande parte da população rural sofre com problemas de suprimento de água potável.

Para uma água potável, não basta que ela seja isenta de substâncias ou microrganismos patogênicos para ser considerada potável. É também necessário que ela não traga consigo substâncias capazes de adicionar-lhe cor, turbidez ou gosto desagradável, ainda que essas substâncias sejam inofensivas ao organismo humano (LIVRO ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA).

A maior parte do processo de poluição, nas áreas rurais e urbanas, é gerada por águas residuárias, além de outras formas de poluição que surgem por fontes não pontuais, pois grande parte das cargas poluidoras de corpos de água em geral é originária de fontes difusas. À medida que se procede à identificação e o subsequente controle das cargas pontuais, as fontes difusas ganham destaque (CAMPBELL, *et al.*, 2004; DIOGO, 2008).

As cargas pontuais de poluição estão associadas a qualquer meio perceptível, confinado ou desviado de transporte de poluentes, especialmente de águas residuárias domésticas e industriais, para as águas superficiais. Já a poluição difusa, na área rural, é devida em grande parte à drenagem de precipitações pluviométricas a partir de solos agrícolas e ao fluxo de retorno da irrigação, sendo associada aos sedimentos, carregados quando há erosão no solo, aos nutrientes e aos defensivos agrícolas (MANSOR, 2005).

A eutrofização, embora seja um fenômeno natural em lagos e reservatórios, a atividade humana acelera rapidamente, diminuindo a vida útil da qualidade dos corpos e cursos de água. Em níveis excessivos, ela é prejudicial, principalmente por quebrar o equilíbrio natural das cadeias tróficas, alterando os ciclos químicos e biológicos no corpo d'água (CHAPRA, 1997).

Esse problema tem se mostrado extremamente grave nos pequenos reservatórios do Nordeste semiárido, que têm seus volumes de água reduzidos na longa estação seca da região e continuam recebendo efluentes domésticos. Assim, o número de pequenos reservatórios eutrofizados é bastante elevado e interferem no abastecimento de água das populações rurais dispersas (CAMPOS, 2002).

Os ecossistemas de água doce estão entre os mais degradados do planeta, tendo sofrido perdas proporcionalmente maiores de espécies e de *habitat* que quaisquer outros ecossistemas terrestres ou marinhos (REVENGA *et al.*, 2000).

Tundisi e Matsumura-Tundisi (1995) destacam a grande importância de estudos limnológicos e sanitários nos ecossistemas aquáticos, pois constituem informações básicas que servem para providenciar medidas de proteção da qualidade da água.

Estudos referentes à pequena açudagem no semiárido nordestino ainda são escassos, principalmente com relação à qualidade de água (FEITOSA, 2011). No entanto, estudos recentes ao buscarem conhecer os processos dinâmicos que ocorrem nos pequenos açudes, pôde-se adquirir conhecimento e dados a fim de um melhor manejo e gerenciamento dos recursos hídricos nos pequenos açudes.

Referente ao Assentamento 25 de Maio, já é possível obter resultados dos estudos da qualidade de água dos açudes locais compondo um banco de dados, e assim contribuindo para estudos incipientes sobre a pequena açudagem em áreas semiáridas (PINHEIRO, 2011; FEITOSA, 2011; COELHO, 2013; FREIRE, 2017).

2.3 Tratamento de água

O uso da água, ao longo da história da humanidade, se tornou bastante abrangente por apresentar vários usos consuntivos quanto não-consuntivos. Os processos exigidos para tratamento da água, dependendo da destinação de seu uso, devem ser determinados com base nas inspeções sanitárias e nos resultados representativos de exames e análises (AZEVEDO NETTO, 1987).

Com o aumento cada vez maior da interferência do homem sobre os mananciais, tornando-os mais impróprios para o uso, a água a ser fornecida à população, seja para seu consumo direto, ou para o emprego industrial, por exemplo, passou a ter tratamentos mais intensos e rigorosos. Motivo pelo qual priorizar ações de proteção dos mananciais é de suma importância, pois o tratamento já começa desde a escolha da captação da água bruta (PÁDUA, 2006).

Em um sistema de tratamento de água convencional existem as seguintes etapas (SEMAE, 2005; GASPAROTTO, 2011):

1. Captação – conjunto de estruturas e equipamentos construídos ou montados próximos a um manancial para tomada de água destinada ao sistema de abastecimento.
2. Medida de vazão – quantificação da entrada de água na estação para tratamento.
3. Mistura rápida – adição e homogeneização dos coagulantes com toda a massa líquida.
4. Floculação – a adição dos coagulantes na água inicia uma reação que dará origem a um material floculento e gelatinoso, o qual se formará em maior

intensidade nas câmaras de floculação, geralmente tanques de concreto provido de agitadores de baixa rotação. Estes flocos formados têm a propriedade de agrupar as partículas que estão em suspensão na água e também da matéria que está em forma coloidal.

5. Decantação – a água floculada é conduzida com uma velocidade muito baixa para tanques grandes, chamados decantadores, sendo que os flocos vão sedimentando ao longo desses tanques, tornando a água praticamente limpa no final deste processo.
6. Filtração – após a decantação, a água é conduzida nos filtros, que são tanques que possuem camadas sucessivas de carvão antracito, areia fina, areia grossa, pedrisco e pedregulho, ficando retidos os flocos que passaram pelo decantador. Depois de várias horas de filtração, como é natural, a superfície filtrante vai perdendo a eficiência e a rapidez de filtração devido ao acúmulo de impurezas ali retidas.
7. Dosagem de produtos químicos – terminado o processo de filtração, a água recebe o cloro, a cal e o flúor.

No mesmo ritmo em que as técnicas de exame e de análise das águas se desenvolveram e se aprimoraram, as tecnologias de tratamento de água também evoluíram consideravelmente, podendo-se dizer que qualquer água pode ser tratada e destinada ao consumo, embora os custos e riscos envolvidos possam ser extremamente elevados (DI BERNARDO, 1993). A cada momento um risco é identificado e sistemas são desenvolvidos para eliminar ou reduzi-los (PÁDUA e FERREIRA, 2006).

Segundo Azevedo Netto (1987), o tratamento da água deve ser adotado e realizado apenas após ser demonstrada sua real necessidade e, sempre que a purificação for necessária, compreendendo somente os processos imprescindíveis à obtenção da qualidade que se deseja, com custo mínimo. Pois um dos objetivos no tratamento da água deve ser o de fornecê-la o mais potável possível mantendo os custos também baixos (SAUNDERS, 1983).

Ao abordar o problema e cuidar de conceber a solução, deve ser feito todo o esforço no sentido de: eliminar o tratamento, sempre que houver possibilidade; procurar evitar a coagulação química das águas se não for possível eliminar o tratamento; procurar projetar a instalação com simplicidade, evitando-se a sofisticação, as operações desnecessárias e os equipamentos supérfluos se o tratamento químico não puder ser dispensado (AZEVEDO NETTO, 1987).

Doravante, a melhor técnica para um problema de abastecimento de água não é necessariamente a mais econômica, a mais segura ou a mais moderna, mas a mais apropriada à realidade social em que será aplicada (HELLER, 2006).

Para a água destinada ao consumo humano, por exemplo, é preciso o preenchimento de condições mínimas para fins higiênicos, tais como estar isenta de microrganismos patogênicos e, com relação a substâncias orgânicas ou inorgânicas, que os teores das mesmas não devam ser prejudiciais ao ser humano.

As águas que mais frequentemente dispensam tratamento são provenientes de fontes, de poços profundos bem protegidos, de galerias de infiltração e de bacias de captação ou de acumulação. O que possivelmente poderia ser acrescentado seria apenas a adição de algum agente desinfetante capaz de preservar contra a possibilidade de uma eventual contaminação no sistema distribuidor de água (AZEVEDO NETTO, 1987; VIANNA, 1992).

Somente um estudo detalhado da qualidade da água bruta e, às vezes, a execução de pesquisas em instalações pilotos, é que podem fornecer os elementos necessários à definição da tecnologia de tratamento apropriada à qualidade da água bruta em questão, com o fim de torná-la potável, ou seja, para que atenda aos requisitos mínimos necessários para ser própria ao consumo (DI PERNARDO, 1993).

O tratamento da água pode ser feito para atender diversas finalidades (AZEVEDO NETTO, 1987):

1. Higiênicas – Remoção de bactérias, protozoários, vírus e outros microrganismos, de substâncias venenosas ou nocivas, redução do excesso de impurezas e dos teores elevados de compostos orgânicos.
2. Estéticas – Correção de cor, odor e sabor.
3. Econômicas – Redução de corrosividade, dureza, cor, turbidez, ferro, manganês, odor e sabor.

Definir a tecnologia apropriada não é uma tarefa tão simples, de acordo com estudos do Fundo das Nações Unidas para a Infância - UNICEF (1978) a tecnologia apropriada é aquela que reúna as seguintes propriedades:

- Higiênicamente segura
- Técnica e cientificamente satisfatória
- Social e culturalmente aceitável
- Inócua ao ambiente
- Economicamente viável

Mas, para definir qual a melhor técnica que deve ser empregada no processo de tratamento outras questões, além da tecnologia, também devem ser observadas como (DI BERNARDO, 1993):

- Condições socioeconômicas da comunidade;
- Posição geográfica que ocupa;
- Capacidade da estação de tratamento;
- Disponibilidade de recursos próprios;
- Existência de pessoal qualificado para construção, operação e manutenção;
- Disponibilidade de materiais de construção e de produtos químicos;
- Padrão de potabilidade.

Existem diversas técnicas de tratamento de água para abastecimento público, destacando-se no Brasil aquelas denominadas de tratamento convencional ou de ciclo completo, e a filtração direta, embora outras como a filtração lenta, a flotação e a filtração em membranas também sejam empregadas, mas em um número ainda relativamente pequeno em uma Estação de Tratamento de água - ETA (PÁDUA, 2006).

As etapas para o tratamento por serem diversas, a mais consagrada na maioria das situações no Brasil para o tratamento de águas superficiais inclui as seguintes etapas (PÁDUA, 2006):

- Clarificação, destinada a remover sólidos presentes na água;
Esta etapa ocorre nos decantadores, flotores e filtros;
- Desinfecção, destinada a inativar microrganismos patogênicos;
- Fluoretação, para prevenção da cárie dentária infantil;
- Estabilização química, para controle de corrosão e da incrustação da água nas tubulações, concreto e etc.

As técnicas de tratamento para Di Bernardo (1993) podem ser divididas entre aquelas que são utilizadas a coagulação química e as que prescindem desse processo.

Tecnologias de tratamento SEM coagulação química

1. Filtração dinâmica
2. Pré-filtração
3. Filtração lenta

Tecnologias de tratamento COM coagulação química

1. Filtração direta ascendente

Essa tecnologia, que data do século XIX, descoberta na Escócia e amplamente utilizada na antiga União Soviética, foi introduzida no Brasil em fins da década de 1970 pelo Eng. Bernardo Grimplasht, da antiga Fundação SESP, tendo posteriormente, recebido atenção especial por parte do prof. Azevedo Netto. Entretanto, somente a partir da década de 1970, é que esta tecnologia foi devidamente pesquisada, tendo sido aprimorada e utilizada em muitas comunidades de diferentes regiões do Brasil, estimando-se, até então, cerca de 300 sistemas de abastecimento pela filtração direta ascendente (DI BERNARDO, 1993. v1. p. 59.).

2. Filtração direta descendente

A partir do início da década de 1970, a filtração direta descendente passou a merecer atenção especial de pesquisadores e projetistas, tendo-se notícia, na época, da existência de sistemas de grande e médio porte em funcionamento, localizados em cidades próximas à região dos grandes lagos nos Estados Unidos e Canadá. No Brasil também era possível ser encontrado em várias partes do país. E por envolver diversas variáveis de projeto e operação e depender consideravelmente da qualidade da água bruta, a viabilização e otimização de um sistema de filtração direta descendente requer, quase sempre a realização de pesquisas experimentais em escala piloto para a obtenção dos parâmetros de projeto e operação (DI BERNARDO, 1993. v1. p. 62.).

3. Tratamento completo

Geralmente, quando a qualidade da água bruta não atender o sugerido para as tecnologias anteriores, o tratamento deverá ser do tipo completo, devendo ser submetida à coagulação, floculação, decantação e filtração antes do condicionamento final para posterior distribuição (DI BERNARDO, 1993. v1. p. 64.).

A qualidade da água bruta é um dos principais fatores que devem ser considerados na definição da técnica de tratamento, sendo importante também considerar a variação sazonal das suas características e não apenas valores pontuais e restritos a uma determinada época do ano.

Um dos erros mais comuns no projeto de estações de tratamento (com a escolha da técnica) tem sido o desconhecimento da qualidade da água bruta. Sabe-se a qualidade que se deseja obter, mas se desconhecem as características da água a ser tratada (AZEVEDO NETTO, 1987).

Toda técnica de tratamento possui seu limite de aplicação, e o desconhecimento desse limite pode induzir a erros expressivos. Por isso cada técnica de tratamento deve ser apropriada à água do manancial, no qual a escolha é possível através de investigações em laboratório e em instalações-piloto. Porém o que não há limite é na quantidade de técnicas que podem ser utilizadas, pois cada uma possui suas vantagens e desvantagens.

O objetivo primordial de cada uma das técnicas é o de assegurar a potabilidade da água distribuída à população. Contudo, é importante buscar alternativas de baixo custo que

atendam a esse objetivo, para viabilizar a universalização do acesso à água em quantidade e com qualidade necessária para satisfazer os fins a que se destina (PÁDUA, 2006).

A partir das duas últimas décadas do século XX algumas mudanças para o planejamento e gerenciamento de pequenos suprimentos de água em comunidades aconteceram. A participação comunitária em projetos de saneamento veio sendo mais atuante gerando maior interação com os setores governamentais. Pois o Estado também possui esse papel de motivador, facilitador e apoiador de programas liderados pela própria comunidade (HUISMAN, 1981).

O objetivo de uma estação de tratamento de água é o de garantir que a qualidade da água destinada ao abastecimento humano esteja de acordo com as normas estabelecidas pela portaria do Ministério da Saúde referente aos procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água e seu padrão de potabilidade para consumo humano (*Portaria, nº 2914, de 12 de dezembro de 2011*).

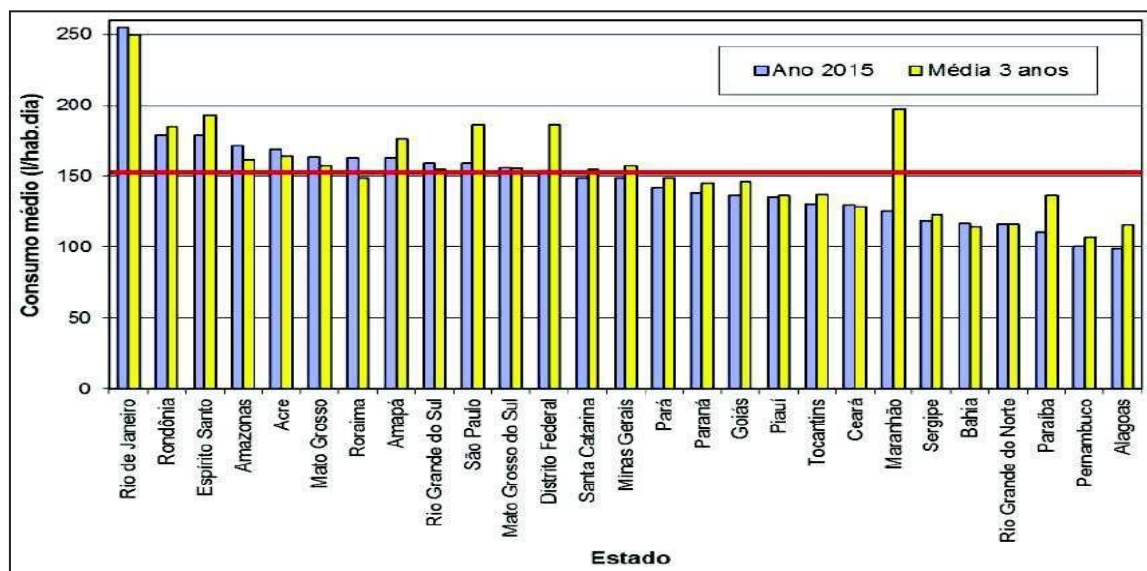
No entanto, famílias que residem em comunidades difusas, como as que residem no Assentamento 25 de Maio, não possuem esse sistema de tratamento, o que deveria ser o ideal. Assim, alternativas vem sendo estudadas através de tecnologias e técnicas que valorizem os recursos naturais locais, assegurando a manutenção do equilíbrio ecológico, considerando o contexto cultural e as forças produtivas disponíveis. A Fossa Verde (PINHEIRO, 2011; COELHO, 2013; DE ARAÚJO, *et al.* 2016) e as Cisternas de Placa (SILANS, 2002), são exemplos desse propósito de garantir uma melhor qualidade de vida e conforto a essas famílias, além de propiciar a real convivência com o semiárido.

O projeto de uma miniestação de tratamento unidomiciliar de água visa o tratamento da água de forma eficaz para o consumo diário de uma família em escala doméstica. Com isso, a busca por soluções viáveis para os sistemas de água, primeiro requerem a identificação da demanda de água da população a ser atendida, ou das vazões a serem coletadas e tratadas. Conforme Libânio *et. al.* (2006), o consumo per capita de água pode variar de acordo com o nível socioeconômico da população, hábitos culturais, clima e, sobretudo, com a disponibilidade e acesso à água.

Apesar da ampla faixa de variação, dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento - SNIS apontam que o consumo per capita médio para as cidades brasileiras no ano de 2015 foi de 154 L.hab⁻¹.dia⁻¹, no Nordeste foi 116,1 L.hab⁻¹.dia⁻¹ e no Ceará foi de 130,2 L.hab⁻¹.dia⁻¹ (BRASIL, 2017).

Como pode ser observado na Figura 3, o consumo médio *per capita* dos prestadores de serviços participantes do SNIS, para os Estados integrantes da Região Nordeste, referente ao ano de 2015, todos estiveram a baixo da média nacional.

Figura 3: Consumo médio per capita dos prestadores de serviços participantes do SNIS, em 2015 e na média dos últimos 3 anos.



Fonte: Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento - SNIS.

Já para a população desprovida de ligações domiciliares, esse valor é geralmente reduzido, em torno de 30 a 50 L.hab⁻¹.dia⁻¹ (ANA, 2012; BRASIL, 2006).

Esse indicador é uma informação importante para as projeções de demanda, para o dimensionamento de sistemas e água e de esgotos, e para o controle operacional (BRASIL, 2017).

Em estudo de campo no Assentamento 25 de Maio, Coelho (2011) identificou o consumo médio das famílias que residem na comunidade entre aqueles que possuem instalação de rede de abastecimento e aqueles no qual a casa é desprovida de água encanada. Esse conhecimento é fundamental para o dimensionamento das instalações de saneamento e para o controle operacional. Entende-se por consumo per capita, a média diária, por indivíduo, dos volumes utilizados para satisfazer aos consumos domésticos, comerciais, públicos e industriais.

Nas residências onde a casa era interligada à rede de abastecimento de água, o consumo médio foi de 52 L.hab⁻¹.dia⁻¹, e nas casas sem encanamento o consumo doméstico foi de 33 L.hab⁻¹.dia⁻¹(COELHO, 2011).

Em seguida, a escolha do manancial também constitui decisão de suma importância e responsabilidade em um projeto de tratamento de água. Dos doze açudes que compõem o sistema hidrográfico no Assentamento 25 de Maio, onze são de pequeno e um de médio porte. O açude Quietto, também popularmente conhecido como Marengo, com capacidade volumétrica de 15,3 hm³ (SILVA *et al.*, 2015)

Segundo Azevedo Netto (1987),

Os mananciais próximos, mais caudalosos, capazes de atender á demanda por tempo maior e os mananciais com água de melhor qualidade e menos sujeitos à poluição apresentam condições ponderáveis no cotejo de soluções.

Localizado na parte central do Assentamento 25de Maio, o açude Quietto abastece três das treze comunidades do assentamento por rede de distribuição de água. No entanto, atualmente por falta de manutenção e com o período prolongado de estiagem, o sistema de distribuição está inoperante.

O açude Quietto foi escolhido por ser o maior reservatório do assentamento, e por apresentar menor possibilidade de secar em comparação com os demais açudes de pequeno porte. Ainda assim, o açude, objeto do estudo, durante as coletas que foram realizadas no segundo semestre de 2016, teve sua lâmina d'água constantemente reduzida pela falta de reposição de água das chuvas.

Segundo Freire (2017),

Em virtude da redução no nível de água, aliado ao intenso acesso dos animais, o açude Quietto apresenta forte concentração de sólidos suspensos. O que pode influenciar diretamente o aumento da turbidez, limitando a penetração de luz e, em consequência, a fotossíntese.

Estudos realizados pelo Grupo de Pesquisa Hidrosedimentológica do Semiárido – HIDROSED da Universidade Federal do Ceará – UFC, demonstram como o conhecimento do estado trófico de um recurso hídrico é importante, pois ele pode ser utilizado para definir tanto o uso preponderante da água, como também ser uma variável vital para gestão dos recursos hídricos. De acordo com o trabalho de Wiegand *et al.* (2016) sobre vulnerabilidade à eutrofização, o açude Quietto mostrou melhor classificação trófica para o período entre 2011 e 2013, utilizando o índice modificado por Toledo Jr. *et al.* (1983), sendo classificado como mesotrófico, no período seco e eutrófico, no período chuvoso.

Freire (2017), a partir da classificação de Lamparelli (WATANABE *et al.*, 2015), também fez a classificação do estado trófico do açude Quietto entre os meses de junho de 2015 e março de 2016, no qual ficou caracterizado nesse período como hipereutrófico.

Outras considerações sobre o açude Quieto podem ser feitas como concentrações de clorofila-a altas e de fósforo acima do limite aceitável para a classe II de acordo com o enquadramento dos corpos d'água normatizados pela Resolução CONAMA 357/05. Com um nível muito baixo da coluna d'água e a intensa presença de animais dentro do açude isso também pode contribuir para o aumento de matéria orgânica, que ao ser concentrada e aliada às altas temperaturas, pode contribuir para o aumento da produtividade primária do fitoplâncton enquanto o oxigênio dissolvido está sendo consumido. De modo geral, a alta concentração de clorofila-a pode estar associada ao horário em que as coletas foram realizadas, entre 12 e 14 horas, quando há intensa radiação solar e altas temperaturas, favorecendo a atividade fotossintética que acelera o metabolismo e causando aumento na produção de clorofila-a (RODRIGUES *et al.*, 2005; MORETTO *et al.* 2013; VIDAL e CAPELO NETO, 2014).

Após o conhecimento sobre a configuração atual do corpo hidrico referente à sua qualidade e de ter definido quais parâmetros serão mais adequados para caracterizar a condição da água desejada, é imprescindível identificar quais técnicas serão apropriadas para o tratamento.

Entre os principais processos de purificação, tem-se (AZEVEDO NETTO, 1987):

1. Aeração
- 2. Sedimentação ou decantação**
- 3. Coagulação**
- 4. Filtração**
5. Tratamento por contato
6. Correção de dureza
- 7. Desinfecção**
8. Sabor e odor
9. Controle da corrosão

Para o procedimento piloto de tratamento da água do açude Quieto, foram estudadas durante a pesquisa duas técnicas: a primeira foi a clarificação, referente à coagulação, floculação, sedimentação/decantação e filtração, e a segunda sendo a desinfecção.

Clarificação: Neste processo, que é compreendido pelas operações unitárias de coagulação, floculação, decantação e filtração, os parâmetros turbidez e cor da água são reduzidos através da remoção de partículas em suspensão, coloidais e dissolvidos com a

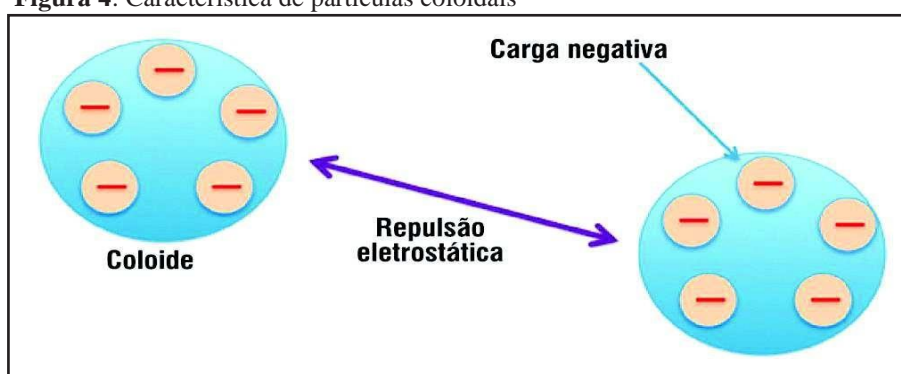
finalidade de atender os padrões de potabilidade. (HELLER e PÁDUA, 2006; MACEDO, 2007). O processo de clarificação de água consiste na manutenção de condições físico-químicas tais que sólidos suspensos na água são removidos por uma sedimentação, sendo necessário trabalhar em conjunto com as cargas de partículas para se obter um resultado da sedimentação satisfatório. Para clarificar a água é necessário neutralizar as cargas negativas das partículas em suspensão e promover a aglutinação das partículas para aumentar o tamanho (MACEDO 2007).

Coagulação: Com a *coagulação* é possível remover as partículas em suspensão formando partículas floculentas dotadas de grande capacidade de adsorção¹. Segundo Campos e Povinelli (1987), o termo “coagular” provém do latim *coagulare*, que significa juntar, e a sua finalidade é transformar impurezas que se encontram em suspensão fina, (estado coloidal ou solução), como bactérias, protozoários e/ou plâncton, em partículas maiores (flocos), para que possam ser removidas com maior facilidade.

O coagulante ao entrar em contato com a água se dissocia quase que instantaneamente, promovendo reações de hidrólise e de polimerização. O resultado é a formação de determinados compostos que, juntamente com as impurezas presentes, irão constituir os flocos que serão removidos nas unidades de decantação e filtração. (PARLATORE, 1987)

A utilização dos coagulantes é necessária já que a carga dos colóides, na maioria das vezes, é negativa, no qual produzem uma força de repulsão entre os colóides vizinhos que é a força eletrostática, como pode se observa na Figura 4.

Figura 4: Característica de partículas coloidais

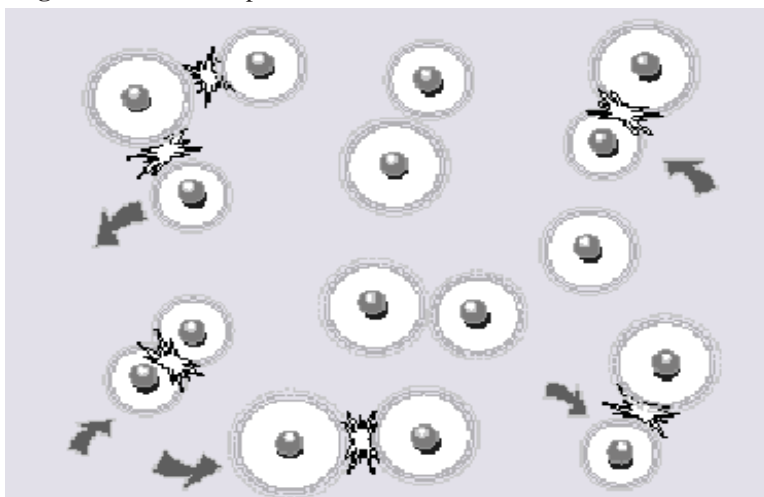


Fonte: Stoukov, 2015.

¹ A adsorção é um fenômeno que envolve processos mais utilizados para remoção de compostos poluentes em efluentes, sendo bastante eficaz em soluções líquidas. Dependendo da interação entre adsorvato e adsorvente, a adsorção pode ser química ou física. Na química ocorre troca de elétrons, formam-se ligações relativamente fortes entre o sólido e a molécula adsorvida, que dependendo pode ser irreversível. Já na física é causada por forças que envolvem as moléculas, através de dipolos permanentes ou induzidos ocasionando uma atração superficial chamada de atração de Vander Walls, no qual o processo é reversível, pois preserva a identidade das espécies envolvidas. (ALMEIDA, I. L. S. *Avaliação da capacidade de adsorção da torta de Moringa oleifera para BTEX em amostras aquosas*. 2010. p. 70).

Se a carga da superfície for relativamente alta, os colóides vizinhos vão se repelindo e tendem a manter sua individualidade devido à força eletrostática como se observa na Figura 5. Assim, os colóides altamente carregados tendem a permanecer em suspensão, já os com pouca ou nenhuma carga possuem pouca resistência, e a tendência natural é a de se agregarem devido à força de van der Waals como se observa na Figura 6.

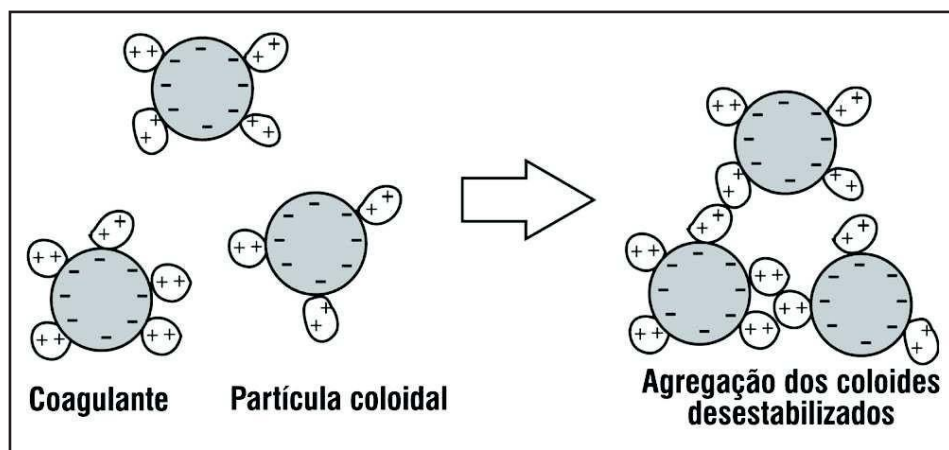
Figura 5: Colisão de partículas



Fonte: BrasEq.

Disponível em: <http://braseq.blogspot.com.br/2011/06/>

Figura 6: Força de Van der Waals



Fonte: Sasaki, 2015.

O efeito causado pela diferença de tensão elétrica entre a superfície de cada colóide e sua suspensão líquida é chamado de Potencial Zeta (PAVANELLI, 2001).

As partículas dispersas que apresentam potencial zeta da ordem de -30mV , ou maior negativamente, têm estabilidade crescente com o valor do potencial. Porém, nota-se tendência de aglomeração à medida que o potencial zeta atinge -10mV . Os melhores resultados são conseguidos quando o potencial zeta se aproxima de zero. Assim sendo, coagular significa reduzir o potencial Zeta a valores que permitam a posterior

aglomeração de partículas possibilitando a produção de flocos, através da floculação. Por isso a importância da estabilidade dos colóides no tratamento de água (CAMPOS e POVINELLI, 1987).

Sendo que os coagulantes catiônicos são adicionados justamente para neutralizar as cargas negativas dos colóides, diminuindo os potenciais repulsivos entre os mesmos, ou seja, diminuindo o seu potencial zeta para atingir o ponto isoelétrico², e favorecer os potenciais atrativos de van der Waals.

Floculação. Após a desestabilização promovida pela coagulação das partículas, tem-se o processo de floculação (ARANTES, 2010). É um processo fundamentalmente físico e consiste no transporte das espécies hidrolisadas, para que haja contato com as impurezas presentes na água, formando as partículas maiores denominadas flocos. É um processo rápido e depende essencialmente do pH, da temperatura e da quantidade de impureza. Nesta etapa há a necessidade de agitação para que ocorram choques entre as partículas (DI BERNARDO, 1993).

A floculação representa uma operação unitária por meio da qual se realiza a operação necessária para produzir a floculação. Trata-se de uma operação de agitação, muito mais suave que no caso da mistura de reagentes, que pode ser realizada usando-se energia hidráulica, mecânica ou de outro tipo (PARLATORE, 1987).

Em função do mecanismo de transporte para a formação dos flocos, as colisões entre partículas podem acontecer de três formas (CEPIS, 1981; PARLATORE, 1987; RICHTER e AZEVEDO NETTO, 1991; MENDES, 2008):

1. O primeiro decorre da ação do movimento browniano³ e gravidade, que faz com que as partículas, ao caírem, se choquem e se aglomerem. A floculação, neste caso, recebe o nome de FLOCULAÇÃO PERICINÉTICA, sendo pouco eficaz, necessitando de muito tempo para ser concluída.
2. O segundo tipo de colisão é o causado pela aplicação de energia externa e dá lugar à chamada FLOCULAÇÃO ORTOCINÉTICA. Este é o tipo de floculação que tem importância em tratamento de água.

² Quando o potencial zeta (P.Z.) é reduzido a valores bastante baixos para que a repulsão entre as partículas não represente oposição ao encontro das mesmas, diz-se que se atingiu o ponto isoelétrico (CAMPOS e POVINELLI, 1987).

³ Brown (1828) quando estudava sobre suspensões de partículas, observou que isso acontecia devido ao bombardeamento das partículas dispersas pelas moléculas da fase dispersante. Este bombardeamento é constante, pois a agitação da fase dispersante sempre existe, provocando um movimento desordenado das partículas, denominado *Movimento Browniano*, sob cuja ação, as partículas se mantêm em suspensão, não sedimentando.

3. Por fim, os flocos em diferentes velocidades de sedimentação podem se chocar proporcionando a agregação em flocos maiores, o que é conhecido por **SEDIMENTAÇÃO DIFERENCIADA**.

Sedimentação e decantação: Segundo Di Bernardo (1993),

é um fenômeno físico natural e corresponde a etapa de deposição das impurezas, aglutinadas em flocos no processo nas etapas anteriores do tratamento da água (coagulação e floculação), devido a ação da força gravitacional.

O processo de sedimentação é a operação de separação sólido-líquido baseada na diferença entre as concentrações das fases presentes na suspensão que está sujeita à ação do campo gravitacional. Para que ocorra o processo da sedimentação, leva-se em conta a natureza granulométrica das partículas, onde a esfericidade e o diâmetro aumentados promovem a aglomeração da fase particulada por meio da técnica da coagulação que reduz o potencial zeta permitindo que ela se aglutine na etapa de floculação formando aglomerados (CREMASCO, 2012; RITTER, 2013).

A sedimentação é um dos processos mais comumente adotados no tratamento de água para remoção de partículas sólidas em suspensão, no entanto, determinadas partículas com tamanho reduzido ou com densidade muito próxima a da água podem não ser removidas por sedimentação, sendo removidas na etapa seguinte referente à filtração (ARANTES, 2010).

Nessa etapa do processo a sedimentação/decantação pode ser classificada de acordo com a concentração e a tendência de como as partículas interagirem, podendo ocorrer de duas formas (CEPIS, 1981; MENDES, 2008):

- Sedimentação discreta: durante esse processo as partículas não têm sua densidade, tamanho e formato alterados. As partículas são independentes umas das outras, decantando como entidades individuais sem a interação com partículas vizinhas e com velocidade de sedimentação constante.
- Sedimentação floculenta: considera que este fenômeno seja o mais completo para descrever a sedimentação, pois a velocidade de sedimentação das partículas não é constante, e vai aumentando com o tempo devido à ampliação do tamanho das partículas.

Filtração: De acordo com a Organização Mundial da Saúde – OMS (2004), a filtração consiste na remoção de partículas suspensas e coloidais presentes na água, e até mesmo parte da carga bacteriana que escoam através de um meio poroso. Esta etapa pode

envolver fenômenos físicos, químicos e, às vezes, biológicos (MACEDO, 2007). No processo de filtração, ocorre a separação mecânica entre a fase particulada e fluida de uma suspensão, utilizando o meio poroso (filtro) que retém a fase particulada e é permeável à fase líquida (fluida) que, ao ultrapassar o filtro passa a ser chamado de filtrado (CREMASCO, 2012; RORATO, 2013). A importância da filtração no tratamento de água consiste no fato de que esta é a última etapa de clarificação que garante a qualidade adequada da água (DI BERNARDO, 1993). Em linhas gerais, nessa etapa do processo, o tratamento pode ser realizado de duas formas: a primeira se baseia na filtração rápida e a segunda na que se baseia na filtração lenta.

- A *filtração rápida* é um processo fundamental para a clarificação de grandes volumes de água previamente sedimentada.
- Já a *filtração lenta* é um processo de tratamento que através da passagem da água por meio granular, geralmente areia, possibilita a melhoria de suas características químicas, físicas e bacteriológicas.

Referente ao processo de filtração lenta, ele apresenta algumas vantagens sobre outras tecnologias por ser um sistema de tratamento de água bastante viável para as condições brasileiras, principalmente em regiões rurais afastadas dos grandes centros urbanos, por ser um sistema de concepção e operação simples e que exige pouco investimento para sua implantação (CONCEIÇÃO, 2002).

Desinfecção: Até que a teoria sobre os microrganismos causadores de doenças fosse estabelecida, em meados de 1880, acreditava-se que os odores eram os meios pelos quais as doenças eram transmitidas. Portanto, na tentativa de se controlar os odores é que surgiu a desinfecção, tanto da água como dos esgotos (ROSSIN, 1987). Com isso, a desinfecção da água implica na destruição de organismos causadores de doenças e de outros de origem fecal, mas não é necessariamente a destruição completa de formas vivas. Ou seja, nessa etapa do processo, o que há é a destruição ou inativação de organismos patogênicos capazes de produzir doenças, ou de outros organismos indesejáveis.

Ainda de acordo com Pádua (2006),

a desinfecção na água tem o objetivo de corrigir e prevenir. Este modo busca eliminar os organismos patogênicos que possam estar presentes na água. Para isso, é mantido um desinfetante na água fornecida à população, para prevenir algum tipo de contaminação posterior.

Essa destruição ou inativação de microrganismo não ocorre de forma instantânea e sim de maneira gradativa, na maioria das operações de desinfecção. A utilização dessa técnica pode ser realizada por meio de dois tipos de agentes: o físico e o químico. Dentre os agentes físicos temos como exemplo a luz solar, o calor e a radiação ultravioleta. Já os agentes químicos, estes englobam o ozônio e peróxido de hidrogênio, permanganato de potássio, ácido peracético, iodo, íons metálicos, ferratos, processos oxidativos avançados, dióxido de cloro, derivados clorados (orgânicos e inorgânicos) e bromo (MACEDO, 2007).

2.4 Coagulação

A coagulação é um processo que desestabiliza partículas coloidais em um sistema aquoso, facilitando a remoção dessas partículas em etapas subsequentes de tratamento.

A coagulação, geralmente realizada com sais de alumínio e ferro, resulta de dois fenômenos: o primeiro, essencialmente químico, consiste nas reações do coagulante com a água e na formação de espécies hidrolisadas com carga positiva. O segundo, fundamentalmente físico, consiste no transporte das espécies hidrolisadas para que haja contato com as impurezas presentes na água (DI BERNARDO, 2005).

As partículas coloidais, presentes na água a ser tratada, possuem carga negativa em sua superfície, o que impede a aproximação delas em condições naturais, por isso é preciso que sejam alteradas algumas características da água e das impurezas presentes no meio, para que haja agregação dessas partículas, e ocorra o processo de coagulação, floculação e sedimentação. Isso é possível mediante a introdução de um coagulante que passa a promover a agregação dessas partículas devido à diferença de cargas (SILVA, 2012).

De acordo com Manfrini (1987), muitas características das águas, consideradas inconvenientes, podem ser removidas pelo uso de produtos químicos, cuja ação se faz sentir de diversas maneiras. Alguns produtos são utilizados para reagir entre si, ou reagir com a água e com compostos presentes na água a ser tratada, formando um novo produto capaz de promover a remoção pretendida. O sulfato de alumínio, por exemplo, reagindo com a alcalinidade produz hidróxido de alumínio.

No entanto, visando a redução do consumo de coagulantes à base de alumínio, ou de qualquer outro tipo de coagulante químico, alguns trabalhos têm indicado a viabilidade do uso de coagulantes, (SULEYMAN *et al.*, 1994; NDABIGENGESERE *et al.*, 1995; GERDES, 1996; BORBA, 2001; RAMOS, 2005; GALLÃO, 2006; KATAYON *et al.*, 2006; CARDOSO, *et al.*, 2008; FRANCISCO, *et al.*, 2010; ARANTES *et al.*, 2010; FERREIRA, *et al.*, 2011; SILVA, 2012) constituídos à base de polissacarídeos, proteínas e, principalmente, os amidos,

dentre os quais tem se destacado: o pó da semente da *Moringa oleifera*, a farinha de mandioca, araruta e fécula de batata, melhorando a eficiência de processos físicos de remoção de sólidos suspensos da água (DI BERNARDO, 2005).

O uso de coagulantes naturais de origem vegetal para clarificação de águas turvas e coloridas, quando possível, é de grande significação ecológica e ambiental, considerando que a presença das plantas sempre contribui com a ecologia, o embelezamento e a melhoria do ambiente, tornando o meio mais agradável e ainda produzindo oxigênio molecular, indispensável à respiração dos seres vivos (BORBA, 2001).

Em diferentes países, plantas nativas estão sendo utilizadas para a obtenção de coagulantes naturais (SILVA, 2012). Particularmente, a espécie *Moringa oleifera* destaca-se como uma das mais promissoras fontes de coagulante natural com o objetivo de eliminar as partículas presentes na água.

A *Moringa oleifera* é uma planta da família Moringácea e em alguns lugares do nordeste brasileiro ela é conhecida como “Lírio-Branco” e “Quiabo de Quina” (PIO CÔRREA, 1984). Por causa das suas múltiplas utilizações, há quem também a conheça como “árvore milagrosa”. Segundo Delduque (2000), elas são plantas arbóreas de crescimento rápido, caducifólias, com casca de cor clara que podem atingir até 10 metros de altura. O seu fruto seco, capsular, de seção triangular se abre em três valvas e cada semente possui três asas.

É uma espécie adaptada às condições áridas e semiáridas, de uso diversificado com especial destaque na ornamentação de parques e jardins, na alimentação animal, na complementação alimentar humana e na medicinal.

A difusão da *Moringa oleifera* está ligada aos impérios colonialistas do século XIX, no qual os funcionários ingleses levaram a semente da Índia para a África do leste, principalmente no Sudão. Inicialmente, o uso desta árvore era principalmente ornamental, porém, com a descoberta das propriedades do óleo contido nas sementes foi agregado a esta árvore um valor comercial e, conseqüentemente uma difusão mais ativa por parte dos ingleses, franceses e holandeses. No final do século XIX ela foi introduzida na América Central, e, no Brasil, limitando-se ainda a objetivos de ornamentação nos parques públicos (BRANDÃO JOLY, 1977).

A árvore é originária da Índia, mas com sua forte difusão pelo mundo, são conhecidas 14 espécies, sendo nove originárias da África, duas de Madagascar, uma da

Arábia e duas da Índia (TREES FOR LIFE, 2003). Dessas 14 espécies, o efeito coagulante foi possível ser demonstrado em seis espécies, porém, somente duas foram objetos de pesquisas mais intensas: a *Moringa oleifera* Lam, originária da região noroeste da Índia que está difundida em muitos países tropicais e a *Moringa stenopetala* originária da Etiópia (AL AZHARIA JAHN, 1998).

A semente da planta *Moringa oleifera* é um polímero natural que apresenta múltiplos usos, e um deles se destaca no tratamento de água. Atuando como agente clarificante natural alternativo aos sais de alumínio e ferro, esse coagulante natural elimina as partículas presentes na água.

O uso tradicional das sementes de *Moringa oleifera* para tratamento doméstico da água foi iniciado em áreas rurais do Sudão, onde as mulheres armazenam água do Rio Nilo em recipientes de barro e acrescentavam as sementes pulverizadas contidas em um saco de pano pequeno fixado por um fio (GERDES, 1997).

Por ser bastante viável para ser usado por moradores das pequenas comunidades rurais do Estado do Ceará no tratamento de água para o consumo diário de água, o objetivo desse processo de clarificação, através da coagulação com a moringa, é de fazer com que os colóides presentes na água precipitem sem usar produtos químicos.

Nas comunidades rurais do semi-árido brasileiro, os moradores geralmente consomem a água bruta, com contaminação microbiológica e turbidez muito acima dos “limites aceitáveis”. Isso porque além das comunidades se localizarem de forma difusa e distantes de rios e poços o tratamento das águas dos rios através de métodos convencionais como floculação, coagulação e sedimentação são inacessíveis, devido ao alto custo e a inviabilidade para obtenção dos reagentes químicos, como o sulfato de alumínio. Assim, a possibilidade de utilizar um coagulante natural, produzido no local e com baixo custo representa um grande potencial na luta contra os problemas ligados ao consumo de água não potável (PINTO, 2006).

Essa é uma forma de dispor alternativas sustentáveis e rentáveis a custo módico para as pessoas que moram em comunidades difusas reduzindo padrões qualitativos para o consumo de água, tanto do ponto de vista físico (turbidez alta) como da contaminação microbiológica.

Além desta propriedade de coagulação contida nas sementes, estas árvores de médio porte apresentam outras funções (farmacêutico, alimentar, melífera) valorizadas nos numerosos países tropicais onde este gênero está presente.

As sementes contêm entre 27 e 40% de óleo em sua composição, e essa propriedade permitiu o seu uso para mecanismo de precisão como dos relógios. A partir do século XIX foi usado também no Haiti como óleo de cozinha e em ingredientes na fabricação de sabão durante a primeira guerra mundial. Atualmente, se tem um uso na indústria de cosméticos para fixar substâncias (JAHAN, 1998). Segundo Folkard *et al.* (1986), seria possível extrair o

óleo da semente e depois utilizar o resíduo para coagulação, não reduzindo em nada a eficiência do princípio ativo. No Egito, há 3.000 anos, o óleo já era extraído das sementes e utilizado em perfumaria.

As folhas dessa planta contêm 27% de proteína, sendo ricas em vitamina A e C, cálcio, ferro e fósforo, os que as tornam interessante para a alimentação humana e/ou animal. Em vários países da África, a Moringa é uma planta comercial para a produção de folhas com destino ao consumo humano. Outras partes da árvore também são consumidas como as vagens verdes e às vezes as flores (THE MIRACLE TREE, 2003).

No Brasil, a pouquíssimo tempo, a espécie está sendo vista como alternativa alimentar estratégica, no qual em algumas escolas de regiões carentes estão sendo usadas suas folhas na merenda escolar. No instituto e Parma cultura na Bahia, em Salvador, tem-se usado a farinha das folhas secas para alimentar crianças em substituição á farinha de mandioca.

É também viável para usos farmacêuticos, se utilizando de várias partes da árvore, no qual foram trabalhados pelo CEMAT na Guatemala como anti-inflamatório e anti-espasmódico. Foram identificadas também substâncias antibióticas como a ptérygospermine e a espirochine (WOLFROM, 1993).

Dentro dos diferentes potenciais da Moringa, o mais promissor parece ser a função de coagulante primário. Pode-se imaginar duas zonas de difusão que significam estratégias diferentes: meio rural ou seja as comunidades rurais sem sistema de abastecimento d'água e o meio urbano.

2.5 Tecnologias sociais

A importância do desenvolvimento de tecnologias é que possam atender às demandas do semiárido. E registros de tecnologias para a captação de água podem ser encontrados desde a antiguidade, o que demonstra que não é recente a consciência da humanidade para o papel do fornecimento de água para o desenvolvimento humano. Essa tomada de consciência acabou resultando, em diferentes cenários históricos, a compreensão da importância desse bem tão precioso que é a água.

Segundo Silans (2002), tecnologias que geram um aumento das disponibilidades hídricas podem significar sobrevivência e melhoria da qualidade de vida para o homem do semiárido que enfrenta gravemente o problema de falta de água. E essas tecnologias ainda trazem ótimos resultados para todos os que dela se utilizam, pois, o acesso à água próximo de

suas residências geram mais tempo livre para que as pessoas possam participar da vida em comunidade e da organização política do município, por exemplo.

Tratar sobre tecnologias sociais significa abordar ações concretas, e os resultados alcançados por meio do trabalho de pessoas que resolveram problemas inspirados pela sabedoria e mobilização popular, além do apoio também de pesquisadores em algumas situações (MACIEL e FERNANDES, 2011).

Para compreender o conceito de Tecnologia Social – TS é importante entender o significado da palavra tecnologia como sendo um conjunto de conhecimentos, processos e métodos empregados em diversos ramos. De forma genérica, tecnologia pode ser definida como uma atividade socialmente organizada e baseada em planos e de caráter prático (BAUMGARTEN, 2006). Adicionando o termo social, temos que esse conjunto de conhecimentos, processos e métodos deva estar à disposição da sociedade, visando efetivação e expansão de direitos, assim, como o desenvolvimento social (MACIEL e FERNANDES, 2011).

A adesão do termo social à tecnologia traz a dimensão socioambiental e a construção de processos democráticos e o objetivo de solucionar as necessidades da população para a esfera do desenvolvimento tecnológico (ITS, 2007). Hoje sabemos que, para o bem de todos, as tecnologias têm que ser sustentáveis (MALVEZZI, 2007).

O marco analítico conceitual da vertente de concepção da tecnologia social na literatura ficou reportado como Tecnologia Apropriada - TA, cujo berço seria reconhecido na Índia no final do século XIX. No entanto, apesar de sofrer forte influência dos movimentos da tecnologia apropriada, acaba se diferenciando passando a ganhar força desde o final do século XX.

A tecnologia social se diferencia, sobretudo, por substituir o pensamento de que as populações, antes consideradas como demandantes de tecnologias, passam agora a serem atores diretos no processo e construção do desenvolvimento tecnológico, sem se limitar mais à recepção de tecnologias vindas de outros locais (ITS, 2007).

O foco agora é direcionado para a produção coletiva e não mercadológica, estando mais imbricada a realidades locais, de modo que pudesse gerar respostas mais adequadas aos problemas colocados em um determinado contexto (NOVAES e DIAS, 2009). A tecnologia social, então, está diretamente direcionada para a melhoria das condições de vida daqueles atores envolvidos.

Com a criação da Rede de Tecnologia Social – RTS, surge a possibilidade mais efetiva de transformar as tecnologias sociais em políticas públicas, no qual ela a define que são produtos, técnicas ou metodologias reaplicáveis, desenvolvidas em interação com a comunidade, devendo representar efetivas soluções de transformação social (RTS, 2007).

E é o que de fato acontece com a tecnologia social por propor inovações de desenvolvimento considerando uma abordagem construtivista na participação coletiva do processo de organização, desenvolvimento e implantação. Isso é possível pela disseminação de soluções para problemas voltados a demandas diversas como alimentação, educação, energia, habitação, renda, recursos hídricos, saúde, meio ambiente, dentre outras.

Segundo a Fundação Banco do Brasil (2017),

Tecnologia Social compreende produtos, técnicas ou metodologias reaplicáveis, desenvolvidas na interação com a comunidade e que representem efetivas soluções de transformação social.

No semiárido, a questão ambiental é determinante na formulação dessas tecnologias, no qual mais de quarenta tecnologias vêm sendo testadas e implantadas promovendo a permanência do homem no campo. O objetivo é ter o máximo de aproveitamento da água disponível e sua estocagem para os períodos de estiagem prolongada (MALVEZZI, 2007; COELHO 2011).

Um bom exemplo de tecnologia social é a cisterna de placa, que conta com a participação coletiva na sua construção, autofinanciamento por meio de fundos rotativos solidários além de atenuar os problemas de acesso a água de boa qualidade à população do semiárido.

Se tratando de cisternas, a Articulação do Semiárido Brasileiro – ASA, desenvolveu no ano de 2000 um programa que surge com a meta de construir um milhão de cisternas para atender a 5 milhões de pessoas, o Programa Um Milhão de Cisternas – P1MC. Cada cisterna de placa possui uma capacidade de armazenamento de 16mil litros de água para beber e cozinhar, sendo uma tecnologia simples, barata, de domínio das famílias agricultoras e que consegue, de fato, atender a população difusa da região. No entanto, esse projeto não deve ser visto como a solução de todos os problemas, mas a porta de entrada para a convivência.

A grande vantagem das cisternas é que elas estão ao lado das residências, oferecendo água de qualidade para consumo humano e evitando o maior problema do manejo da água no semiárido que é a evaporação (MALVEZZI, 2007).

Outro programa é o P1+2 - Programa Uma Terra e Duas Águas, sendo uma terra para plantar, a água para beber e a água para produção, no qual foi elaborado a partir de uma experiência chinesa que pôde ser adequada ao nosso semiárido.

A partir das cisternas de beber se formaram as redes de solidariedade nas comunidades e a água estocada pôde ser compartilhada por outras famílias até que todas tivessem sua própria cisterna. Assim, guardar a água em cisternas de produção, barragens subterrâneas, tanques de pedras, bombas d'água populares e em outras infraestruturas hídricas contribui também e muito para a soberania e segurança alimentar e nutricional das famílias, além de garantir água para a população que vive na região. De fato é um projeto econômico, ambiental e socialmente sustentável.

Além do déficit hídrico no Nordeste brasileiro, outra problemática é a falta de saneamento básico principalmente no meio rural. Uma alternativa encontrada com bastante êxito é a fossa verde, uma tecnologia social de baixo custo que reutiliza a água servida. A sua vantagem é que protege o solo, subsolo, lençol freático, corpos d'água e mananciais de possíveis poluentes e contaminantes, já que o seu efluente é utilizado como fertilizante (COELHO, 2013).

O sistema fossa verde é uma técnica que foi disseminada inicialmente no Estado do Ceará, no município de Icapuí, por intermédio do Projeto “De Olho na Água”, em caráter de divulgação enquanto tecnologia social sustentável (PINHEIRO, 2011). Estudos mais recentes, de cunho científico, tiveram o objetivo de estudar a viabilização e as adequações da tecnologia Fossa Verde para o semiárido nordestino, propondo um modelo participativo de saneamento rural, contemplando a manutenção da qualidade da água das fontes hídricas e o bem estar das populações envolvidas. A área de implantação foi o Assentamento 25 de Maio, no qual envolveu a comunidade em todas as etapas do processo, além de fornecer importantes elementos para a regulamentação técnica do sistema alternativo de esgotamento sanitário (FEITOSA, 2011; PINHEIRO, 2011; COELHO, 2013).

O sistema de saneamento rural Fossa Verde demonstrou ser uma tecnologia viável para o esgotamento sanitário em regiões semiáridas (PINHEIRO, 2011).

É importante saber que cada tecnologia possui sua importância, no qual uma não é melhor que a outra. O importante é que cada um desses sistemas seja bem alocado para que o uso possa acontecer de forma adequada. Por isso, é importante o diálogo com a comunidade

para que sejam propostos mecanismos de gerenciamento dos usos múltiplos das alternativas de abastecimento a partir das tecnologias disponíveis no local.

A capacitação e a ciência de zelo e cuidado é de suma importância para que o sistema possa atender àquela comunidade pelo máximo de tempo possível.

A desinfecção solar desde o fim da década de 1970 e início da década de 1980 vem sendo estudada em vários países da Europa, Ásia e América. No entanto, registros sobre a utilização da radiação solar para o tratamento de água na antiga Índia remontam a 2000 a.C (WHO, 2005). De acordo com Acra *et al.* (1984), no ano de 1877, em Londres, também já se documentava o efeito da luz solar sobre as bactérias e outros organismos.

Mesmo com o entendimento que o saneamento ambiental é de suma importância para o bem estar do homem e para a conservação dos recursos naturais, grande parcela da população mundial ainda não possui acesso aos serviços básicos de saneamento. Então, a tecnologia social SODIS – Solar Water Desinfection, técnica de desinfecção pelos raios solares, surge como uma tecnologia segura para o tratamento microbiológico da água, no qual o sistema é gerido e sustentado a partir de recursos locais a níveis baixos de custo (BOTTO, 2006).

A energia solar, considerada um recurso renovável ao lado de outras fontes, como eólica, hídrica, biomassa e geotérmica, possui um enorme potencial. Essa fonte energética pode ser utilizada de diversas maneiras (aquecimento e refrigeração de ambientes, aquecimento doméstico de água, piscinas, eletricidade, fornalhas solares e eletricidade térmica); e ainda possui uma importante vantagem de gerar mínimos problemas ambientais (HINRIGCHS e KLEINBACH, 2003).

Esse é um método apropriado para desinfetar quantidades pequenas de água com baixo valor de turvação, não ultrapassando a unidade de 30 uT, em garrafas de plástico transparente entre 1-2 litros, com exposição à plena luz solar sob a radiação no espectro da luz UV-A (comprimento de onda 320-400nm) e calor (aumento da temperatura da água) (MEIERHOFER e WEGELIN, 2002).

Para que se torne realmente eficiente o SODIS, a água estando a uma temperatura de cerca de 30°C, será exigida uma radiação solar de pelo menos 500 W/m²(todo o espectro de luz) durante aproximadamente 5 horas. Esta dosagem contém energia de 555 Wh/m² na gamade UV-A e luz violeta, 350nm-450nm, correspondendo a aproximadamente 6 horas de meia-latidade (europeia) solde verão de meio-dia (WEGELIN *et al.*, 1994)

A radiação eletromagnética emitida pelo sol pode ser classificada, de acordo com o comprimento de onda, em: raios gamas, raios-X, ultravioleta, visível e infravermelho, como mostra a Figura 7. Do total da radiação solar, 9% é ultravioleta, 40% se localiza na região

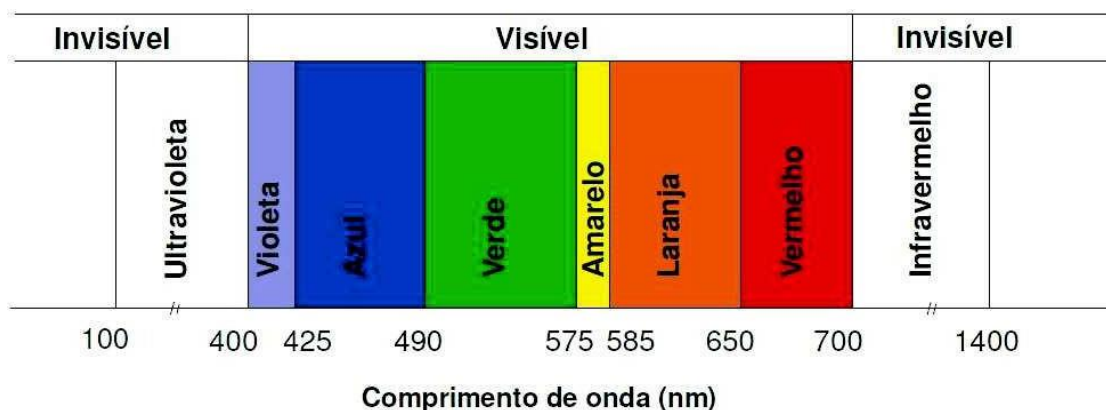
visível e aproximadamente 50% é infravermelha (HINRIGCHS; KLEINBACH, 2003). A radiação ultravioleta divide-se ainda em UV-A, UV-B e UV-C e a radiação visível em azul, verde, amarelo, laranja e vermelho, seguindo, respectivamente, esta ordem decrescente de comprimento de onda (BOTTO, 2006), apresentados na Figura 8.

Figura 7: Faixas espectrais de radiação solar.

Faixa	Comprimento de onda (nm)
Raios Gama	<0.03
Raios-X	0.03 - 3
Ultravioleta	
UV extrema	3 - 200
UV-C	200 - 280
UV-B	280 - 320
UV-A	320 - 400
Visível	400 - 700
Infravermelho	700 - 14000

Fonte: BOTTO, 2006; Adaptado de ACRA *et al.*, 1984.

Figura 8: Faixas da radiação solar visíveis



Fonte: BOTTO, 2006; Adaptado de ACRA *et al.*, 1984.

Em 1991, uma equipe interdisciplinar composta de engenheiros sanitários, fotoquímicos, bacteriologistas e virologistas da EAWAG/SANDEC elaborou um extenso teste de laboratório que foi dividido em três fases, como se observa no Quadro 01, para avaliar o

potencial do SODIS e desenvolver um método efetivo, sustentável e barato de tratamento de água. Com esse projeto de pesquisa foi possível responder os seguintes questionamentos:

Quadro 1: Esquema das atividades de pesquisa do SODIS

Fase	Questão	Atividade
1	A luz do sol pode ser usada para a desinfecção da água?	TESTES PRELIMINARES Abrangentes testes laboratoriais e de campo foram enviados para determinar o potencial e as limitações do processo.
2	Como deve ser projetadas e operadas as instalações para a desinfecção solar da água?	TESTES PRELIMINARES Testes de campo foram conduzidos para o desenvolvimento de equipamentos e manual de operação do método de tratamento de água. Foi usado material localmente encontrado como garrafas de vidro e de plástico e sacolas plásticas. Testes de campo foram realizados com as instituições locais na Colômbia, Jordânia e Tailândia.
3	A desinfecção solar da água tem aceitação sociocultural e é financeiramente de preço acessível?	TESTES PRELIMINARES Os projetos de demonstração foram conduzidos para o estudo de aceitação sociocultural e aspectos financeiros do SODIS. Parceiros locais na Colômbia, Bolívia, Burkina Faso, Togo, Indonésia, Tailândia e China conduziram os projetos.

Fonte: EAWAG/SANDEC, 2005.

A partir dos resultados, foi possível identificar o tempo ideal de 6 horas sob a eficiência do SODIS se o céu não tiver nuvens ou estiver no máximo 50% encoberto.

Em regra, para garantir a desinfecção da água, as garrafas precisam ser expostas ao sol de manhã até a tarde por pelo menos 6 horas. O ideal é que as garrafas sejam expostas durante todo o dia. Se o tempo de exposição for menor, há a possibilidade de que a desinfecção não seja completa. É importante saber que as garrafas precisam ser expostas ao sol durante as horas de maior intensidade solar, por volta do meio dia. Não é bastante a exposição das garrafas das 6 horas da manhã e retirá-las na hora do almoço. As garrafas precisam ser expostas das 9 horas da manhã até às 3 horas da tarde. Não há problema se as garrafas restantes ultrapassarem o tempo de exposição, como também se esquecê-las no telhado pela noite (MEIERHOFER e WEGELIN, 2002).

As principais vantagens dessa tecnologia social são:

- Melhora na qualidade microbiológica da água,
- Não muda o gosto da água,
- É aplicável a nível doméstico,
- É simples de aplicação,
- Conta com os recursos locais e energia renovável,
- É replicável com baixos custos de investimento.

Já as suas principais desvantagens são:

- Requer suficiente radiação solar. Assim, depende do tempo e das condições climáticas.
- Necessita de água clara.
- Não muda a qualidade química da água.
- Não é útil para tratar grandes volumes de água.

A vantagem do Estado do Ceará é que ele está localizado em uma área totalmente propícia para a desinfecção solar, já que os raios solares incidem com maior intensidade nas áreas intertropicais, além do fator climático, por ser uma região onde os períodos chuvosos são menos expressivos, conseqüentemente a incidência solar é forte em maior parte do ano.

No entanto, com esse período prolongado de estiagem que a região Nordeste perpassa, a qualidade e a quantidade de água dos reservatórios cearenses vieram de 2012 aos dias atuais decaindo de forma acentuada. Com isso, é comum os parâmetros organolépticos não estarem sendo mais aceitáveis pelos usuários, dificultando que a água tratada se encaixe nos padrões de potabilidade do Ministério da Saúde (Portaria nº 2914 de 2011).

Mesmo diante de alguns problemas, o método de desinfecção SODIS, por sua simplicidade e baixo custo, é considerado sustentável e habitualmente praticável em áreas carentes de saneamento adequado.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Caracterização da área de estudo

A área de estudo compreende o Assentamento 25 de Maio, distante aproximadamente 180 km de Fortaleza. A principal via de acesso da capital cearense até a sede do município de Madalena é através da BR 020 e da sede de Madalena até a entrada do assentamento, pela comunidade Paus Branco, é pela CE 265.

O Assentamento 25 de Maio surgiu no final da década de 1980 em um momento marcado por profunda crise econômica, pelo fim da ditadura militar (1964-1985) e pela volta da democracia nacional com a Constituição Federal de 1988, um marco na história da redemocratização para o país.

A década de 1980 foi extremamente forte para reorganização do movimento social no Brasil e importante para o desenvolvimento sociopolítico nacional, marcado pelo surgimento do Partido dos Trabalhadores – PT em 1980, da Central Única dos Trabalhadores – CUT em 1983, do Movimento dos Trabalhadores Rurais Sem Terra – MST em 1984, das Comunidades Eclesiais de Base – CEBs e de inúmeras entidades e partidos.

É nesse contexto, com o início da luta pela reforma agrária, que militantes e camponeses do Estado do Espírito Santo se deslocam para o Ceará, articulados com a Comissão Pastoral da Terra – CPT e com os Sindicatos de Quixeramobim, Quixadá, Canindé e Choró Limão, na região do Sertão Central, para se organizar em reuniões e mobilizar famílias sem terra destes municípios a realizarem a primeira ocupação de um latifúndio no Estado do Ceará (SIMPLÍCIO, 2011).

Fruto da luta de movimentos sociais, o assentamento 25 de Maio foi o primeiro latifúndio cearense a ser ocupado pelo MST, no ano de 1989, na data do dia 25 de maio. É um assentamento rural marcado pela história de luta pela terra, pelo direito a trabalho e qualidade de vida no campo. A ocupação que começou no ano de 1989, quando os trabalhadores rurais conquistaram a terra, hoje desbravam suas lutas por melhores condições de vida com direito a educação, trabalho e saúde (LIMA, 2014).

A Fazenda Reunidas São Joaquim, como até então era conhecida, pertencente a Wicar Parente de Paula, abrange uma área de 22.992 hectares, sendo o maior latifúndio ocupado no Brasil neste período, envolvendo os municípios de Madalena e Quixeramobim. O proprietário utilizava essas terras principalmente para a pecuária, no qual criava

aproximadamente 2.500 cabeças de gado bovino e cerca de 2.500 caprinos e ovinos, em regime extensivo. Em média havia 450 famílias para a ocupação e que eram oriundas dos municípios de Madalena, Quixadá, Quixeramobim, Canindé, Choró Limão e Itapiúna. Neste latifúndio residiam 82 famílias, somando um total de 512 pessoas, na condição de moradores, que se submetiam a todo tipo de exploração (SIMPLÍCIO, 2011; LIMA, 2014; SILVA, *et al.*, 2015).

Após a pressão exercida pelos trabalhadores, no dia 09 de junho de 1989, foi assinada a imissão de posse da terra, e o decreto de desapropriação nº. 92.875 em 30 de junho do mesmo ano. Esse projeto de assentamento por desapropriação do interesse social para fins de reforma agrária foi de responsabilidade do Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária – INCRA, órgão do Estado responsável pela desapropriação e legalização de assentamentos rurais.

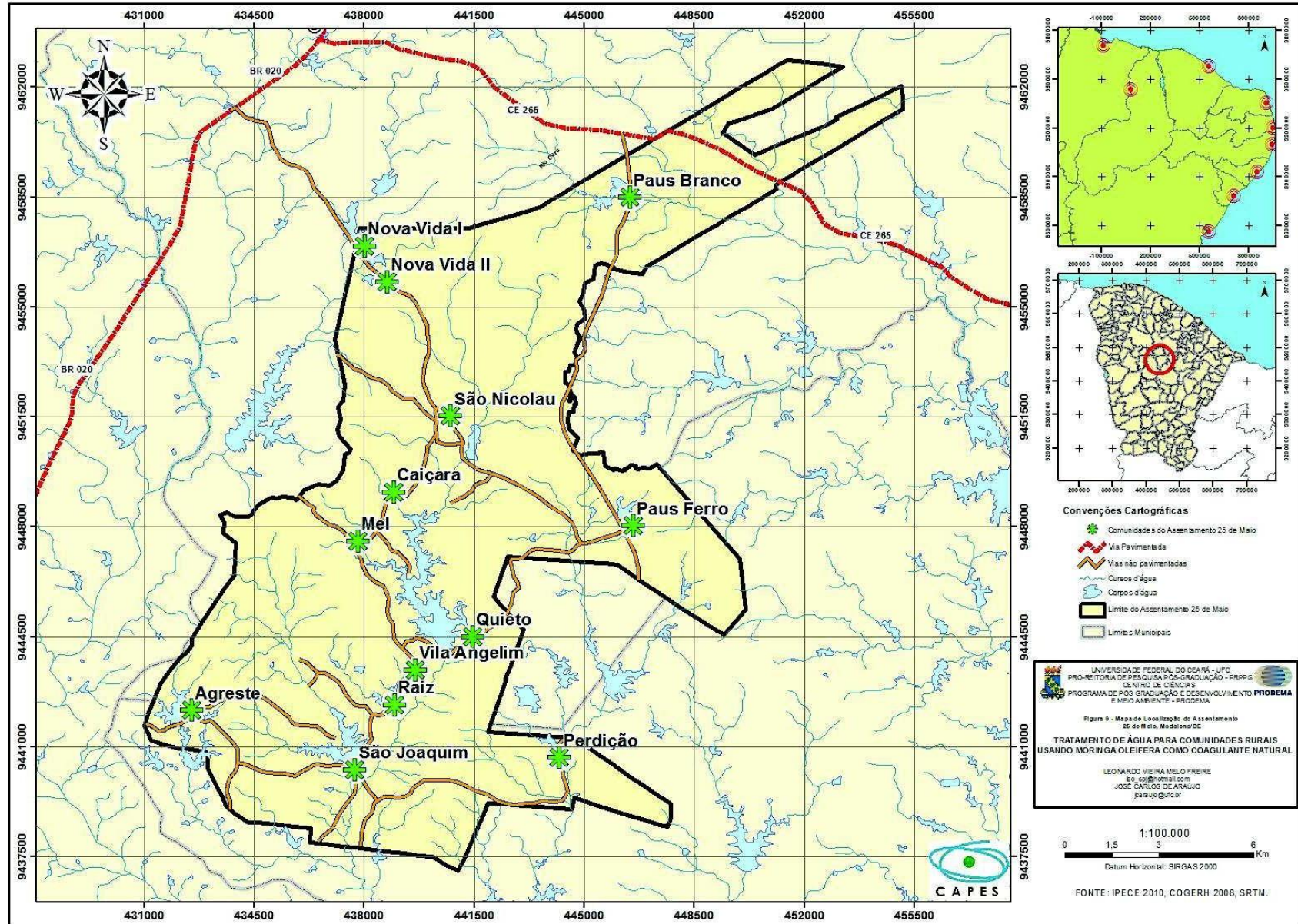
A utilização da vasta terra foi sendo, aos poucos, realizada. As famílias foram inicialmente para a localidade de Paus Branco e depois para Quieto, por conta do fácil acesso do primeiro e da disponibilidade hídrica do açude do segundo. Depois, formaram grupos para ocuparem as outras áreas que representavam cerca de 20 mil hectares de terra. Formaram-se vários grupos de 20 pessoas e, através de sorteio, as famílias se deslocaram para as diversas áreas do recém formado assentamento (SILVA, *et al.*, 2015).

O Assentamento 25 de Maio revela a importância da Reforma Agrária em nosso país como alternativa de enfrentamento das desigualdades sociais, pois, além do acesso dos camponeses à terra e ao trabalho, permite a ampliação de direitos sociais, que vão aos poucos alterando a realidade campesina (SILVA, *et al.*, 2015).

O assentamento contempla 586 famílias assentadas com uma população estimada, em 2010, de 1.715 pessoas. A taxa de crescimento populacional avaliada entre 1989 e 2010 foi de 1,5% ao ano (COELHO, 2011; SILVA, *et al.*, 2015). Sendo assim, com base na taxa de 1,5% ao ano, em 2017 a população será estimada em 1.895 pessoas.

Como pode ser observado na Figura 9, em termos de representação organizativa, o assentamento tem 13 comunidades representadas por 18 associações e uma cooperativa: Paus Branco, Paus Ferro, São Nicolau, Nova Vida I, Nova Vida II, Caiçara, Mel, Quieto, Vila Angelim, Raiz, São Joaquim, Perdição e Agreste.

Figura 9: Mapa de



Por algumas comunidades possuírem mais de uma associação, esse fato aponta uma realidade complexa, com diversidade de relações sociais e de formas de participação entre os moradores (DE ARAÚJO, ALMEIDA, FREITAS, 2011).

No assentamento a rede de drenagem local, de forma unânime, é intermitente, no entanto, é expressiva a disponibilidade hídrica em detrimento da existência dos 12 açudes responsáveis pela garantia hídrica de diversas atividades, sendo onze de pequeno porte (Paus Branco, Nova Vida II, São Nicolau, Paus Ferro, Logradouro, Mel, Raiz, São Joaquim, Perdição, Maracajá, Agreste) e um é de médio porte (Quieto). Entre as comunidades o acesso à água é diferenciado, pois somente cinco delas possuem sistema de abastecimento de água por rede de distribuição. Nas demais localidades da região, as famílias retiram água diretamente dos açudes, com o auxílio de animais, ou obtêm água proveniente de poços (COELHO, 2011). No tocante ao esgotamento sanitário, o diagnóstico realizado no local aponta que o destino das águas cinzas, efluente de chuveiro e pias, em 99% dos casos é o quintal. As águas negras (efluente do sanitário) em 2% dos domicílios são direcionadas para fossas sépticas, em 70% dos casos tem como destino final a fossa rudimentar e os 28% restantes lançam o esgoto do vaso sanitário no quintal, acarretando sérios problemas de saúde pública (PINHEIRO, 2011).

Com relação à fonte de renda das famílias assentadas, a principal atividade econômica da região é voltada para a agricultura com o cultivo em sequeiro de feijão e milho. A pesca artesanal é uma das fontes de alimento das famílias, seguida da criação de galinha caipira, suínos, ovinos, caprinos e bovinos (LIMA, 2014). Em termos pecuários, em 2010 havia 4.500 cabeças de gado bovino no assentamento (SILVA, *et al.*, 2015). A fruticultura também é uma alternativa, mas pouco explorada, devido à falta de irrigação. Em anos de chuvas irregulares os assentados sofrem muito e procuram os planos emergenciais do governo, como forma de suprir suas necessidades (ACACE, 2005).

A bacia hidrográfica em que se situa o assentamento é a sub-bacia do rio Banabuiú, pertencente à bacia do rio Jaguaribe. Essa bacia está localizada no embasamento cristalino sob o domínio da Depressão Sertaneja. Quando a unidade geomorfológica da área de estudo é vista em uma escala maior de detalhes, pode-se distinguir outras subunidades presentes como os Agrupamentos de Inselbergs, Áreas de Acumulação Inundáveis (açudes) e Planícies e Terraços Fluviais, que são os rios que drenam a área. Sobre as variações litológicas, há forte presença dos solos Litólicos

Eutróficos, do Bruno Não-Cálcico e em menor extensão o Vertissolo, com vários níveis de texturais e diferentes características que apresentam horizontes com fases pedregosas (FEITOSA, 2011; SILVA, *et al.*, 2015).

A cobertura vegetal é de Caatinga arbustiva densa e floresta caducifolia espinhosa, vegetação típica da região, com presença de muitas espécies de marmeleiro (IPECE, 2009).

Na área, o que predomina é o clima quente semiárido, segundo classificação de Köppen, caracterizado por um período seco e quente com invernos mais amenos e chuvosos. As temperaturas são altas durante todo o ano, e suas médias estão entre 26 a 28 °C, com período chuvoso concentrado entre os meses de janeiro a maio. A pluviosidade média é de 650 mm anuais e taxa potencial de evapotranspiração superior a 2000 mm anuais, devido à elevada temperatura ambiente e à intensa radiação solar, características da região (IPECE, 2009).

Referente aos aspectos sociais dos assentados, a maioria é de origem de municípios próximos do próprio Estado do Ceará. O predomínio da religiosidade é a igreja católica, sendo que hoje existem várias igrejas disseminadas no meio rural. Em sua quase totalidade, os moradores das 13 comunidades residem em casas de alvenaria e possuem energia elétrica. O assentamento também conta com várias escolas, inclusive uma escola do campo, construída com recursos federais, de nível médio, e que atende a juventude tanto do assentamento quanto das que vivem em áreas de seu entorno (SILVA, *et al.*, 2015).

A Escola João Sem Terra, localizada na Vila do Quietto, foi inaugurada em 2010, com a finalidade de ofertar escolarização aos jovens assentados. Composta por 12 salas de aula, com capacidade para atender 480 alunos em cada turno, essa escola se diferencia das demais da rede estadual de ensino, por ter uma matriz curricular que trata das especificidades do campo, além de ser um modelo de referência escolar (LIMA, 2014).

3.2 Desenho experimental

3.2.1 Parâmetros

Os parâmetros referentes às características físicas, químicas e biológicas da água, estão associados diretamente a uma sequência de processos que ocorrem no corpo hídrico (BRANDÃO *et al.*, 2011), ou seja, as variáveis a serem analisadas em qualquer

tipo de uso devem ser definidas com base na realidade que se encontra o recurso hídrico.

A água, enquanto solvente universal, possui uma série de impurezas, já que água pura, no sentido rigoroso do termo, é encontrada na natureza somente quando está sob a forma de vapor. Por isso que as características físicas, químicas e biológicas das águas influem diretamente no grau de tratamento a ser utilizado, dependendo também do uso que se pretende destinar essa água (PÁDUA e FERREIRA, 2006; OLIVEIRA, 1987).

O problema não é nem que a água apresente impurezas, mas o excesso dessas impurezas é que causam sérios danos tanto à saúde quanto as atividades humanas. As características dos elementos e compostos orgânicos e inorgânicos presentes na água podem ser alterados por impurezas naturais ou então adquiridos como resultado da atividade humana (GAGLIANONE, 1987). Por isso é indispensável a caracterização do recurso hídrico, o que indicará:

1. O seu estado atual de impacto;
2. Em que classe de qualidade da água o mesmo pode ser incluído;
3. Quais as restrições deverão ser tomadas para o seu uso; e
4. Qual tecnologia de tratamento será mais adequada.

Com o resultado das análises, os teores determinados em laboratório são comparados com os padrões especificados em normas, portarias e resoluções. E para que as análises sejam realizadas, cada parâmetro possui uma técnica que é capaz de identificar os componentes presentes na amostra d'água e quantificar suas concentrações com grande sensibilidade (PARRON, 2011).

A partir do princípio de que todas as pessoas têm o direito ao acesso à água de qualidade para as suas necessidades básicas, e de que as comunidades difusas não possuem estação de tratamento ou esgotamento sanitário, foram escolhidos os parâmetros que seriam fundamentais para responderem as questões relevantes ao abastecimento humano e garantindo que seria possível atender aos padrões estabelecidos nas normas.

Assim, foram selecionados dos exames físico-químicos e biológicos (através dos exames bacteriológicos), os seguintes parâmetros:

- pH
- Turbidez

- Demanda Bioquímica de Oxigênio - DBO
- Coliformes Termotolerantes - CTT

Esses parâmetros caracterizaram a água bruta do açude Quieto e ao longo de todo o processo de tratamento delineado na pesquisa referente às etapas de clarificação (coagulação natural – semente da *Moringa oleifera*), filtração (filtro de barro) e desinfecção (raios ultravioletas).

Assim, é importante que a determinação dos parâmetros seja feita a partir de métodos padronizados por entidades especializadas. E na pesquisa, a metodologia analítica utilizada para a determinação dos parâmetros teve como base as especificações do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* – APHA, 2005.

Potencial Hidrogeniônico - pH

O potencial hidrogeniônico – pH da água é a medida da atividade dos íons de hidrogênio que expressa a intensidade de condições ácidas (pH < 7,0) ou alcalinas (pH > 7,0). Ele é definido como o cologarítmo decimal da concentração efetiva ou atividade dos íons de hidrogênio (OLIVEIRA e SILVA, 2006).

$$pH = -\log a_{H^+}$$

A medida do pH representa a concentração de íons de hidrogênio em uma solução, e é de grande importância, principalmente nos processos de tratamento por ser sempre que necessário medido e ajustado para melhorar o processo de coagulação/floculação da água e também no controle da desinfecção.

Em águas naturais, por apresentarem pH próximo da neutralidade, devido à sua capacidade de tamponamento, existem também outros fatores que contribuem para a elevação ou redução do pH, como por exemplo, a presença de ácidos húmicos (cor intensa) e atividade fotossintética intensa. Além disso, ele é um parâmetro chave no processo de coagulação química durante o processo de tratamento da água (PÁDUA e FERREIRA, 2006).

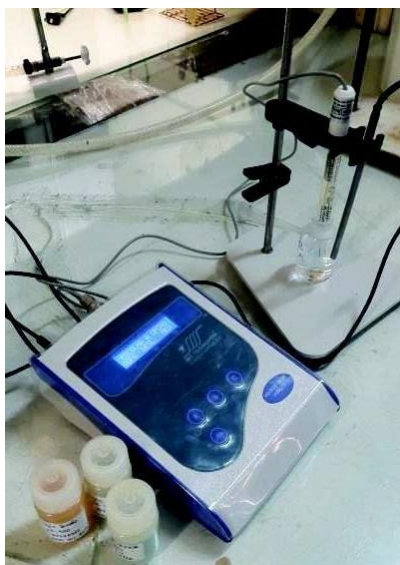
Segundo Rangel (2003), em um projeto piloto para tratamento de água em Malawi, na África, foi constatado que enquanto o alumínio é eficiente como coagulante apenas em uma faixa restrita de níveis de pH da água a ser tratada, as sementes de *Moringa oleifera* atuam independentemente do pH, constituindo-se em uma vantagem a

mais em países em desenvolvimento, onde normalmente não é possível controlar efetivamente o pH antes da coagulação. Assim, as sementes podem ser usadas no tratamento de água abrindo possibilidades que asseguram que as comunidades rurais possam ter água saudável e limpa para o uso doméstico.

No campo do abastecimento de água, além da coagulação, ele também intervém no controle de corrosão, abrandamento e desinfecção, sendo do ponto de vista analítico um dos parâmetros mais importantes. Ele também é uma das variáveis abióticas mais importantes nos Ecossistemas Aquáticos Continentais (EAC), de difícil interpretação devido à variedade de fatores que podem afetá-lo (DA SILVA, 2011).

O método de medição utilizado durante a pesquisa foi feito pelo método eletrométrico através de um sistema medidor de pH ou pH-metro, como se observa na Figura 10, que consiste de um potenciômetro (aparelho medidor de diferença de potencial), um eletrodo de vidro, um eletrodo de referência e um sensor de compensação de temperatura. Para garantir a determinação correta do pH das amostras, era necessário que antes fosse feita alguns procedimentos básicos de calibração instrumental para corrigir o controle de desvio lateral (*intercept*) e o controle de inclinação (*slope*) a partir de soluções tampões padrões (pH 4,0; pH 7,0 e pH 10,0) (OLIVEIRA, 2006).

Figura 10: pH-metro



Fonte: Autor

Turbidez

A turbidez das águas ocorre devido à presença de partículas em estado coloidal, em suspensão, matéria orgânica e inorgânica finamente dividida, plâncton e

outros organismos microscópicos (DI BERNARDO, 1993). É uma expressão da propriedade ótica que causa a dispersão e absorção da luz ao invés de sua transmissão em linha reta através da água, ou seja, expressa, de forma simplificada, a transparência da água (OLIVEIRA, 2006; PÁDUA e FERREIRA, 2006).

As dimensões das partículas que causam turbidez variam de coloidais (1-1000 nm) a dispersões grosseiras (>1000 nm). Existem tipos de dispersão coloidal, porém, a que apresenta maior interesse no tratamento de água é aquela em que se tem uma fase sólida dispersa em uma fase líquida e, mais particularmente, quando a fase dispersante é a água (CAMPOS e POVINELLI, 1987).

Valores de turbidez em torno de 8 uT (Unidade de Turbidez), ou menos, geralmente são imperceptíveis visualmente, sendo que a água é usualmente aceitável pelos consumidores a partir de 5 uT. No entanto, por causa da presença e microrganismos, é recomendado que a turbidez seja tão baixa quanto possível (WHO, 2003).

Esse parâmetro assume grande importância, quando no ambiente aquático predominam processos dependentes da penetração de luz, mas sua relevância é maior no âmbito do abastecimento de água, por razões relacionadas a processos de tratamento, especificamente na filtração e na desinfecção. A turbidez é um dos principais parâmetros para seleção da tecnologia de tratamento e controle operacional dos processos de tratamento. Na água filtrada, por exemplo, a turbidez assume a função de indicador sanitário e não meramente estético (BASTOS, *et al*, 2003).

A determinação da turbidez é realizada através do método nefelométrico por um turbidímetro (Figura 11) em que é baseado na comparação da luz que atravessa uma amostra sob condições definidas, com a intensidade da luz atravessada por um padrão de referência sob as mesmas condições (OLIVEIRA, 2006). E é importante que a determinação da turbidez seja feita no mesmo dia em que a amostra é coletada.

Figura 11: Turbidímetro



Fonte: Autor

Demanda Bioquímica de Oxigênio - DBO

A Demanda Bioquímica de Oxigênio – DBO é um indicador do metabolismo dos organismos vivos, pois estes utilizam matéria orgânica como alimento, e quando a ela for alta, a poluição orgânica está indicada (BABBITT *et al.*, 1962).

Essa análise representa o consumo de oxigênio no processo de oxidação da matéria orgânica presente em uma amostra de água durante o período de 5 dias e incubada a 20° C. Ela está associada à porção biodegradável da matéria orgânica de origem vegetal, animal e também àquela presente nos despejos domésticos industriais (PÁDUA e FERREIRA, 2006).

Esse teste é amplamente utilizado para determinar o potencial da poluição das águas, sendo mais frequente com as residuárias domésticas ou industriais e com os efluentes de estações de tratamento. É também importante para a regulamentação da qualidade de efluentes e em estudos para avaliar a capacidade de depuração dos corpos d'água receptores de despejos. A DBO alta significa presença de poluição através da matéria orgânica proveniente de fontes pontuais e/ou difusas.

A DBO é um bioensaio que indica o consumo de oxigênio por organismos vivos, principalmente bactérias, enquanto utilizam a matéria orgânica, em condições similares àquelas que ocorrem na natureza. O método de análise, pelo *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, descreve que a amostra deve ser preparada em frascos específicos para DBO, frasco de Winckler, as quais são incubadas por 5 dias a 20 °C, na ausência da luz, no qual o oxigênio dissolvido é medido antes e depois da incubação, assim, a DBO5 é calculada a partir da diferença entre os valores de oxigênio dissolvido inicial e final (CLESCERI *et al.*, 1999).

Coliformes Termotolerantes - CTT

Os coliformes são grupos de bactérias constituídas por bacilos Gram-negativos, capazes de crescer na presença de sais biliares ou outros compostos ativos de superfície. Segundo Oliveira (1987), a presença dos coliformes indica a possibilidade de contaminação fecal, servindo, portanto de sinal de alarme no combate à contaminação da água.

Como a maior parte das doenças de veiculação hídrica são oriundas por organismos patogênicos, ao atingirem o ambiente aquático podem vir a contaminar as pessoas que se abastecem dessa água, e quanto maior a população de coliformes em

uma amostra de água, maior é a chance de que haja contaminação por organismos patogênicos (BRASIL, 2014).

Algumas bactérias do grupo dos coliformes, que são capazes de fermentar a lactose em temperaturas mais elevadas, de 44 °C a 45 °C, foram por muito tempo denominadas coliformes fecais, hoje são conhecidas como Coliformes Termotolerantes – CTT, pois acreditava-se que sua origem era exclusivamente fecal. Dentre essas bactérias, o gênero predominante é *Escherichia*, mas algumas espécies de *Citrobacter*, *Klebsiella* e *Enterobacter* também são termotolerantes (CETESB, 2007).

Das várias espécies de *Escherichia* os microrganismos mais comumente empregados com indicadores de contaminação são *Escherichia coli* – *E. coli*, sendo a espécie que constitui 95% dos coliformes das fezes, assim, a sua presença não oferece dúvida sobre a origem fecal antrópica (OLIVEIRA, 1987).

A metodologia utilizada durante a pesquisa para a determinação das amostras de coliformes termotolerantes foi a aplicação da técnica de tubos múltiplos em caldo A-1 (ALPHA, 2005), no qual é baseada no princípio de que as bactérias presentes em uma amostra podem ser separadas por agitação, resultando em uma suspensão de células bacterianas uniformemente distribuídas na amostra (CETESB, 2007).

O caldo A1 (Figura 12) é um meio líquido rico em lactose, que é fermentada por todas as bactérias do grupo coliformes a uma temperatura de 35 °C ± 0,5 °C. Após a incubação, os tubos permaneceram 3 horas a 35 °C em estufa bacteriológica e 21 horas incubados em banho-maria a 44,5 ± 0,2 °C. A produção de gás resultante da fermentação da lactose é regulada pela termotolerância do grupo CTT, o que foi evidenciado pela presença de bolhas captadas pelos tubos de Durham. A partir dos resultados positivos, estimou-se o Número Mais Provável de microrganismos por cem mililitros (NMP/100mL).

Figura 12: Tubos Duplos e Simples com Meio A1 (A1 MEDIUM)



Fonte: Autor

A estimativa do contingente de bactérias da espécie *E. coli* foi realizada transferindo-se uma alçada dos caldos dos tubos positivos concomitantemente para um tubo contendo o substrato cromo-fluorogênico ONPGmug (3mL por tubo) e para outro contendo EMB agar – Levine (4 a 5mL por tubo), que foram incubados por 24 horas a 35 °C em estufa. O contingente de *E. coli*, foi expresso em NMP/100mL.

Figura 13: EMB Agar - Levine



Fonte: Autor

Figura 14: ONPGmug



Fonte: Autor

3.2.2 Preparo dos equipamentos

As amostras de água para fins de exames e análises devem ser colhidas obedecendo a cuidados e técnicas apropriadas, com volume e número de amostras adequadas (OLIVEIRA, 1987).

A correta aplicação da metodologia analítica é primordial para que os resultados sejam coesos, sendo necessário o preparo do material que será utilizado em todo o delineamento do processo tanto em campo quanto em laboratório. Para isso é preciso seguir as normas técnicas, além de se preparar tecnicamente para proceder em uma análise, e, utilizar equipamentos e vidrarias apropriadas que estejam em boas condições. Pois descuidos podem significar grandes erros, que, uma vez evitados, podem resultar no aumento do grau de confiabilidade do resultado.

Todo o material utilizado na análise ou na preparação de reagentes deverá ser corretamente higienizado para evitar substâncias estranhas ao processo, caso contrário, os resultados podem não oferecer uma boa confiabilidade. Sendo assim, cada material ou equipamento, dependendo do tipo de análise e procedimento, tem sua preparação

específica que deve ser criteriosamente seguida, como por exemplo, na bacteriológica que o material de coleta além de ser descontaminado também deverá ser esterilizado.

Para os exames físico-químicos, a lavagem dos frascos e de suas respectivas tampas foi feita com detergentes isentos de fosfatos, depois enxaguados com água corrente e, em seguida, água destilada. Já para os exames microbiológicos, os frascos e as tampas devem ser de material resistente às condições de esterilização e à ação solvente da água, sob o qual não deve liberar compostos tóxicos, como bactericidas ou bacteriostáticos durante a esterilização. Podem ser de vidro neutro, de vidro borossilicato ou plástico autoclavável, com boca larga (aproximadamente 4 cm) para facilitar a coleta e a limpeza.

Os equipamentos e materiais utilizados na pesquisa foram operados de forma experimental no Laboratório de Limnologia em Microbiologia Ambiental - LMA do Instituto Federal do Ceará – IFCE, Campus Fortaleza.

O material destinado à coleta da água bruta, para o delineamento do processo de tratamento em laboratório, foram 03 baldes de plástico com tampa de 20 litros cada. Referente às análises físico-químicas se utilizou garrafas de 2 litros de material Polietileno de Alta Densidade – *PEAD* com alça e tampa rosqueada, com exceção da amostra para medição do Oxigênio Dissolvido – OD que foi feita em frasco de vidro borossilicato com tampa esmerilhada e estreita com selo d'água, conhecido como Frasco de Winkler, e da amostra para medição da Demanda Bioquímica de Oxigênio – DBO, que foram frascos escuros de polietileno de 500 ml com o propósito de evitar exposição à luz.

Por fim, para as análises bacteriológicas, os frascos de coleta foram de vidro com boca larga.

Todo o material de campo foi devidamente higienizado e descontaminado com Ácido Clorídrico PA – Pureza Analítica 37%, sendo que os frascos de vidro também foram esterilizados em autoclave.

O equipamento utilizado em laboratório para a análise do potencial hidrogeniônico - pH foi feito através do Medidor de pH de Bancada Digital Modelo MPA 210, e para a medição da turbidez, foi através do Turbidímetro de Bancada Digital Microprocessado com precisão de 2% e faixa de trabalho entre 0 a 1000 U. Ambos foram devidamente calibrados, seguindo as instruções do fabricante, para que fornecessem resultados precisos.

Para a realização das análises em laboratório, foram também utilizadas vidrarias e demais equipamentos imprescindíveis no processo como o almofariz com pistilo, balão volumétrico, becker, bureta, Erlenmeyer, pipeta graduada, proveta e balança digital.

Referente ao experimento piloto de tratamento da água do açude Quieto no laboratório LMA, para a acomodação da água bruta foram utilizados três baldes graduados em polipropileno de 20 litros, sendo a eles acopladas três torneiras para facilitar a retirada da água após a etapa de clarificação. Na etapa subsequente, com a filtração, o material utilizado foram três filtros de barro, e por fim, na desinfecção foram utilizadas garrafas PET de 2 litros.

3.2.3 Coleta e preservação das amostras

A maneira como é realizada a coleta em um corpo hídrico, e como ela se mantém preservada, é de suma relevância para todo o processo de análise posterior, pois as amostras devem se comportar física, química e biologicamente como réplicas de onde foram coletadas. Segundo Gaglianone (1987), a qualidade da água coletada deve representar a mesma qualidade da água amostrada.

A coleta de amostras representativas pode ocorrer de duas formas: manual ou automática. A forma manual, como se observa na Figura 15, é aquela em que o frasco de coleta é posto em contato direto com a água. Porém, ela não deve ser encarada como simples ato de se mergulhar uma garrafa na água para retirar um determinado volume desta. É importante e necessário fazer uma caracterização das condições do local da coleta, tendo o cuidado de anotar qualquer ocorrência como cor, odor, presença de algas, óleos, corantes, material sobrenadante, peixes ou outros animais aquáticos mortos, por exemplo.

Figura 15: Coleta manual de água no Açude Quieto



Fonte: Autor

Já a amostra automática possui a vantagem da automatização, o que permite a programação do número de amostras, a duração do período de cada coleta, os volumes parciais e aos instantes de coleta.

As técnicas de coleta são diferentes conforme o tipo de exame e os métodos de análise a que a amostra será submetida posteriormente, por isso se faz necessário serem observados as seguintes condicionantes (GARCEZ, 2004):

5. A matriz a ser amostrada, podendo ela ser
 - Água superficial
 - Subterrânea
 - Encanada
 - Residuária
 - Sedimento de fundo
 - Biota aquática
6. O tipo de amostragem
 - Amostra simples
 - Amostra composta
7. A natureza do exame a ser efetuado
 - Análises físico-químicas
 - Análises bacteriológicas
 - Análises biológicas

É importante saber que na coleta:

- As amostras não podem ter qualquer tipo de material acidental, diferente do que será analisado;
- Que para minimizar a contaminação da amostra convém recolhe-la com a boca do frasco de coleta contra a corrente;
- Que deve ser Coletado um volume suficiente de amostra para eventual necessidade de se repetir alguma análise no laboratório;
- De fazer todas as determinações de campo em alíquotas de amostra separadas das que serão enviadas ao laboratório;
- De que as amostras que exigem refrigeração devem ser acondicionadas em caixas de isopor com gelo;
- Etiquetar e identificar bem o frasco com a amostra; e
- Respeitar o “prazo de validade” para cada análise em questão.

Sobre o tempo demandado entre a coleta e a execução das análises laboratoriais é de extrema importância que quanto menor o tempo decorrido entre a coleta e a análise da amostra, maior semelhança haverá entre os valores reais *in loco* e os valores medidos. A Tabela 1 mostra o tempo máximo que as análises podem esperar depois de realizada a coleta.

Tabela 1: Prazo para a análise após a coleta.

Parâmetro	Prazo
pH	6 horas
Turbidez	24 horas
DBO	24 horas
CTT	1 hora (sem preservação)
	24 horas (com preservação)

Fonte: Gaglianone, 1987; Garcez, 2004.

A escolha do açude Quieto (Marengo), embora ocupe uma posição estratégica na região central do assentamento, se deve por ele apresentar melhor seguridade hídrica do que nos demais corpos hídricos, possuindo maior capacidade de armazenamento de água e menor possibilidade de secar durante o período de estiagem, já que responde por quase a metade de água disponível no assentamento (PINHEIRO, 2011; SILVA et al., 2015), além de ser o açude de médio porte do local.

No açude Quieto existe um sistema de abastecimento construído pelo Governo através da Rede SISAR (Figura 16), que distribui sua água para três comunidades próximas ao corpo hídrico, Quieto, Raiz e Angelim, além de existir um sistema de abastecimento extra que abastece particularmente a Escola João Sem Terra. Porém, com o período prolongado de estiagem, através da diminuição da lâmina d'água do açude e de outros fatores, como problemas técnicos relacionados ao mecanismo que bombeia a água do açude para a caixa d'água, o sistema parou de funcionar. Famílias que residem próximo ao açude bombeiam por conta própria a água do açude para as suas residências e os demais que utilizam e dependem desse recurso passaram a ter que coletar *in loco* nas margens do açude.

Figura 16: Caixa d'água de distribuição a partir do açude Marengo.



Fonte: Autor

Por isso que o ponto de amostragem para a realização da coleta da água bruta durante a pesquisa ocorreu em um único local do açude, por ser onde os usuários tinham costume de ir até o corpo d'água e coletar com o auxílio ou não de animais.

Segundo Brandão *et al* (2011), as amostras podem ser coletadas de forma simples, composta ou integrada. A utilizada no estudo é a amostra simples, também denominada de pontual ou instantânea, por ser aquela coletada em uma única tomada de amostra, num determinado instante, para a realização das determinações e ensaios.

Durante as seis campanhas realizadas no ano de 2016, todas foram realizadas em condições semelhantes no que se refere ao horário ter sido entre 11:00 e 12:00, e a água bruta assim que armazenada nos seus respectivos recipientes eram acondicionadas com gelo em isopor com a finalidade de preservação das amostrar.

As técnicas de preservação mais empregadas são por adição química, congelamento e refrigeração. A refrigeração tem o objetivo de retardar a ação biológica e a alteração dos compostos químicos, evitando o comprometimento da amostragem desde o momento da coleta até o processamento das análises em laboratório, sendo essa a técnica utilizada, por constituir uma prática comum em trabalhos de campo (BRASIL, 2014).

3.2.4 Insumos de processamento

Insumo é qualquer coisa que seja utilizado em um procedimento de produção, agregando ou não ao que está sendo produzido, sendo qualquer material que seja

importante para o delineamento do produto final. Para o desenvolvimento da pesquisa os insumos utilizados foram:

- Semente da *Moringa* oleifera – na etapa de clarificação;
- Filtro de barro – na etapa de filtração;
- Garrafas PET (Polietileno Tereftalato) e a tecnologia SODIS – na etapa de desinfecção.

A diferença entre matéria-prima de insumo é que a matéria-prima é o material mais importante, a base de um produto, e o insumo é tudo aquilo que é essencial, sendo que toda matéria-prima é um insumo.

3.2.5 Delineamento do processo de tratamento

As amostragens foram realizadas bimestralmente entre os meses de maio/2016 e setembro/2016, e mensalmente de setembro/2016 a janeiro/2017, totalizando sete campanhas. A coleta foi realizada em um único ponto amostral do açude Quieto referente ao local onde as famílias e os animais possuem acesso ao corpo d'água, sendo um caminho de fácil acesso.



Em média, cada coleta foi realizada no horário entre 11 e 13 horas, coletando 63 litros de água distribuídos da seguinte maneira:

- Três baldes de plástico com tampa de 20 L cada – a água coletada era utilizada para o experimento piloto no processo de tratamento da água bruta;
- Uma garrafa de polietileno de alta densidade (PEAD) de 2 L – referente às análises físico-químicas;
- Um frasco escuro de polietileno de 500 mL – referente à análise da DBO;

- Um frasco de vidro de boca larga com tampa de 500 mL – referente à análise do CTT.

Todas as amostras foram armazenadas em ambiente refrigerado com o objetivo de preservá-las até o momento do processamento das análises. Esse procedimento pós-coleta de refrigeração é de suma importância, primeiro porque o deslocamento entre o local de coleta e o Laboratório de Limnologia em Microbiologia Ambiental – LMA do Instituto Federal do Ceará – IFCE, Campus Fortaleza, é bastante significativo por ter uma distância superior a 200 km. E segundo porque quando a água bruta é analisada, ela deve estar o mais próxima possível das mesmas condições que se encontrava no momento da coleta referente às suas características físico-químicas e bacteriológicas.

Com a chegada ao laboratório LMA, inicialmente eram analisados os parâmetros físico-químicos e bacteriológicos da água bruta que inicialmente foram escolhidos: pH, turbidez, DBO e CTT.

Sobre o insumo utilizado no processo de clarificação no tratamento da água bruta do açude Quieto, as sementes da planta *Moringa oleifera*, eram colhidas em suas vagens na Universidade Federal do Ceará – UFC (Figura 17), Campus do Benfica na cidade de Fortaleza. Em média, as vagens contêm de 8 a 10 sementes, sendo que podem chegar a ter um mínimo de 2 sementes e máximo de 23 sementes por vagem, conforme pode ser observado ao coletar as sementes.

Figura 17: Árvore *Moringa oleifera*



Fonte: Autor

Para o preparo da solução coagulante, primeiro é preciso obter o pó da semente da *Moringa oleifera*, que eram maceradas um dia antes da coleta seguindo os procedimentos a seguir:

8. Colheita da vagem da *Moringa oleifera*;
9. Retirada das sementes das vagens;
10. Retirada da casca das sementes no momento do uso;
11. Moagem das sementes em Grau com pistilo;

Segundo Arantes (2010), o processamento visando à obtenção da solução coagulante para fins experimentais é feito de diversas formas, não havendo uma padronização para tal etapa. Para a trituração, alguns procedimentos manuais já foram estudados para a obtenção do pó, como o pilão (OKUDA *et al.*, 1999; OKUDA, *et al.*, 2001), e também o liquidificador doméstico (NDABIGENGESERE *et al.*, 1995; KATAYON *et al.*, 2006). Ainda assim, é importante avaliar e propor o uso de outros equipamentos alternativos. Por isso foi utilizado o Gral com pistilo para o processamento do pó das sementes da *Moringa oleifera*.

Após as sementes terem sido descascadas e maceradas, o volume total obtido passava por uma peneira comum para a retirada de partículas maiores, e para então serem misturadas em água destilada com a finalidade da obtenção da solução coagulante.

Tendo como base estudos anteriores, (CARDOSO, 2008; ARANTES, 2010) a concentração (massa/volume) adotada para a solução foi de 4%, ou seja, para cada 4 gramas do pó era adicionado 100 mL de água destilada. Após a homogeneização da solução por um período de 2 min de forma manual com um bastão de vidro, há recomendações para que a mesma seja filtrada com o objetivo de retirar o sobrenadante. Essa filtração pode ser de três formas, em papel filtro, membranas ou tecidos (OKUDA *et al.*, 2001; NDABIGENGESERE e NARASIAH, 1998; KATAYON *et al.*, 2006), e a utilizada durante a pesquisa por ser de mais fácil acesso foi a filtração em tecido.

A Figura 18 mostra de forma sucinta as etapas que foram utilizadas para o preparo da solução coagulante.

Figura 18: Delineamento da Solução Coagulante



Fonte: Autor.

Com o objetivo de identificar a dosagem ideal em mg.L^{-1} foram utilizadas três dosagens distintas de solução coagulante, no qual foram denominadas como concentração (C1, C2 e C3). Com base em estudos anteriores (NDABIGENGESERE *et al.*, 1995; KATAYON, 2006; CARDOSO, 2008; ARANTES, 2010) a dosagem foi de 4 g do pó e semente da *Moringa oleifera* para cada 1 L de água bruta a ser tratada. As outras duas concentrações foram definidas como sendo a metade e o dobro da concentração inicial.



Em laboratório, após a água bruta ter sido coletada em campo, eram distribuídos 16 L em cada um dos três baldes destinados ao processo de tratamento na etapa inicial de clarificação referentes à coagulação, floculação e sedimentação (Figura 18). Com os baldes devidamente preenchidos com água bruta, em seguida era

adicionada a solução coagulante. A homogeneização entre a água bruta e a solução coagulante acontecia sempre por volta das 18 e 19 h (Figura 19).

As concentrações utilizadas durante a pesquisa foram as seguintes:

- Concentração 1 (C1) – 32 g (x/2)
- Concentração 2 (C2) – 64 g(x)
- Concentração 3 (C3) – 128 g (2x)

Figura 19: Água Bruta



Fonte: Autor

Figura 20: Solução Coagulante



Fonte: Autor

Com o objetivo de promover choque entre as partículas referentes ao coagulante e aos colóides, foi feita de forma manual com um bastão de vidro a mistura rápida durante 2 min e depois mais 5 min de mistura lenta. Em seguida a água ficou em repouso por um tempo de 12 horas, o que compreendia a noite toda em repouso para facilitar o delineamento do processo.

A escolha do tempo de repouso de 12 h se refere à conclusão encontrada em estudos anteriores realizados no processo de coagulação no tratamento de água (CARDOSO, 2008; MUNIZ, *et al.*, 2015) com o uso da semente da *Moringa oleifera*, no qual perceberam que com um maior tempo de sedimentação, a formação e sedimentação dos flocos é mais eficiente. Ou seja, quanto maior o tempo de repouso, maior é a quantidade de partículas floculadas que decantarão.

A mesma observação também foi feita por Lo Monaco *et al.* (2010), em que a autora, estudando os tempos de 2 e 24 h observou que o tempo de 24 h proporcionara maiores reduções na turbidez de águas. Porém, deve-se optar por um tempo menor, já que a redução da turbidez é semelhante para os dois tempos. Assim, a escolha de 12 h se

deve a metade do período que proporcionou maior redução da turbidez e por ser o tempo em que as pessoas estariam dormindo.

Depois de transcorrida as 12 horas já era perceptível mudança da água (Figura 20), e através de uma torneira acoplada aos baldes a água era retirada com o mínimo de perda possível sem ter resquícios do lodo formado no fundo do recipiente. Em seguida a água era despejada em filtros de barro, no qual cada concentração tinha o seu respectivo filtro. Após a filtração concluía a técnica de clarificação, e seguia para a última técnica referente à desinfecção. Nesse momento, depois da água filtrada, eram analisados os mesmos parâmetros físico-químicos e bacteriológicos que foram feitos com a água bruta inicialmente para analisar que mudanças ocorreram até então no processo de tratamento.

Figura 21: Água Bruta após sedimentação e decantação



Fonte: Autor

Figura 22: Filtro de Barro



Fonte: Autor

Com a água filtrada, ela era retirada do filtro e armazenada em garrafas PET de 2 L. Cada concentração tinha sua respectiva garrafa, e a partir de metodologias anteriormente aplicadas (MEIERHOFER e WEGELIN, 2002; BOTTO, 2006), as garrafas PET foram expostas à radiação solar de maior intensidade, em um intervalo de 6 horas, que compreendia entre 9 h e 15 h (Figura 22). Para aumentar a eficiência do procedimento do SODIS, as garrafas foram colocadas de forma inclinada sobre folhas de metal. Ao fim de todo o processo as amostras eram também analisadas e os resultados comparados com os obtidos inicialmente com a água bruta, após a filtração e com o controle.

O controle é uma amostra da água bruta que não passou pelo processo de tratamento, no qual ficava em repouso à temperatura ambiente, e que no fim da realização do processo de tratamento, a sua água também era analisada para ser comparada com as demais análises realizadas ao longo do delineamento do tratamento.

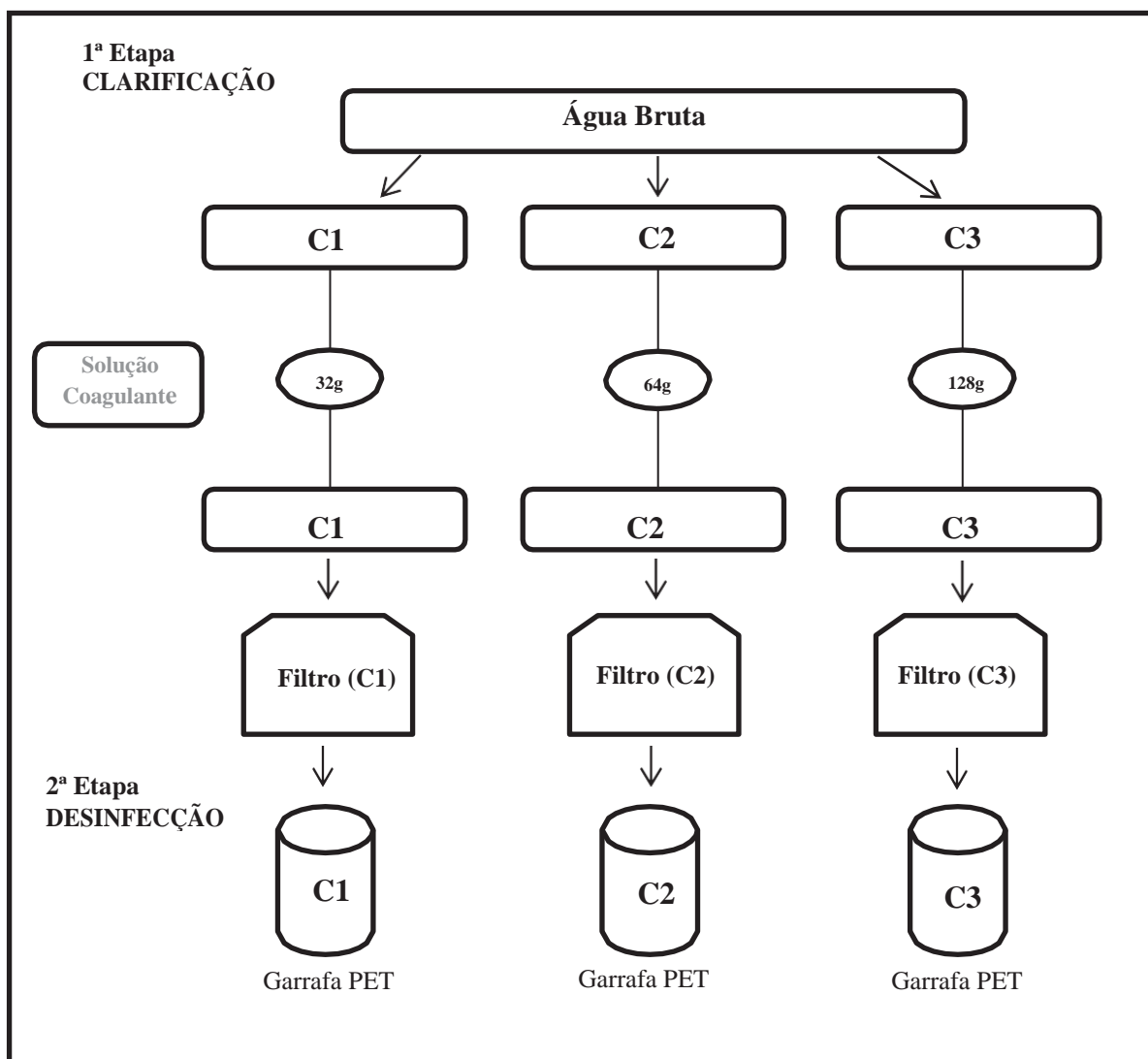
Figura 23: Exposição da água clarificada ao sol



Fonte: Autor

A Figura 24 mostra como foi o processo de tratamento da água bruta utilizando a técnica de coagulação, filtração e o SODIS.

Figura 24: Delineamento do tratamento



Fonte: Autor

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Uma das alternativas sanitárias que podem auxiliar as famílias que residem em comunidades difusas no semiárido brasileiro, é o sistema alternativo individual de abastecimento de água para consumo humano.

Entre os principais objetivos desse sistema, o preponderante é o de poder suprir a necessidade de abastecimento de água que atenda aos padrões mínimos exigidos pela legislação vigente para o consumo humano através da Portaria 2.914/11 do Ministério da Saúde ou que se enquadre ao que se estabelece na Resolução CONAMA 357/05 para as Águas Doces de Classe 2.

As técnicas utilizadas durante a pesquisa, clarificação e desinfecção, foram manuseadas com a finalidade de se aproximar ao máximo da realidade cotidiana das famílias que não possuem um sistema de tratamento. Isso foi possível a partir da utilização de insumos com acesso fácil, práticos, de custo módico e que fossem ambientalmente sustentáveis. Por isso os melhores locais são os próprios domicílios das famílias que teriam total acesso e controle sobre o sistema.

Os resultados obtidos a partir do experimento, serão apresentados sequencialmente de acordo com cada fase da pesquisa, no qual foram estruturados com os dados obtidos em cada campanha através de quadros e gráficos.

Inicialmente é feita a caracterização da água bruta antes de ser submetida ao tratamento, em seguida com a água clarificada e desinfetada, ambas com as três concentrações distintas do coagulante natural da semente da *Moringa oleífera* (C1, C2 e C3), além dos resultados da água que não passou por nenhum tipo de tratamento (controle), e, por fim, a comparação entre a água bruta, a água tratada e a água sem tratamento.

Água Bruta

Como se observa no Quando 2, o açude Quieto apresenta características alcalinas, no qual o seu pH varia entre 8,92 e 9,21, que são considerados ideais para o consumo humano de acordo com a Portaria do MS n° 2.914/11. No entanto, um único parâmetro não pode atribuir ao corpo hídrico características de potabilidade, pois na região Nordeste, valores em torno de 8,5 e 9,0 mg/L são comuns em ambientes eutrofizados (STRASKRABA e TUNDISI, 2000).

Quadro 2: Caracterização da Água Bruta**Água Bruta**

	Maio/16	Julho/16	Setembro/16	Outubro/16	Novembro/16	Dezembro/16	Janeiro/17	*VMP	**VMP	***VMP
Ph	8,92	8,97	9,16	9,09	9,15	9,21	9,18	6,0 a 9,0	6,0 a 9,0	6,0 a 9,5
Turbidez	52,3	138	212	137	281	337	273	100	100	5
DBO	6,7	8,6	9,6	8,9	10,2	12,4	9,8	5	10	-
CTT	$3,3 \times 10^2$	$1,1 \times 10^3$	$1,1 \times 10^3$	$2,8 \times 10^3$	$4,9 \times 10^3$	$5,4 \times 10^3$	$1,7 \times 10^3$	1×10^3	$2,5 \times 10^3$	Ausência
<i>E. coli</i>	$2,5 \times 10^1$	$7,9 \times 10^2$	$4,9 \times 10^2$	$9,2 \times 10^2$	$1,6 \times 10^3$	$1,1 \times 10^3$	$5,4 \times 10^2$	(#)	(#)	Ausência

Fonte: Autor.

Unidade de medida: *Turbidez* (uT); *DBO* (mg/L); *CTT* (NMP/100mL)

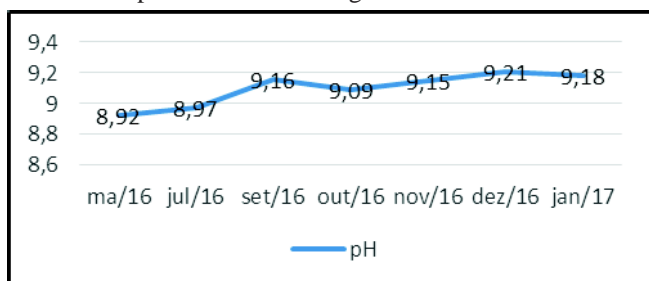
*VMP da Resolução CONAMA N° 357/2005 para as águas doces de classe 2.

**VMP da Resolução CONAMA N° 357/2005 para as águas doces de classe 3.

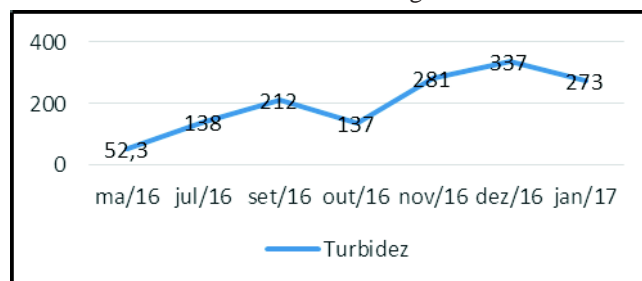
***VMP da Portaria do Ministério da Saúde N° 2.914/2011.

(#) A *E. coli* poderá ser determinada em substituição ao parâmetro coliformes termotolerantes de acordo com limites estabelecidos pelo órgão ambiental competente.

Verificou-se ainda que por mais que não tenha ocorrido variações significativas nos meses compreendidos entre Maio/16 e Janeiro/17, os níveis em que o pH apresenta valores crescentes, provavelmente, segundo Ribeiro (2012), isso esteja associado ao aumento da atividade microbiológica do corpo hídrico.

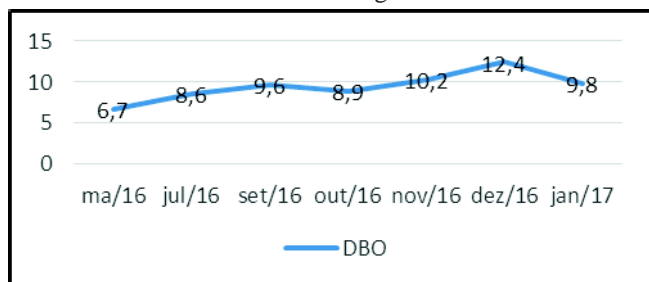
Gráfico 1: pH da amostra da Água Bruta

Fonte: Autor.

Gráfico 2: Turbidez da amostra da Água Bruta

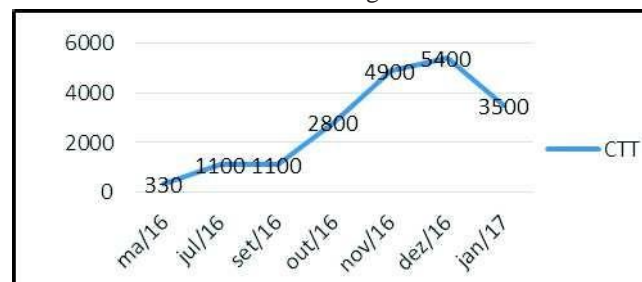
Unidade de medida: *Turbidez* (uT);

Fonte: Autor.

Gráfico 3: DBO da amostra da Água Bruta

Unidade de medida: *DBO* (mg/L)

Fonte: Autor.

Gráfico 4: CTT da amostra da Água Bruta

Unidade de medida: *CTT* (NMP/100mL)

Fonte: Autor.

Comparando os Gráficos 1, 2, 3 e 4 pode-se perceber a relação entre a variação crescente da atividade microbiológica com os demais parâmetros que também aumentaram com o avançar dos meses secos.

Maio, de todas as amostras mensais coletadas, foi o único que esteve em conformidade com o Valor Máximo Permitido – VMP da legislação vigente que enquadra os corpos d’água de água doce na classe 3 da Resolução CONAMA nº 357/2005, já que os meses subsequentes estiveram em desacordo com a legislação vigente que enquadra os corpos d’água e que dispõe sobre a qualidade da água para consumo humano.

Segundo a Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos – FUNCEME, o mês de maio é caracterizado como o fim do período da estação chuvosa no Ceará, que no ano de 2016, o município de Madalena teve uma média de 191,2mm e um total anual de 197,2mm. E durante os últimos 10 anos (2007-2017) teve 80% de sua média pluviométrica sempre abaixo da normalidade que é de 608,9mm, sendo o ano de 2012 e 2016 os mais críticos, como se observa na Tabela 2.

Tabela 2: Média Pluviométrica anual do município de Madalena (2007-2017)

	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Média Anual (mm)	442,5	598,3	888,8	389,6	683,3	194,5	365,3	523,6	309,1	197,2	483,6

Fonte: Portal Hidrológico do Ceará.

A Macrorregião do Sertão Central e dos Inhamuns que se encontra o município de Madalena recebeu contribuições pluviométricas nos meses de janeiro, fevereiro, março, abril, maio e só depois em dezembro. Porém, essa contribuição não foi o suficiente para elevar o espelho d’água do açude e melhorar a condição atual de crise do açude Quieto.

Isso explica a constante diminuição da água do açude Quieto pela alta taxa de evaporação e de seu agravamento referente à sua qualidade ao longo dos meses de análise que se procederam no ano de 2016. Assim, fatores como baixa precipitação pluviométrica, constante despejo de dejetos de animais, principalmente bovinos, caprinos e aves às margens do açude, proliferação de cianobactérias, intenso processo de assoreamento e aumento da concentração de sólidos suspensos totais, morte dos peixes, odor forte, cor esverdeada e a textura grossa fizeram com que as pessoas já não mais utilizassem essa água do açude Quieto para nenhum tipo de uso diverso.

Segundo Freire (2017), a variação da transparência no período da estação seca no açude Quieto foi entre 10 e 20cm, por causa de uma forte concentração de sólidos suspensos totais, o que influencia diretamente o aumento da turbidez, que por consequência limita a penetração de luz. Os valores elevados de matéria orgânica e bacteriológicos estão aliados ao intenso acesso dos animais, aos resíduos domésticos e a constante redução no nível de água do açude.

Para que a água seja considerada potável, é necessário que ela não contenha microrganismos patogênicos devendo estar livre de bactérias indicadoras de contaminação fecal, porém é forte a presença de coliformes termotolerantes e de *Escherichia coli* como se verifica ainda no Quadro 2.

Com fulcro em análises pretéritas no local da pesquisa, estudos apontam que as concentrações de Oxigênio Dissolvido - OD, importante para a determinação da quantidade de oxigênio necessária para estabilizar a matéria orgânica, e os valores de pH aumentaram no período seco, devendo ser por causa do aumento da biomassa fitoplanctônica, determinada a partir da concentração de clorofila “a”, e consequentemente houve aumento da atividade fotossintética (FEITOSA, 2011).

Figura 25: Açude Quieto.



Fonte: Autor.

Figura 26: Presença de animais às margens do Açude Quieto.



Fonte: Autor.

Figura 27: Peixes mortos às margens do açude Quieto.



Fonte: Autor.

Figura 28: Peixes mortos às margens do açude Quieto.



Fonte: Autor.

Figura 29: Água esverdeada do Açude Quieto.



Fonte: Autor.

Figura 30: Dessedentação animal.



Fonte: Autor.

Para o tratamento da água bruta do açude Quieto, os resultados estão apresentados a seguir na sequência em que foram conduzidos e descritos no Capítulo 3 com base nas três concentrações distintas (C1, C2 e C3) utilizadas do coagulante natural *Moringa oleífera*.

Referente à análise bacteriológica o tratamento nos meses de Maio e Julho, durante todo o delineamento do processo (clarificação e desinfecção), não foi bem sucedido em detrimento de descuidos na produção da solução coagulante. A utilização das sementes sem os devidos cuidados prévios, poderá fazer com que a comunidade bacteriológica presente na água se multiplique ao invés de reduzir.

Assim, é importante que as sementes sejam colhidas das árvores ainda em suas vagens, conseqüentemente não utilizando qualquer vagem que esteja aberta ou sementes que tenham tido contato direto com o meio externo, já que as cascas das sementes podem ser contaminadas. E para evitar que o coagulante, proveniente das sementes, não deteriore a água bruta, é importante que as cascas sejam retiradas para que somente as amêndoas sejam utilizadas para a preparação da solução que será homogeneizada com a água a ser tratada.

Clarificação

A etapa de clarificação que compreende os processos de coagulação, decantação e filtração foram processados em três concentrações distintas. A

Concentração C1 obteve resultados bastante significativos inicialmente, como se observa no Quadro 3.

Quadro 3: Caracterização da Água Clarificada – Concentração 1 (C1)

Água Clarificada (C1)

	Maio/16	Julho/16	Setembro/16	Outubro/16	Novembro/16	Dezembro/16	Janeiro/17	*VMP	**VMP	***VMP
pH	8,89	8,89	9,1	9,03	8,92	8,9	8,9	6,0 a 9,0	6,0 a 9,0	6,0 a 9,5
Turbidez	8,36	8,6	8,2	6,3	28	94	19,6	100	100	5
DBO	4,9	5,1	5,6	5,4	6,2	6,8	5,6	5	10	-
CTT	$>1,6 \times 10^4$	$>1,6 \times 10^4$	$1,4 \times 10^2$	$3,5 \times 10^2$	$2,3 \times 10^1$	$1,1 \times 10^2$	$6,8 \times 10^1$	1×10^3	$2,5 \times 10^3$	Ausência
<i>E. coli</i>	-	-	$7,9 \times 10^1$	$1,3 \times 10^2$	$1,3 \times 10^1$	$7,9 \times 10^1$	$1,2 \times 10^1$	(#)	(#)	Ausência

Fonte: Autor.

Unidade de medida: *Turbidez* (uT); *DBO* (mg/L); *CTT* (NMP/100mL)

*VMP da Resolução CONAMA N° 357/2005 para as águas doces de classe 2.

**VMP da Resolução CONAMA N° 357/2005 para as águas doces de classe 3.

***VMP da Portaria do Ministério da Saúde N° 2.914/2011.

(#) A *E. coli* poderá ser determinada em substituição ao parâmetro coliformes termotolerantes de acordo com limites estabelecidos pelo órgão ambiental competente.

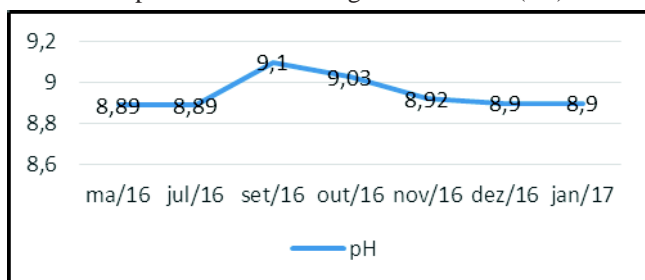
Da mesma forma que a água bruta, na C1 o pH não teve variações relevantes por continuar apresentando características alcalinas com valores entre 8,89 e 9,1. Já a turbidez, sua redução mais significativa foi equivalente a 96,1% do valor inicial da água bruta, sendo que na maioria dos meses analisados, houveram reduções com eficiência a partir de 90%, conforme pode ser observado na tabela 3.

Tabela 3: Redução (%) de Turbidez da Água Clarificada – Concentração 1 (C1)

	Maio/16	Julho/16	Setembro/16	Outubro/16	Novembro/16	Dezembro/16	Janeiro/17
Redução (%)	84%	93,8%	96,1%	95,4%	90%	72,1%	92,82%

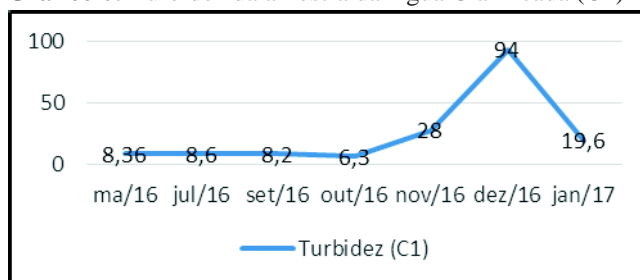
Fonte: Autor.

Gráfico 5: pH da amostra da Água Clarificada (C1)



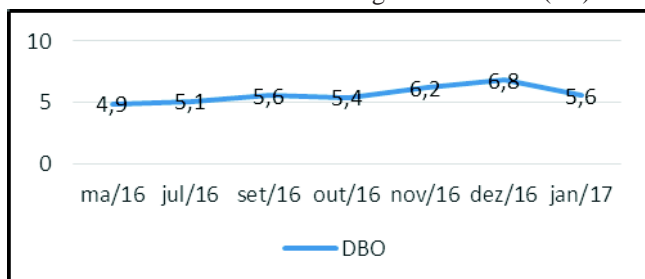
Fonte: Autor.

Gráfico 6: Turbidez da amostra da Água Clarificada (C1)



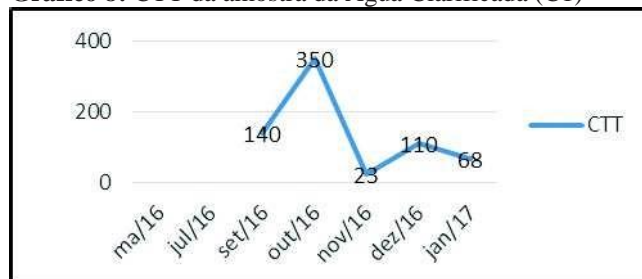
Unidade de medida: *Turbidez* (uT);

Fonte: Autor.

Gráfico 7: DBO da amostra da Água Clarificada (C1)

Unidade de medida: DBO (mg/L)

Fonte: Autor.

Gráfico 8: CTT da amostra da Água Clarificada (C1)

Unidade de medida: CTT (NMP/100mL)

Fonte: Autor.

Os Gráficos 5, 6, 7 e 8 mostram a melhora dos parâmetros analisados referentes à concentração 1 que representa a menor concentração de solução coagulante utilizada no tratamento durante a pesquisa, que é a metade da concentração base (x/2). Com a diminuição da matéria orgânica em suspensão, a demanda bioquímica de oxigênio também teve reduções expressivas, no qual maio foi o único mês que se enquadrou ao VMP referente à Classe 2 da Resolução CONAMA.

No exame bacteriológico, os coliformes, evidenciando a eficiência da técnica de decantação das partículas coloidais nesse primeiro momento com a etapa de clarificação, obtiveram reduções de até 99,5%, como se observa na Tabela 4.

Tabela 4: Redução (%) de CTT da Água Clarificada – Concentração 1 (C1)

	Mai/16	Julho/16	Setembro/16	Outubro/16	Novembro/16	Dezembro/16	Janeiro/17
Redução (%)	-	-	87,3%	87,5%	99,5%	97,9%	98%

Fonte: Autor.

Porém, para água de consumo humano os coliformes termotolerantes, incluindo a *Escherichia coli*, devem ser ausentes, embora os valores obtidos com a clarificação da C1 já possam atender ao VMP para as Classes 2 e 3 do CONAMA. Sendo que existem algumas observações pertinentes à Classe 3 sobre o CTT que dependendo do tipo de uso o VMP pode variar entre 1000 e 4000 NMP/100ml:

- Para dessedentação animal não deverá ser excedido o limite de 1000 NMP/100mL.
- Para o uso de recreação de contato secundário não deverá exceder o limite de 2500 NMP/100mL.
- E para os demais usos não deverá ser excedido um limite de 4000 NMP/100mL.

Quadro 4: Caracterização da Água Clarificada – Concentração 2 (C2)**Água Clarificada (C2)**

	Maio/16	Julho/16	Setembro/16	Outubro/16	Novembro/16	Dezembro/16	Janeiro/17	*VMP	**VMP	***VMP
pH	8,82	9,02	8,92	8,9	9,1	9,07	8,93	6,0 a 9,0	6,0 a 9,0	6,0 a 9,5
Turbidez	9,66	11,3	10,1	12	32	124	37	100	100	5
DBO	5,04	5,9	6,4	6,2	7,14	7,6	6,2	5	10	-
CTT	$>1,6 \times 10^4$	$>1,6 \times 10^4$	$2,7 \times 10^2$	$4,9 \times 10^2$	$4,9 \times 10^1$	$2,2 \times 10^2$	$8,4 \times 10^1$	1×10^3	$2,5 \times 10^3$	Ausência
<i>E. coli</i>	-	-	$4,0 \times 10^1$	$2,4 \times 10^2$	$1,4 \times 10^1$	$1,7 \times 10^2$	$3,3 \times 10^1$	(#)	(#)	Ausência

Fonte: Autor.

Unidade de medida: *Turbidez* (uT); *DBO* (mg/L); *CTT* (NMP/100mL)

*VMP da Resolução CONAMA Nº 357/2005 para as águas doces de classe 2.

**VMP da Resolução CONAMA Nº 357/2005 para as águas doces de classe 3.

***VMP da Portaria do Ministério da Saúde Nº 2.914/2011.

(#) A *E. coli* poderá ser determinada em substituição ao parâmetro coliformes termotolerantes de acordo com limites estabelecidos pelo órgão ambiental competente.

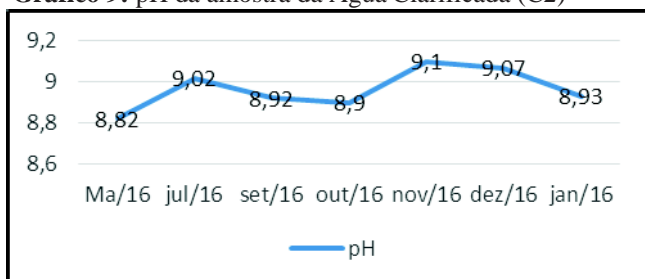
No Quadro 4, com os resultados referentes à C2 que representam a concentração base da solução coagulante utilizada no tratamento durante a pesquisa (x), percebe-se que o pH também não passou por variações significativas, o que ainda lhe atribuíam características alcalinas com valores que variaram entre 8,82 e 9,1.

A redução mais expressiva de turbidez foi correspondente a 95,2% do valor inicial da água bruta, e diferente da C1, a etapa de clarificação com a C2, na maioria dos meses analisados, obteve reduções inferiores a 90%, de acordo com o que pode ser observado na tabela 5.

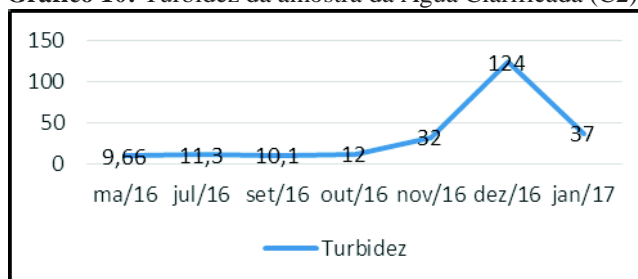
Tabela 5: Redução (%) de Turbidez da Água Clarificada – Concentração 2 (C2)

	Maio/16	Julho/16	Setembro/16	Outubro/16	Novembro/16	Dezembro/16	Janeiro/17
Redução (%)	81,5%	91,8%	95,2%	91,2%	88,6%	63,2%	86,4%

Fonte: Autor.

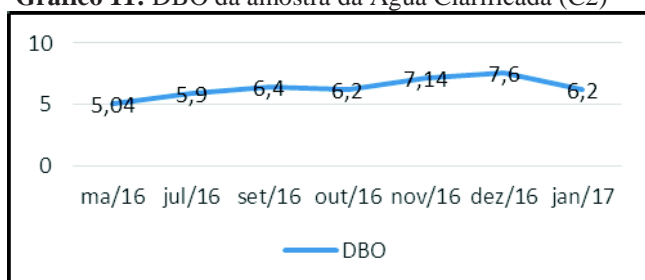
Gráfico 9: pH da amostra da Água Clarificada (C2)

Fonte: Autor.

Gráfico 10: Turbidez da amostra da Água Clarificada (C2)

Unidade de medida: *Turbidez* (uT);

Fonte: Autor.

Gráfico 11: DBO da amostra da Água Clarificada (C2)

Unidade de medida: DBO (mg/L)

Fonte: Autor.

Gráfico 12: CTT da amostra da Água Clarificada (C2)

Unidade de medida: CTT (NMP/100mL)

Fonte: Autor.

Com os Gráficos 9, 10, 11 e 12 também é possível ter a percepção de melhora dos parâmetros na etapa inicial do tratamento com a segunda dosagem do coagulante natural. Como na C1, a C2 obteve reduções importantes na DBO, se equiparada à água bruta do açude Quieto, estando enquadrado à categoria de Classe 3 para as águas doces. No exame bacteriológico, os coliformes, obtiveram reduções de até 99%, como se observa na Tabela 6.

Tabela 6: Redução (%) de CTT da Água Clarificada – Concentração 2 (C2)

	Maio/16	Julho/16	Setembro/16	Outubro/16	Novembro/16	Dezembro/16	Janeiro/17
Redução (%)	-	-	75,4%	82,5%	99%	96%	97,6%

Fonte: Autor.

Quadro 5: Caracterização da água Clarificada – Concentração 3 (C3)**Água Clarificada (C3)**

	Maio/16	Julho/16	Setembro/16	Outubro/16	Novembro/16	Dezembro/16	Janeiro/17	*VMP	**VMP	***VMP
pH	9,02	9,1	9,02	9	9,02	9,16	9,01	6,0 a 9,0	6,0 a 9,0	6,0 a 9,5
Turbidez	11,3	12,4	13,2	32,1	48	111	64	100	100	5
DBO	5,6	6,1	6,3	5,8	6,5	6,9	5,6	5	10	-
CTT	$>1,6 \times 10^4$	$>1,6 \times 10^4$	$2,1 \times 10^2$	$4,3 \times 10^2$	$2,2 \times 10^1$	$1,7 \times 10^2$	$7,9 \times 10^1$	1×10^3	$2,5 \times 10^3$	Ausência
<i>E. coli</i>	-	-	$9,4 \times 10^1$	$8,4 \times 10^1$	$1,7 \times 10^1$	$7,9 \times 10^1$	$1,7 \times 10^1$	(#)	(#)	Ausência

Fonte: Autor.

Unidade de medida: Turbidez (uT); DBO (mg/L); CTT (NMP/100mL)

*VMP da Resolução CONAMA Nº 357/2005 para as águas doces de classe 2.

**VMP da Resolução CONAMA Nº 357/2005 para as águas doces de classe 3.

***VMP da Portaria do Ministério da Saúde Nº 2.914/2011.

(#) A *E. coli* poderá ser determinada em substituição ao parâmetro coliformes termotolerantes de acordo com limites estabelecidos pelo órgão ambiental competente.

Por fim, na concentração C3, que representa o dobro da concentração base de solução coagulante utilizada no processo de tratamento durante a pesquisa (2x), como mostra o Quadro 5, não houve variações significativas no pH, como ocorreu nas concentrações anteriores (C1 e C2) com valores que variaram entre 9 e 9,16.

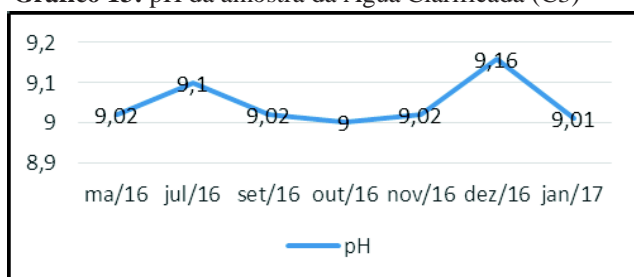
A turbidez obteve reduções superiores a 90% nos meses de Julho, Setembro e Outubro e inferiores a 90% nos demais, conforme pode ser observado na tabela 7.

Tabela 7: Redução (%) de Turbidez da Água Clarificada – Concentração 3 (C3)

	Mai/16	Julho/16	Setembro/16	Outubro/16	Novembro/16	Dezembro/16	Janeiro/17
Redução (%)	78,1%	91%	93,8%	91,2%	88,6%	63,2%	86,4%

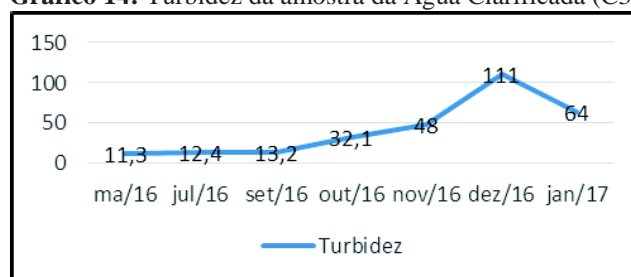
Fonte: Autor.

Gráfico 13: pH da amostra da Água Clarificada (C3)



Fonte: Autor.

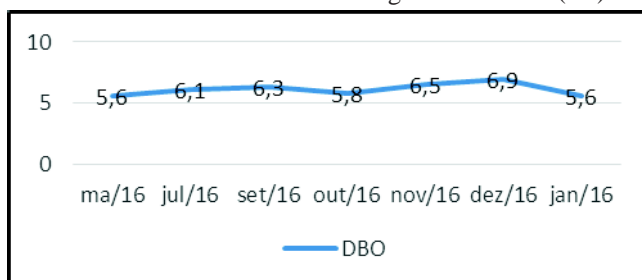
Gráfico 14: Turbidez da amostra da Água Clarificada (C3)



Unidade de medida: *Turbidez* (uT);

Fonte: Autor.

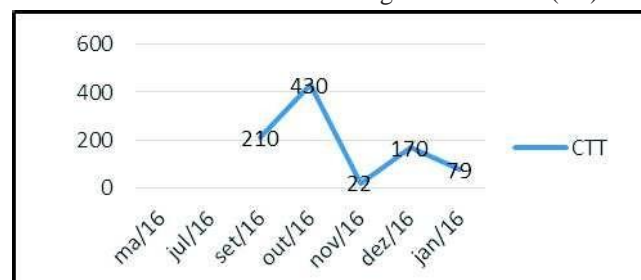
Gráfico 15: DBO da amostra da Água Clarificada (C3)



Unidade de medida: *DBO* em mg/l. Como os Gráficos 13, 14, 15 e 16 podem ser a primeira melhoria nos parâmetros na

Fonte: Autor.

Gráfico 16: CTT da amostra da Água Clarificada (C3)



Fonte: Autor.

C3 obteve reduções na demanda bioquímica de oxigênio, estando dentro do VMP para a Classe 3.

No exame bacteriológico, os coliformes, obtiveram também reduções de até 99%, como se observa na Tabela 8.

Tabela 8: Redução (%) de CTT da Água Clarificada – Concentração 3 (C3)

	Mai/16	Julho/16	Setembro/16	Outubro/16	Novembro/16	Dezembro/16	Janeiro/17
Redução (%)	-	-	80,9%	84,6%	99,5%	96,8%	97,7%

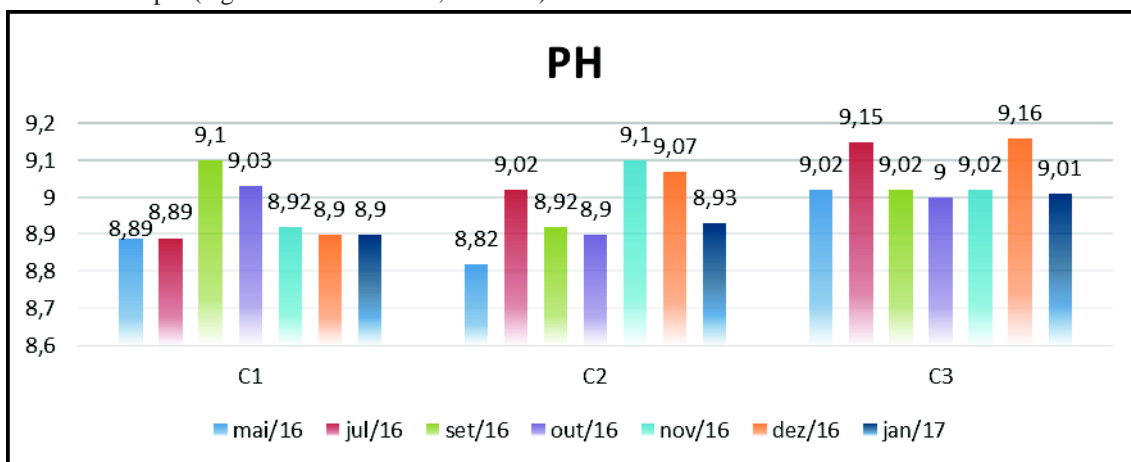
Fonte: Autor.

Ao serem comparadas as três concentrações utilizadas, C1, C2 e C3, tem-se que foram efetivas na redução dos parâmetros físico-químicos e bacteriológicos analisados, no entanto não houve redução em relação ao mal cheiro e nem totalmente com a cor amarelada.

De acordo com os resultados apresentados nos Gráficos 17, 18, 19 e 20, percebe-se que os melhores resultados obtidos nessa etapa inicial de clarificação com a utilização do coagulante natural e da filtração lenta com o filtro de barro foi com a menor concentração do pó da semente de *Moringa oleifera* ($x/2 = 32\text{g.L}^{-1}$), o que corresponde a 96% de redução da turbidez, e 99,5% de coliformes.

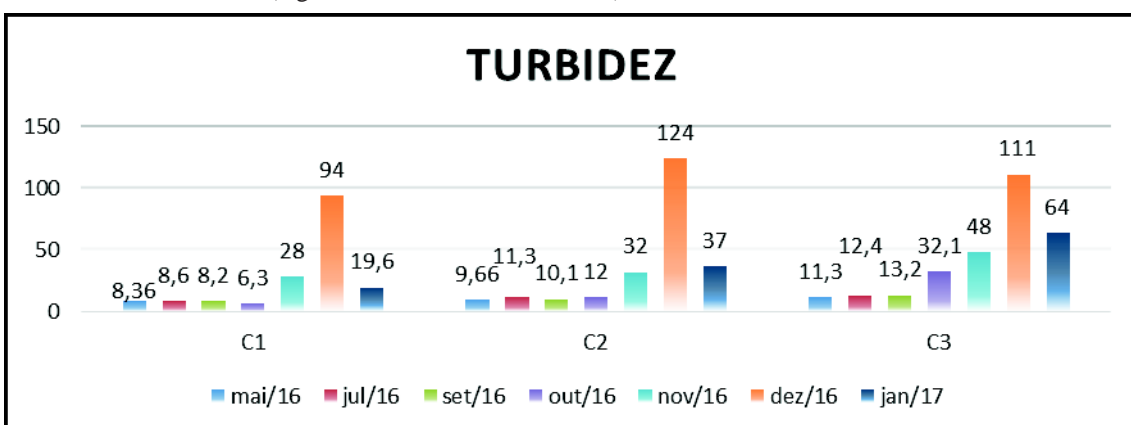
Para a obtenção das 32g do pó da semente de *Moringa oleifera*, quantidade que melhor obteve resultados na clarificação, é necessário ser macerado uma quantidade ao equivalente a 120 sementes, no qual cada amêndoa em média pesa 0,27g.

Gráfico 17: pH (Água Clarificada - C1, C2 e C3)



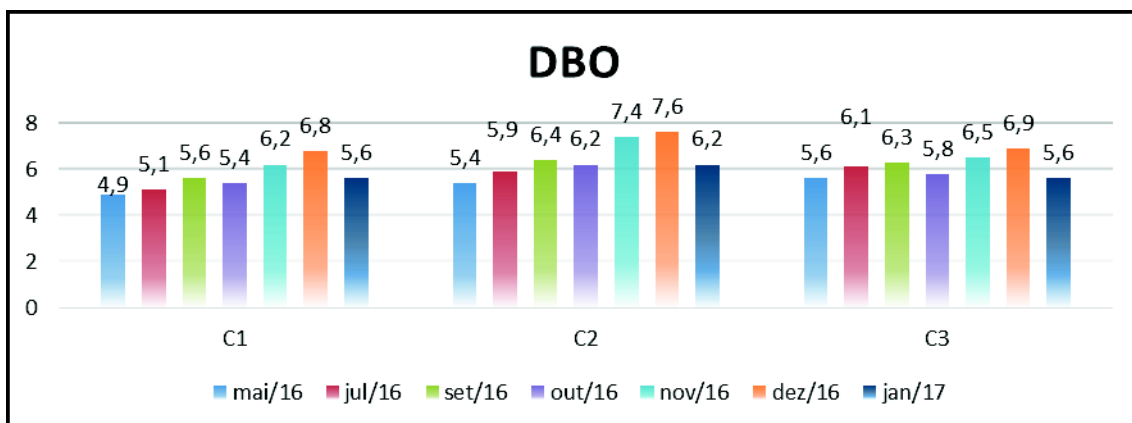
Fonte: Autor.

Gráfico 18: Turbidez (Água Clarificada - C1, C2 e C3)



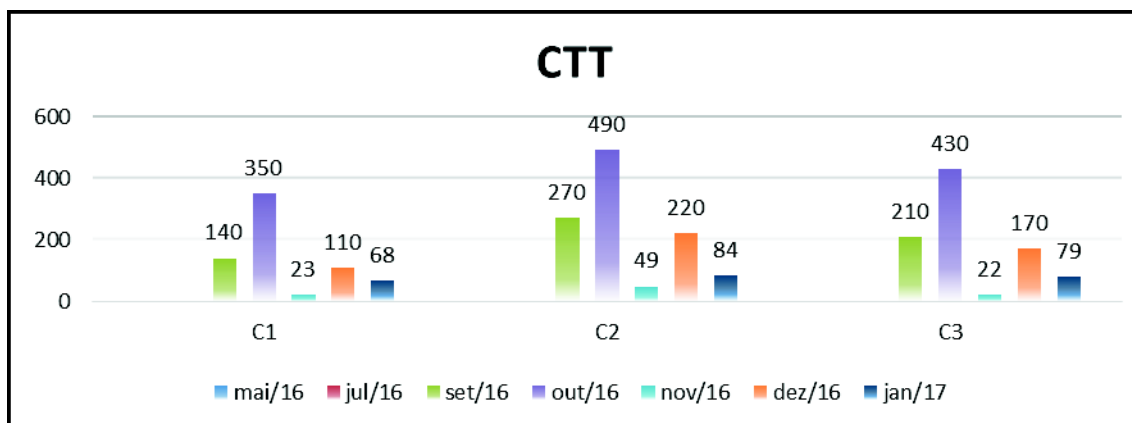
Unidade de medida: Turbidez (uT);

Fonte: Autor.

Gráfico 19: DBO (Água Clarificada - C1, C2 e C3)

Unidade de medida: DBO (mg/L)

Fonte: Autor.

Gráfico 20: CTT (Água Clarificada - C1, C2 e C3)

Unidade de medida: CTT (NMP/100mL)

Fonte: Autor.

O pH em todas as amostras, incluindo a água bruta, não tiveram alterações tão significativas, com uma média de 9,09 (água bruta), 8,94 (C1), 8,96 (C2) e 9,05 (C3), o que denota que a etapa de clarificação com o uso do coagulante natural *Moringa oleifera* não alterou de forma expressiva as condições químicas da água. Já a turbidez, a DBO, e o CTT, nessa primeira etapa do tratamento apresentaram consideráveis reduções em comparação com a água bruta, de acordo com a Tabela 9.

Tabela 9: Percentual de redução MÍN e MÁX dos parâmetros *Turbidez*, *DBO* e *CTT* entre as concentrações C1, C2 e C3 e a Água Bruta

	Turbidez	DBO	CTT
Redução Mín	80%	32%	91%
Redução Máx	88%	41%	94%

Fonte: Autor.

Desinfecção

Os quadros 6, 7 e 8 apresentam os resultados finais do tratamento após a exposição da água clarificada aos raios solares através da tecnologia SODIS. Em todas as três amostras (C1, C2 e C3) observou-se que o potencial hidrogeniônico continuou não tendo tanta variação, ainda assim, a etapa de desinfecção apresentou bons resultados, demonstrando eficiência no processo de redução dos demais parâmetros analisados.

Quadro 6: Caracterização da Água Desinfetada – Concentração 1 (C1)

Água Desinfetada (C1)

	Maio/16	Julho/16	Setembro/16	Outubro/16	Novembro/16	Dezembro/16	Janeiro/17	*VMP	**VMP	***VMP
pH	8,79	8,92	9,2	8,82	9,01	9	8,96	6,0 a 9,0	6,0 a 9,0	6,0 a 9,5
Turbidez	5,34	6,3	4,7	4,2	10,1	42	4	100	100	5
DBO	4,6	4,8	5,2	4,7	5,8	5,6	4,4	5	10	-
CTT	>1,6 x 10 ⁴	>1,6 x 10 ⁴	9,4 x 10 ¹	1,7 x 10 ²	1,3 x 10 ¹	2,2 x 10 ¹	4,5 x 10 ⁰	1 x 10 ³	2,5 x 10 ³	Ausência
<i>E. coli</i>	-	-	7 x 10 ¹	1,3 x 10 ²	1,3 x 10 ¹	2,2 x 10 ¹	2,3 x 10 ¹	(#)	(#)	Ausência

Fonte: Autor.

Unidade de medida: *Turbidez* (uT); *DBO* (mg/L); *CTT* (NMP/100mL)

*VMP da Resolução CONAMA N° 357/2005 para as águas doces de classe 2.

**VMP da Resolução CONAMA N° 357/2005 para as águas doces de classe 3.

***VMP da Portaria do Ministério da Saúde N° 2.914/2011.

(#) A *E. coli* poderá ser determinada em substituição ao parâmetro coliformes termotolerantes de acordo com limites estabelecidos pelo órgão ambiental competente.

Com a C1, na etapa final, a eficiência de remoção da turbidez atingiu durante a pesquisa o percentual de 98,5%, como se observa na Tabela 10, o que foi possível enquadrar algumas das amostras tratadas aos limites permitidos pela Portaria do Ministério da Saúde, nos meses de Set/16, Out/16 e Jan/17 (Quadro 5). Ainda assim, a turbidez em todos os meses analisados obteve resultados positivos por se enquadrar ao VMP que a Resolução CONAMA exige tanto para a Classe 2 quanto para a Classe 3 das Águas Doces.

Tabela 10: Redução (%) de Turbidez da Água Desinfetada – Concentração 1 (C1)

	Maio/16	Julho/16	Setembro/16	Outubro/16	Novembro/16	Dezembro/16	Janeiro/17
Redução (%)	89,8%	95,4%	97,8%	96,9%	96,4%	87,5%	98,5%

Fonte: Autor.

A tecnologia SODIS também foi importante para a eficiência na redução da DBO por enquadrar as amostras da C1 aos valores permitidos pelo CONAMA para a Classe 2 nos meses de Maio/16, Julho/16, Outubro/16 e Janeiro/17.

Além dos parâmetros físico-químicos terem obtidos bons resultados, o exame bacteriológico na desinfecção solar produziu eficiência de inativação de coliformes termotolerantes em até 99,8%, como se observa na Tabela 11.

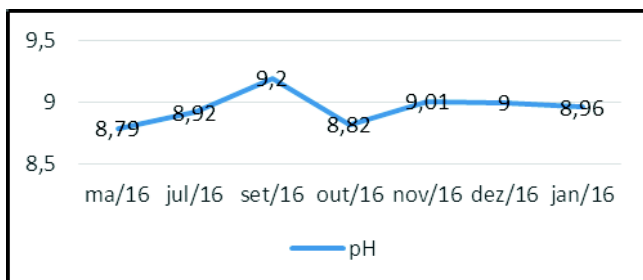
Tabela 11: Redução (%) de CTT da Água Desinfetada – Concentração 1 (C1)

	Maio/16	Julho/16	Setembro/16	Outubro/16	Novembro/16	Dezembro/16	Janeiro/17
Redução (%)	-	-	91,4%	93,9%	99,7%	99,6%	99,8%

Fonte: Autor.

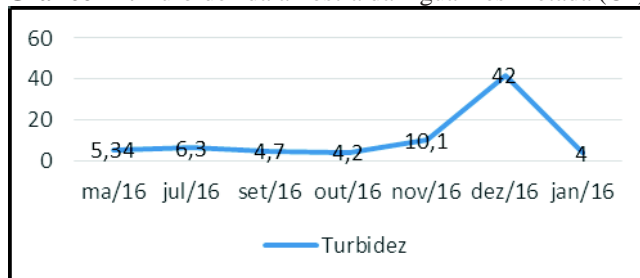
Os Gráficos 21, 22, 23 e 24 mostram a evolução dos resultados da Concentração 1 ao longo dos meses analisados na etapa de desinfecção, última etapa do processo de tratamento da pesquisa.

Gráfico 21: pH da amostra da Água Desinfetada (C1)



Fonte: Autor.

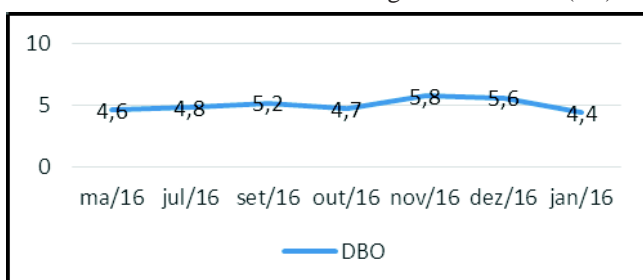
Gráfico 22: Turbidez da amostra da Água Desinfetada (C1)



Unidade de medida: *Turbidez* (uT);

Fonte: Autor.

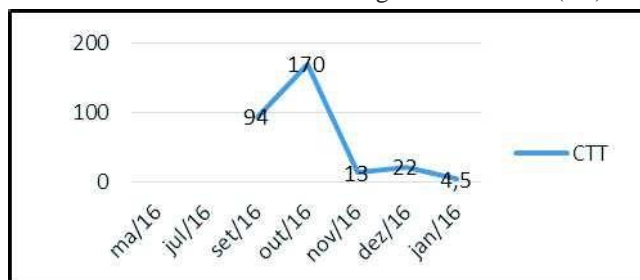
Gráfico 23: DBO da amostra da Água Desinfetada (C1)



Unidade de medida: *DBO* (mg/L)

Fonte: Autor.

Gráfico 24: CTT da amostra da Água Desinfetada (C1)



Unidade de medida: *CTT* (NMP/100mL)

Fonte: Autor.

Quadro 7: Caracterização da Água Desinfetada – Concentração 2 (C2)**Água Desinfetada (C2)**

	Maio/16	Julho/16	Setembro/16	Outubro/16	Novembro/16	Dezembro/16	Janeiro/17	*VMP	**VMP	***VMP
pH	8,86	9	8,88	8,7	9,1	9,05	9	6,0 a 9,0	6,0 a 9,0	6,0 a 9,5
Turbidez	7,8	9,1	6,8	8,6	33	82	10,8	100	100	5
DBO	5,3	5,3	6	5,9	6,1	6,9	5,6	5	10	-
CTT	$>1,6 \times 10^4$	$>1,6 \times 10^4$	$1,3 \times 10^2$	$3,3 \times 10^2$	$2,2 \times 10^1$	$3,3 \times 10^1$	$5,8 \times 10^1$	1×10^3	$2,5 \times 10^3$	Ausência
<i>E. coli</i>	-	-	$4,9 \times 10^1$	$1,7 \times 10^2$	$2,2 \times 10^1$	$2,6 \times 10^1$	$2,3 \times 10^1$	(#)	(#)	Ausência

Fonte: Autor.

Unidade de medida: *Turbidez* (uT); *DBO* (mg/L); *CTT* (NMP/100mL)

*VMP da Resolução CONAMA N° 357/2005 para as águas doces de classe 2.

**VMP da Resolução CONAMA N° 357/2005 para as águas doces de classe 3.

***VMP da Portaria do Ministério da Saúde N° 2.914/2011.

(#) A *E. coli* poderá ser determinada em substituição ao parâmetro coliformes termotolerantes de acordo com limites estabelecidos pelo órgão ambiental competente.

Como pode ser observado no Quadro 7, os resultados das análises feitas da C2 após o SODIS tiveram significativos resultados, e conforme as Tabelas 12 e 13, houveram eficiências de 96,8% de redução para a turbidez e 99,5% de redução para os coliformes termotolerantes.

Tabela 12: Redução (%) de Turbidez da Água Desinfetada – Concentração 2 (C2)

	Maio/16	Julho/16	Setembro/16	Outubro/16	Novembro/16	Dezembro/16	Janeiro/17
Redução (%)	85%	93,4%	96,8 %	93,7%	88,2%	75,6%	96%

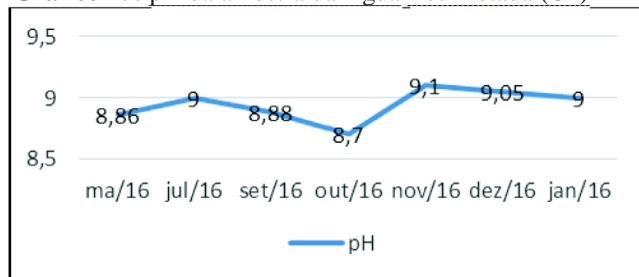
Fonte: Autor.

Tabela 13: Redução (%) de CTT da Água Desinfetada – Concentração 2 (C2)

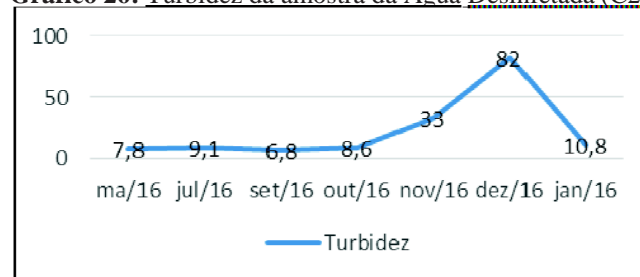
	Maio/16	Julho/16	Setembro/16	Outubro/16	Novembro/16	Dezembro/16	Janeiro/17
Redução (%)	-	-	88,2%	88,2%	99,5%	99,4%	98,34%

Fonte: Autor.

Com a concentração adotada inicialmente para essa amostra (C2), após a desinfecção, a turbidez nenhuma vez esteve enquadrada na Portaria do MS, porém os resultados foram suficientes para se enquadrarem na Resolução CONAMA para as Águas Doces de Classe 2 e 3. Já a DBO, os resultados mostram que foi possível chegar ao VMP para a Classe 3 do CONAMA.

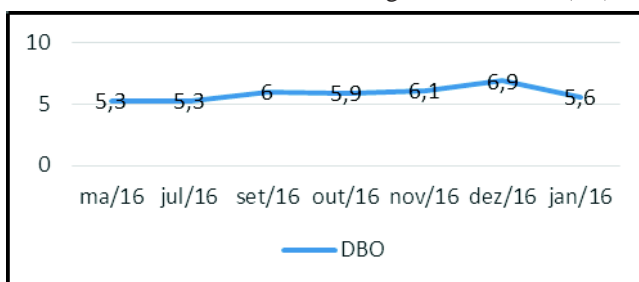
Gráfico 25: pH da amostra da Água Desinfetada (C2)

Fonte: Autor.

Gráfico 26: Turbidez da amostra da Água Desinfetada (C2)

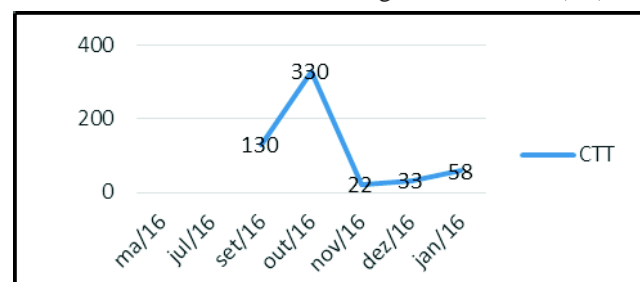
Unidade de medida: *Turbidez* (uT);

Fonte: Autor.

Gráfico 27: DBO da amostra da Água Desinfetada (C2)

Unidade de medida: *DBO* (mg/L)

Fonte: Autor.

Gráfico 28: CTT da amostra da Água Desinfetada (C2)

Unidade de medida: *CTT* (NMP/100mL)

Fonte: Autor.

Nos Gráficos 25, 26, 27 e 28 podemos visualizar a eficiência obtida nos resultados da Concentração 2 ao longo dos meses analisados na etapa do SODIS.

Quadro 8: Caracterização da Água Desinfetada – Concentração 3 (C3)

Água Desinfetada (C3)

	Maio/16	Julho/16	Setembro/16	Outubro/16	Novembro/16	Dezembro/16	Janeiro/17	*VMP	**VMP	***VMP
pH	8,9	9,1	9	8,77	9	9,12	9,1	6,0 a 9,0	6,0 a 9,0	6,0 a 9,5
Turbidez	9,2	10	10,1	22	42	90	33	100	100	5
DBO	5,4	5,6	6,2	6,2	7,1	7,7	6,1	5	10	-
CTT	>1,6 x 10 ⁴	>1,6 x 10 ⁴	1,7 x 10 ²	2,2 x 10 ²	1,7 x 10 ¹	2,3 x 10 ¹	1,7 x 10 ¹	1 x 10 ³	2,5 x 10 ³	Ausência
<i>E. coli</i>	-	-	4,9 x 10 ¹	1,3 x 10 ²	1,3 x 10 ¹	2,3 x 10 ¹	6,8 x 10 ⁰	(#)	(#)	Ausência

Fonte: Autor.

Unidade de medida: *Turbidez* (uT); *DBO* (mg/L); *CTT* (NMP/100mL)

*VMP da Resolução CONAMA N° 357/2005 para as águas doces de classe 2.

**VMP da Resolução CONAMA N° 357/2005 para as águas doces de classe 3.

***VMP da Portaria do Ministério da Saúde N° 2.914/2011.

(#) A *E. coli* poderá ser determinada em substituição ao parâmetro coliformes termotolerantes de acordo com limites estabelecidos pelo órgão ambiental competente.

Na última concentração definida para a pesquisa (C3), como nas outras duas concentrações anteriormente analisadas (C1 e C2), foi possível significativas reduções

dos parâmetros estabelecidos para análise da água do açude Quieto de acordo com o Quadro 8 a partir da desinfecção solar. No entanto, das três amostras, esta última foi a que obteve os menores resultados do que as demais, embora tenha sido bastante significativo as reduções

Como pode ser observado nas Tabelas 14 e 15, houveram eficiências de 95,2% de redução para a turbidez e 99,5% de redução para os coliformes termotolerantes.

Tabela 14: Redução (%) de Turbidez da Água Desinfetada – Concentração 3 (C3)

	Maio/16	Julho/16	Setembro/16	Outubro/16	Novembro/16	Dezembro/16	Janeiro/17
Redução (%)	82,4%	92,7%	95,2 %	83,9%	85%	73,3%	87,9%

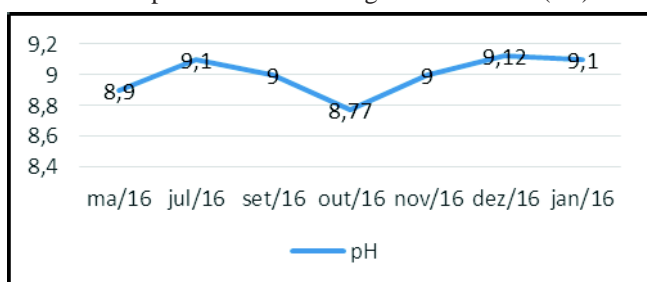
Fonte: Autor.

Tabela 15: Redução (%) de CTT da Água Desinfetada – Concentração 3 (C3)

	Maio/16	Julho/16	Setembro/16	Outubro/16	Novembro/16	Dezembro/16	Janeiro/17
Redução (%)	-	-	84,5%	92,1%	96,5%	99,5%	95,1%

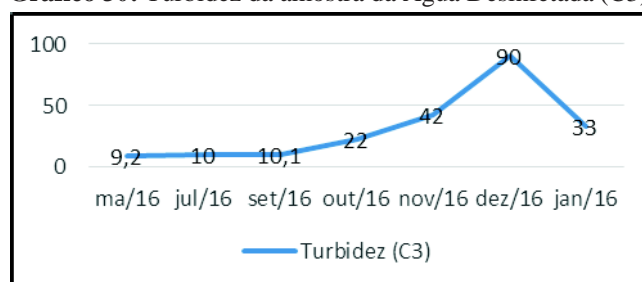
Fonte: Autor.

Gráfico 29: pH da amostra da Água Desinfetada (C3)



Fonte: Autor.

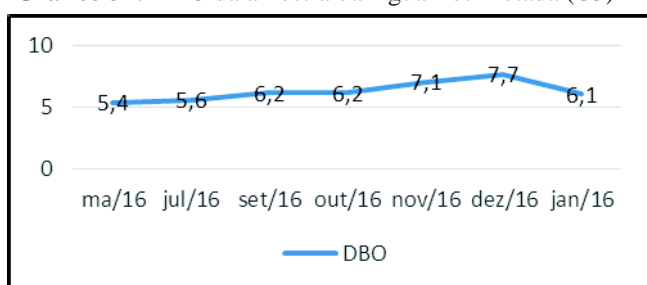
Gráfico 30: Turbidez da amostra da Água Desinfetada (C3)



Unidade de medida: *Turbidez* (uT);

Fonte: Autor.

Gráfico 31: DBO da amostra da Água Desinfetada (C3)



Unidade de medida: *DBO* (mg/L)

Fonte: Autor.

Gráfico 32: CTT da amostra da Água Desinfetada (C3)



Unidade de medida: *CTT* (NMP/100mL)

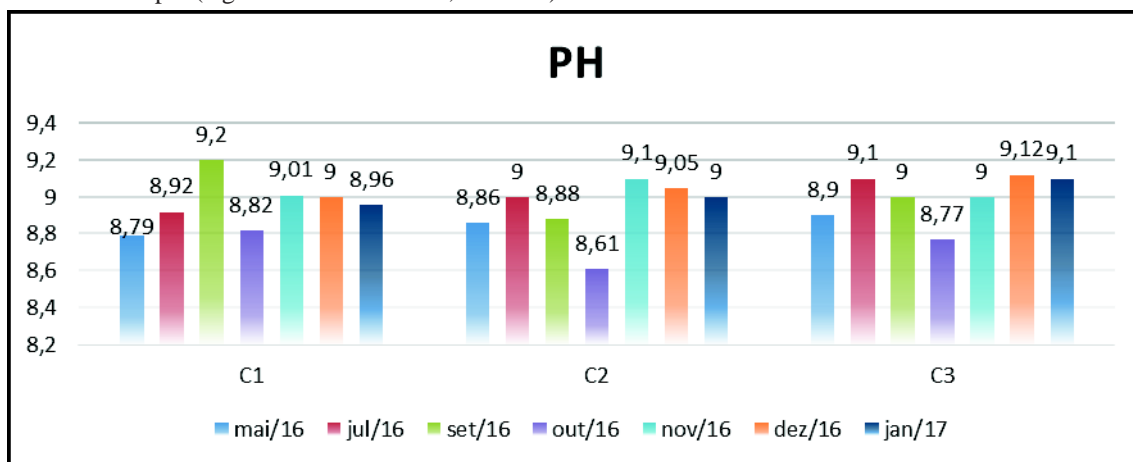
Fonte: Autor.

Ao compararmos as três concentrações após a etapa de desinfecção com o uso da tecnologia SODIS, é possível observar que a C1 dentre as três concentrações iniciais que foram adotadas para a pesquisa foi a que continuou tendo os melhores resultados.

Nos Gráficos 33, 34 e 35, é possível observar a importância e a eficiência da desinfecção solar enquanto alternativa sustentável nas técnicas de tratamento de água para comunidades difusas.

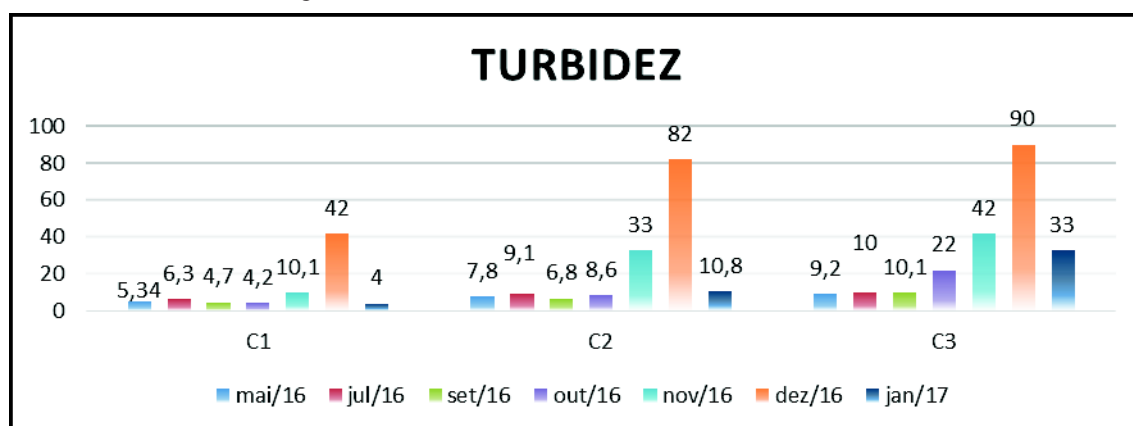
O tempo de exposição à radiação solar foi a mesma para todas as concentrações, com um período de 6 horas, das 9:00 às 15:00, no qual os raios incidem de forma mais intensa (BOTTO, 2006).

Gráfico 33: pH (Água Desinfectada - C1, C2 e C3)



Fonte: Autor.

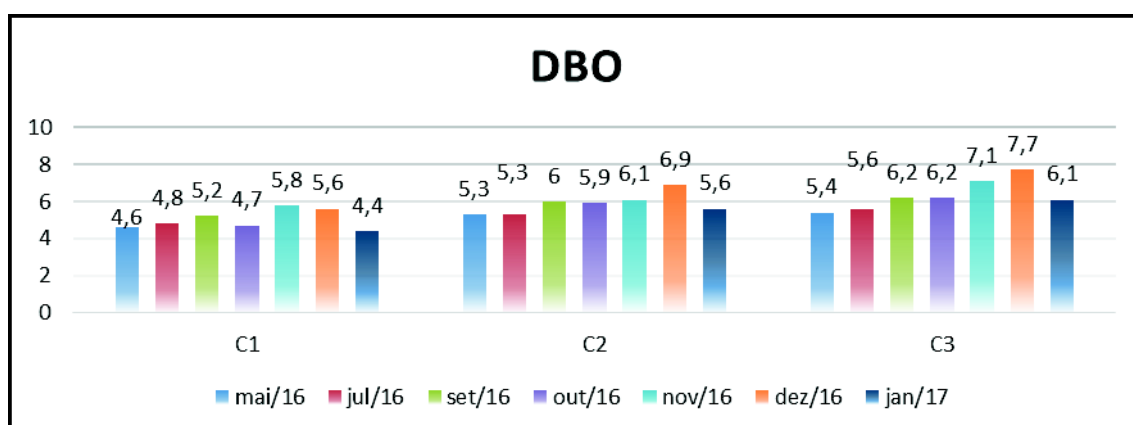
Gráfico 34: Turbidez (Água Desinfectada - C1, C2 e C3)



Unidade de medida: *Turbidez* (uT);

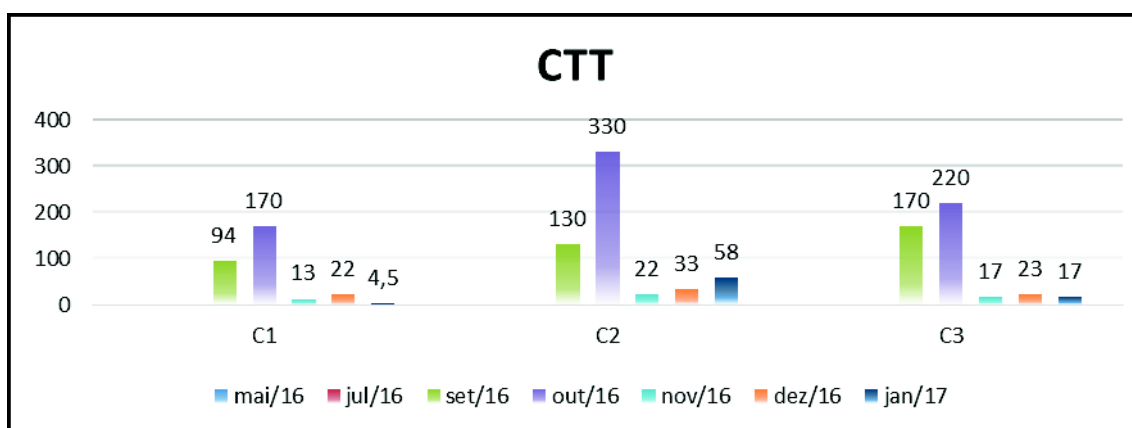
Fonte: Autor.

Gráfico 35: DBO (Água Desinfectada - C1, C2 e C3)



Unidade de medida: *DBO* (mg/L)

Fonte: Autor.

Gráfico 36: CTT (Água Desinfectada - C1, C2 e C3)

Unidade de medida: CTT (NMP/100mL)

Fonte: Autor.

Para testar a eficiência do tratamento, ao mesmo tempo em que a água bruta coletada do açude Quieto passava pelo processo de clarificação e desinfecção, parte da amostra era colocada em repouso denominada como controle, no qual não passava por nenhum tipo de tratamento.

Com o tratamento concluído, o controle era analisado para verificar se houve melhorias ou não na qualidade dessa água que ficou completamente em repouso. Assim, o Quadro 9 informa os resultados obtido a partir das análises feitas entre Maio/16 até Janeiro/17.

Quadro 9: Caracterização da Água Não Tratada – Controle

Água Não Tratada (CONTROLE)

	Mai/16	Julho/16	Setembro/16	Outubro/16	Novembro/16	Dezembro/16	Janeiro/17	*VMP	**VMP	***VMP
pH	8,7	8,9	9,1	9,1	9,12	9,14	9,04	6,0 a 9,0	6,0 a 9,0	6,0 a 9,5
Turbidez	41,5	106	176	98	212	297	189	100	100	5
DBO	6,3	7,9	8,3	8,6	9,6	10,4	7,6	5	10	-
CTT	$2,2 \times 10^2$	$7,9 \times 10^2$	$9,2 \times 10^2$	$1,4 \times 10^3$	$2,3 \times 10^3$	$3,5 \times 10^3$	$1,7 \times 10^3$	1×10^3	$2,5 \times 10^3$	Ausência
<i>E. coli</i>	$2,1 \times 10^1$	$1,3 \times 10^2$	$4,8 \times 10^1$	$3,5 \times 10^2$	$2,1 \times 10^2$	$2,1 \times 10^2$	$1,5 \times 10^2$	(#)	(#)	Ausência

Fonte: Autor.

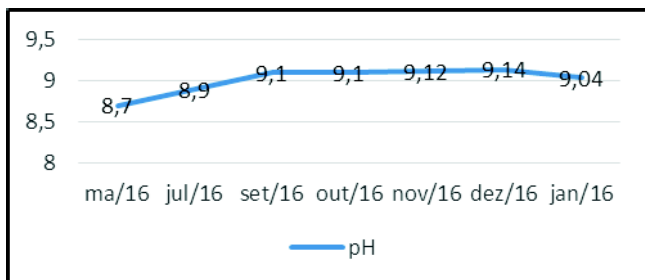
Unidade de medida: Turbidez (uT); DBO (mg/L); CTT (NMP/100mL)

*VMP da Resolução CONAMA Nº 357/2005 para as águas doces de classe 2.

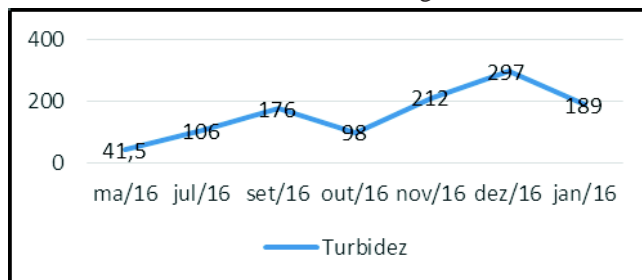
**VMP da Resolução CONAMA Nº 357/2005 para as águas doces de classe 3.

***VMP da Portaria do Ministério da Saúde Nº 2.914/2011.

(#) A *E. coli* poderá ser determinada em substituição ao parâmetro coliformes termotolerantes de acordo com limites estabelecidos pelo órgão ambiental competente.

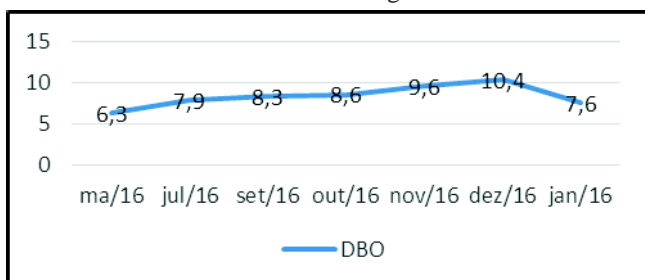
Gráfico 37: pH da amostra da Água Não Tratada

Fonte: Autor.

Gráfico 38: Turbidez da amostra da Água Não Tratada

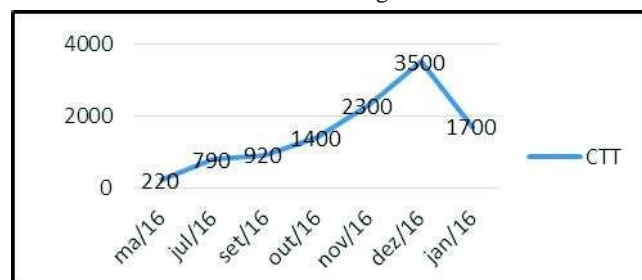
Unidade de medida: *Turbidez* (uT);

Fonte: Autor.

Gráfico 39: DBO da amostra da Água Não Tratada

Unidade de medida: *DBO* (mg/L)

Fonte: Autor.

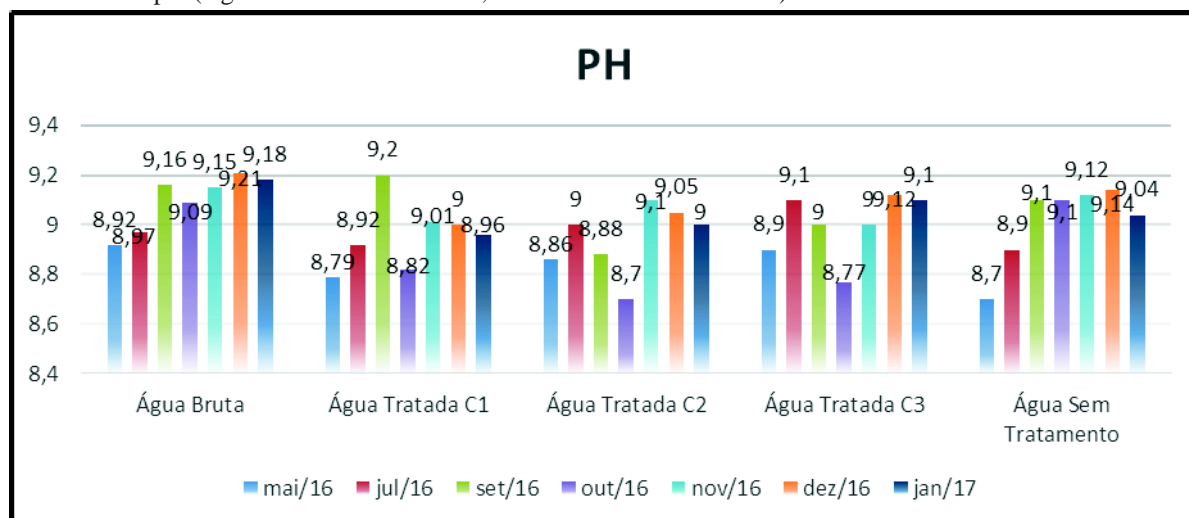
Gráfico 40: CTT da amostra da Água Não Tratada

Unidade de medida: *CTT* (NMP/100mL)

Fonte: Autor.

Com os Gráficos 37 ao 40, observa-se que o Controle seguiu os mesmos padrões de resultados da Água Bruta, ou seja, piorando sua qualidade ao longo dos meses a partir dos parâmetros físico-químicos e bacteriológicos analisados. No entanto, a água que foi destinada a ficar em repouso com o objetivo de compará-la com a água no início do processo e também após o processo obteve melhoras ao permanecer em repouso, porém, não tão significativas como as que foram alcançadas com as etapas de tratamento.

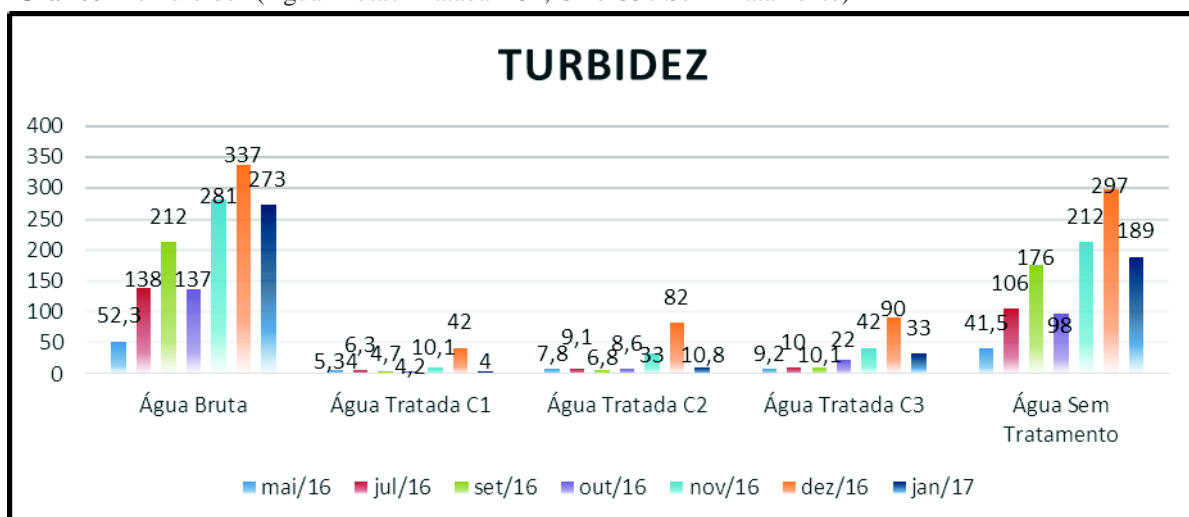
Nessa etapa da pesquisa foi possível obter reduções de até 30,7% de turbidez, 22,4% de DBO e 53% de coliformes fecais. E quando comparamos todos os resultados das amostras analisadas referentes à Água Bruta, às três Concentrações (C1, C2 e C3) após a desinfecção com o SODIS e o Controle destaca-se que o tratamento da água adotado na pesquisa é significativo.

Gráfico 41: pH (Água Bruta / Tratada - C1, C2 e C3 / Sem Tratamento)

Fonte: Autor.

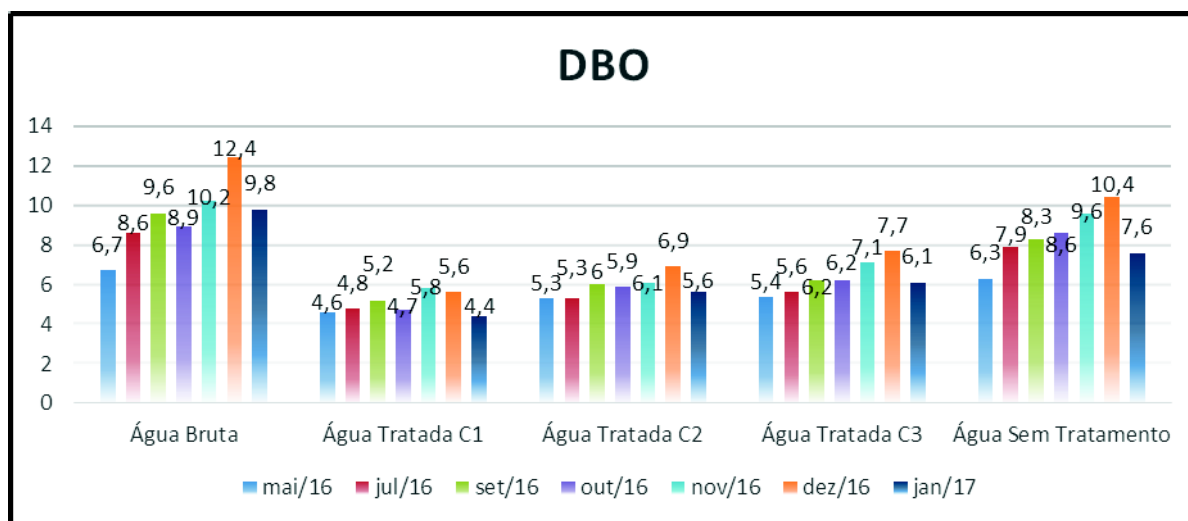
No processo de tratamento, uma das vantagens relacionadas a utilização do coagulante natural da semente da *Moringa oleífera* é que o pH das amostras não tem alterações significativas (NDABIGENGESERE e NARASIAH, 1998; TANAC, 2007), facilitando a operação e diminuindo custos. Ao contrário do que acontece com os coagulantes químicos como o sulfato de alumínio, em que é necessário ajustar o pH da água para melhorar sua ação coagulante, aumentando a quantidade e o custo de reagentes químicos para tratamento de água (NISHI, et al., 2011).

O Gráfico 41 também mostra que os valores de todos os ensaios para o pH, de modo geral, foram semelhantes, se mantendo entre 8,92 e 9,18 na água bruta; 8,79 e 9,2 na água tratada C1; 8,7 e 9,1 na água tratada C2; 8,77 e 9,12 na água tratada C3; e 8,7 e 9,14 na água que não passou pelo tratamento.

Gráfico 42: Turbidez (Água Bruta / Tratada - C1, C2 e C3 / Sem Tratamento)

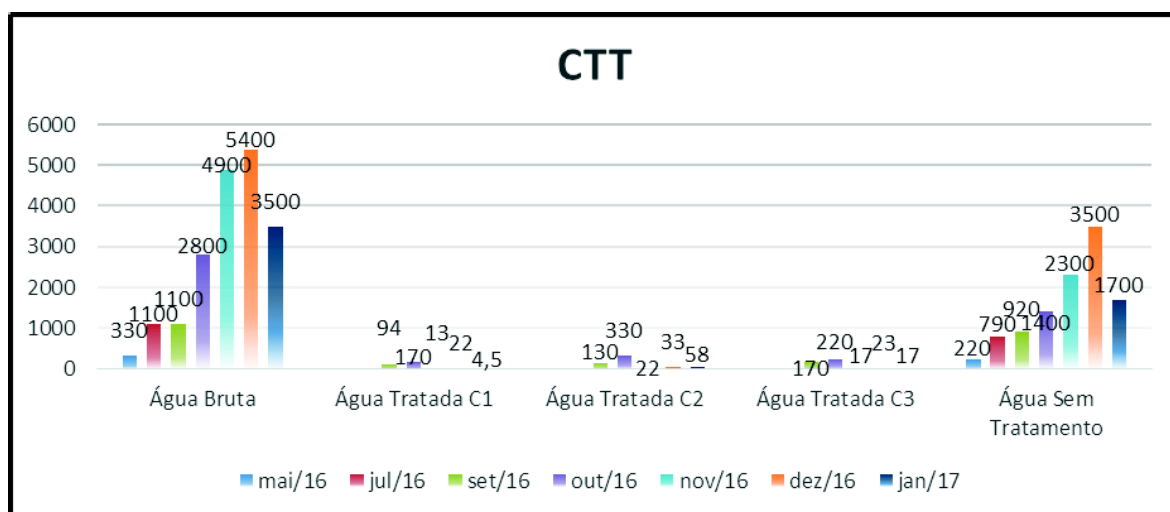
Unidade de medida: Turbidez (uT);

Fonte: Autor.

Gráfico 43: DBO (Água Bruta / Tratada - C1, C2 e C3 / Sem Tratamento)

Unidade de medida: *DBO* (mg/L)

Fonte: Autor.

Gráfico 44: CTT (Água Bruta / Tratada - C1, C2 e C3 / Sem Tratamento)

Unidade de medida: *CTT* (NMP/100mL)

Fonte: Autor.

Com os gráficos 42, 43 e 44 são confirmados a eficiência da redução dos parâmetros escolhidos após as técnicas de clarificação e desinfecção com o viés sustentável ao utilizar materiais naturais e que são amplamente disponíveis na natureza.

Feitosa (2011), estudando os açudes Paus Branco e Mel no Assentamento 25 de Maio, registrou que a turbidez foi maior no período seco sendo provocado principalmente pela concentração de fitoplâncton (clorofila “a”), o que também ocorreu com o açude com o avançar das coletas.

Sobre a $DBO_{5,20}$, Pacheco (2009), estudando o açude Acarape do Meio e Feitosa (2011), o açude Mel, no Ceará, também ambos registraram concentrações

maiores no período seco, assim como registrado no açude Quieto, neste trabalho. Porém com o tratamento foi possível a redução dos valores iniciais.

O que diferencia as três concentrações é a quantidade empregada de coagulante natural no processo de floculação e decantação, em que é crescente da C1 para a C3. Todas as amostras, até mesmo a água que não passou pelo tratamento teve valores diferentes e menores em referência ao estágio inicial com a água bruta. Porém, com o tratamento as amostras obtiveram melhores resultados do que só deixá-la em repouso.

Em nenhuma das concentrações foi possível enquadrar no VMP que a Portaria do MS exige, mas foi eficiente ao enquadrar a C1 nos meses de Maio/16, Julho/16, Outubro/16 e Janeiro/17 no VMP para o enquadramento dos corpos d'água de Classe 2 para as águas Doces de acordo com a legislação vigente da Resolução Conama 357/05.

Ainda assim, pode-se perceber que esses sistemas simples de tratamento de água podem ser utilizados como alternativas viáveis para a melhoria da qualidade das águas consumidas pelas comunidades rurais do semiárido brasileiro. Se as comunidades rurais do semiárido adotassem esses sistemas de tratamento de água, melhorariam os hábitos de higiene e a qualidade de vida dessas populações, diminuindo o número de doenças de veiculação hídrica e colaborando para o desenvolvimento sustentável da região.

5 CONCLUSÃO

A realização desta pesquisa demonstrou que a utilização do extrato da semente da *Moringa oleifera* com a solução coagulante, além do auxílio da filtração lenta com o filtro de barro e da desinfecção com os raios solares através da tecnologia SODIS, foi possível obter reduções significativas nos parâmetros físico-químicos e bacteriológicos analisados.

Assim, com base nos resultados obtidos durante a pesquisa, entre as principais conclusões destacou-se que a semente da *Moringa oleifera* é um eficiente coagulante natural que pode ser utilizado para um sistema de tratamento de água, sendo uma alternativa sustentável por ser um insumo que é encontrado na natureza. No entanto, para eficiência efetiva do tratamento adotado, recomenda-se a combinação de outras técnicas com objetivos direcionados para a redução de cor, odor e da forte concentração de cianobactérias que mesmo com todo o tratamento utilizado durante a pesquisa não foi possível remover 100% como pede a Portaria do MS nº. 2.914/05.

Com o uso das três concentrações de solução coagulante (C1, C2 e C3) observou-se que, quanto maior a concentração do pó da semente de moringa, maior era a concentração de matéria em suspensão em todas as etapas de tratamento, tanto na clarificação quanto na desinfecção: C3>C2>C1. Sendo assim, a Concentração mais baixa entre as investigadas (C1 - 32g.L⁻¹), foi a dosagem que obteve os melhores resultados.

No geral, as três concentrações obtiveram significativas reduções ao ser comparadas à condição do estado inicial da água bruta com a água após o tratamento e com a água que não passou pelo tratamento. Porém, como a situação da água bruta durante a pesquisa nos meses de coleta se encontrava bastante poluída e contaminada, devido à presença acentuada de cianobactérias, por exemplo, no qual nem as famílias mais se utilizavam dessa água, na fase de filtração houve um contratempo que dificultava o delineamento do processo.

A filtração todas às vezes acontecia de forma muito lenta e demorada, e isso devido à rápida colmatação que acontecia com o meio filtrante nas paredes das velas do filtro de barro, o que prejudicava e inviabilizava as velas de serem utilizadas também posteriormente. Sendo recomendável que seja utilizado em pesquisas posteriores filtro com carvão ativado sob o qual também é um importante removedor de odor.

Ainda assim, com o tratamento foi possível em 100% gerar melhoras com a moringa e o SODIS, e em mais de 50% das amostras mensais, ou seja, dos sete meses de coleta, quatro foram positivos ao enquadrá-los aos corpos d'água de Água Doce de Classe 2 que a Resolução CONAMA nº357/05 adota. Entretanto, não houve resultados positivos, entre as três concentrações utilizadas, que enquadrassem a água tratada aos limites exigidos pela Portaria do MS nº 2.914/11 para a potabilidade humana. Apesar de que com a turbidez foi possível obter resultados positivos aos limites exigidos pelo MS, estando abaixo do VMP que é exigido.

Se tratando do pH, o parâmetro apresentou pouca variação, sendo uma das vantagens do coagulante natural extraído das sementes da *Moringa oleifera*.

Já em relação às amostras controle, a água que não passou pelo tratamento, foi possível obter eficiência na redução dos valores iniciais dos parâmetros, mas que não foram superiores aos que foram obtidos com o tratamento. No controle, houve uma redução de 30,7% na turbidez, de 22,4% na DBO e 53% com o CTT, e na água que teve a adição da dosagem de 32g. L⁻¹ na etapa inicial proporcionou eficiência de remoção de 98,5% na turbidez, 55,1% na DBO e 99,7% no CTT.

Assim, é indiscutível a melhora sanitária da água com o uso da tecnologia SODIS, no que foi evidenciada, a partir das análises, a redução de coliformes termotolerantes.

Dessa forma, a aplicação do extrato obtido das sementes de *Moringa oleifera*, somado à etapa de filtração lenta com o filtro de barro e desinfecção solar com a tecnologia SODIS, apresentou-se de forma eficiente enquanto alternativa de tratamento de água bastante viável para a melhora da qualidade da água quando comparada com o estágio inicial da água bruta.

O tratamento proposto no âmbito da presente pesquisa, apesar de ter melhorado a qualidade da água dos açudes do Assentamento 25 de Maio após cinco anos de seca, não a tornou potável.

REFERÊNCIAS

ABIPET. (Associação Brasileira da Indústria do Pet). **Resina PET – O que é PET?** 2012. Disponível em: <http://www.abipet.org.br/index.html?method=mostrarInstitu=81>. Acesso em: 13/05/2017.

AB'SABER, A. N. O domínio morfoclimático semiárido das caatingas brasileiras. In: **Geomorfologia**. São Paulo: USO – Instituto de Geografia (periódico). N. 20, v. 43, p. 1-37. 1974.

ACRA, A.; RAFFOUL, Z.; KARAHAGOPIAN, Y. **Solar disinfection of drinking water and oral rehydration solution- guidelines for households application in developing countries**. Department of Environmental Health. Beirut. American University of Beirut. UNICEF, 1984.

ANDRADE, E. M.; PEREIRA, O. J. Alternativas de convivência com o semiárido. In.: ANDRADE, E. M.; PEREIRA, O. J.; DANTAS, F. E. R. (Org), **Semiárido e o manejo dos recursos naturais: uma proposta de uso adequado do capital natural**. Fortaleza, 2010. 396p.

ASSOCIAÇÃO DE COOPERAÇÃO AGRÍCOLA DO ESTADO DO CEARÁ – ACACE. **Plano de Recuperação do Projeto de Assentamento São Joaquim. Madalena, 2005.**

AL AZHARIA JAHN, S. Moringa oleifera for food and water purification: selection of clones and growing of annual short-stem, p. 22-25. In: **Pflanzenzucht, Entwicklung + Ländlicher Raum**. 1998.

ANA (Agência Nacional de Águas – Brasil). **Mudanças climáticas e Recursos Hídricos: avaliações e diretrizes para adaptação**. Brasília: ANA, GGES, 2016.

_____. **Sobre a ANA**. 2017. Disponível em: <http://www.ana.gov.br/.aspx>. Acesso em: 03/05/2017.

_____. **Modelo brasileiro de gestão dos recursos hídricos**. 2012. Disponível em: <http://www.ana.gov.br> Disponível em: 06/02/2017.

_____. **Cuidando das águas: soluções para melhorar a qualidade dos recursos hídricos**. Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente. Brasília: ANA, 2011. 154p.

APHA, AWWA, WCPF. **Standard methods for examination of the water and wastewater**, Washington, D.C.: American Public Health Association, Water Pollution Control Federation, 2005, 1134p.

ASA (ARTICULAÇÃO SEMIÁRIDO BRASILEIRO) **Caminhos para conviver com o semiárido**. 10ª Edição – Recife, 2014. Disponível em: <http://www.asabrasil.org.br> Acesso em: 04/05/2017.

AZEVEDO NETTO, J. M. de. Considerações gerais sobre projetos de tratamento de água. In: **Técnica de abastecimento e tratamento de água**. José M. de Azevedo Netto *et al.*- São Paulo: CETESB / ASCTESB, 1987. 2v.

BAUMGARTEN, M. Tecnologia. In: CATTANI, A.; HOLZMAN, L. **Dicionário de trabalho e tecnologia**. Porto Alegre: Ed. UFRGS, 2006.

BARROS, R. **A história do saneamento básico no Brasil**. 2014. Disponível em: <http://www.rodoinside.com.br/a-historia-do-saneamento-basico-no-brasil/> Acesso em: 08/05/2017.

BASTOS, R. K.; HELLER, L.; PRINCE, A. A.; BRANDÃO, C. C. S.; COSTA, S. **Manual de boas práticas no abastecimento de água: procedimentos para a minimização de riscos à saúde**. FUNASA/OPAS, 2003.

BRAGA, B. *et al.* O Meio Aquático. In: **Introdução à Engenharia Ambiental – O Desafio do Desenvolvimento Sustentável**. São Paulo - SP: Pearson Prentice Hall. 2005. cap. 8, p. 73-124.

BRANDÃO JOLY, A. **Botânica introdução à taxonomia vegetal**. Editora: Hicited. 1977.

BRASIL. **Nova delimitação do semi-árido brasileiro**. 2007. Disponível em: <http://www.integracao.gov.br>. Acesso em: 08/05/2017.

BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. **Manual de controle e qualidade de água par técnicos que trabalham em ETAS**. Brasília: FUNASA, 2014.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria nº 2914de 1 de dezembro de 2011**. 2011.

BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental – SNSA. **Sistema Nacional e Informações sobre Saneamento: Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2015**. Brasília: SNSA/MCIDADES, 2017.

BRITO, L. T. L.; CAVALCANTI, N. B.; ANJOS, J. B. ; SILVA, A. S.; PEREIRA, L. A. **Perdas de solo e de água em diferentes sistemas de captação in situ no semi-árido brasileiro**. Engenharia Agrícola, v.28, p.507-515 2008.

CAMPBELL, S. D., D'ARCY, B., FROST, A., NOVOTNY, V., e SANSOM, A. **Diffuse Pollution – Na introduction to the problems and solutons**. IWA Publishing, UK. 2004.

CAMPOS, J. R., POVINELLI, J. Coagulação e Floculação In: **Técnica de abastecimento e tratamento de água**. José M. de Azevedo Netto *et al.*- São Paulo: CETESB / ASCTESB, 1987. 2v

CAMPOS, J. N. B. **Vulnerabilidade do semi-árido às secas, sob o ponto de vista dos recursos hídricos**. GT II – Recursos Hídricos. Projeto Aridas, 1994.

CAMPOS, J.N.; STUDART, T. M. C. **Gestão de Águas: princípios e práticas**. Porto Alegre. ABRH, 2001.

CAMPOS, J.N.B. Água, Sociedade e Natureza Desenvolvimento científico e gestão das águas. In. **Água e desenvolvimento sustentável no semi-árido**. Fortaleza: Fundação Konrad Adenauer, Série Debates nº24, 2002.

CARVALHO, O. As secas e seus impactos. In: **A Questão da Água no Nordeste**/Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, Agência Nacional de Águas. – Brasília, DF: CGEE, 2012. 432p.

CAVALCANTE, I. **A qualidade todos os açudes está com qualidade comprometida**. 2016. Disponível em: <http://www20.opovo.com.br/2016/07/28/noticiasjornalcotidiano> Acesso em: 15/04/2017

CEARÁ, A. L do E. do. **Plano estratégico dos recursos hídricos do Ceará** / Conselho de Altos Estudos e Assuntos Estratégicos. Assembleia Legislativa do Estado do Ceará; Eudoro Walter de Santana (Coordenador) – Fortaleza: INESP, 2009. 408p.

CEARÁ. Assembléia Legislativa do Estado. **Cenário Atual dos recursos hídricos do Ceará**. Conselho de Altos estudos e Assuntos Estratégicos, Assembléia Legislativa do Estado do Ceará; Eudoro Walter de Santana (Coord.). – Fortaleza: INESP, 2008. 174p. (Coleção Pacto das Águas).

CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe). **Recomendaciones de las reuniones internacionales sobre el Agua: de Mar del Plata a Paris**, CEPAL, LC/r. 1865, 1998.

CEPIS. **Teoria, diseño y control de los process de clarificacion del água**. 2ª reimpressão 1981. Lima - Peru, 1981. 558 p.

CETESB (Centro Tecnológico de Saneamento Básico). **Água: Qualidade, padrões de potabilidade e poluição**. CETESB, São Paulo, 1969.

CETESB (Centro Tecnológico de Saneamento Básico). **L5.406: Coliformes Termotolerantes: Determinação em amostras ambientais pela técnica de tubos múltiplos com meio A1 – método de ensaio**. São Paulo, 2007.

CHAPRA, S.C. **Surface Water-Quality Modeling**. New York: McGraw-Hill nt. Editorions, Civil Eng. Series, 1997. 884p.

CMMAD (COMISSÃO MUNDIAL SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO). **Nosso Futuro Comum**. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, 1988.

CNRH, (Conselho Nacional de Recursos Hídricos). 2017. **O Conselho Nacional de Recursos Hídricos – CNRH**. Disponível em: <http://www.cnrh.gov.br> Acesso em: 08/04/2017.

COELHO, C. F. **Impactos socioambientais e desempenho do sistema fossa verde no assentamento 25 de maio, Madalena (CE)**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Ceará. Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio ambiente. 2011.

CONAMA (Conselho Nacional de Meio Ambiente). **Resolução nº 357, de 17 de março de 2005**. 2005.

CONCEIÇÃO, C. H. Z. **Eficiência da pré-filtração e filtração lenta no controle das características químicas, físicas e biológicas da água para piscicultura**. UNICAMP/Faculdade de Engenharia Agrícola, Dissertação (Mestrado), 2002.

COSTA, P. **Pacto das Águas**. Cuiabá – MT. Gráfica Defanti, 2009. 60p.

CREMASCO, M. A. **Operações unitárias em sistema particulado e fluido mecânico**. 2012.

DANTAS, S. P. *et al.* Análise da distribuição dos recursos hídricos do açude Orós: bacia hidrográfica do Jaguaribe/CE – Brasil. **Revista Geográfica de América Central**, Número Especial EGAL, p. 1-11, 2011.

DE ARAÚJO, J. C.; BRITO, L. SILVA, E. V. (Org.) **Água limpa e terra fértil**. Ed. UECE, Fortaleza, 2016, 217p.

DE ARAÚJO, J. C.; BRONSTERT, A. **A method to assess hydrological droughts in semi-arid environments and its application to the Jaguaribe River basin, Brazil**. Water International, 2016.

DE ARAÚJO, J. C.; GUNTNER, A.; BRONSTET, A. **Loss of reservoir volume by sediment deposition and its impact on water availability in semiarid Brazil**. Hydrological Sciences Journal, v.51, p.157-170, 2006.

DELDUQUE, M. Moringa. In. **Revista Globo Rural**. Maio, 2000, p. 89-91.

DI BERNARDO, L. **Métodos e técnicas de tratamento de água**, volume I – Rio de Janeiro, 1993.

DI BERNARDO, L. **Métodos e técnicas de tratamento de água**, volume II – Rio de Janeiro, 1993.

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. D. B. **Métodos e técnicas de tratamento de água**. 2. ed. São Carlos: RiMa, 2005. 2v., il.

DIOGO, P. A. M. **Fontes de fósforo total e o estado trófico de albufeiras em Portugal continental**. 2008. 140f. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente). Universidade Nova de Lisboa, Lisboa – Portugal.

DUARTE, R. S. **Do desastre natural à calamidade pública: a seca de 1998-1999**. Fortaleza: Banco do Nordeste; Recife: Fundação Joaquim Nabuco, 2002a. 144p.

ESTEVEES, F. A.; MEIRELLES-PEREIRA, F. Eutrofização artificial. In: ESTEVEES, F. A. (Coord.). **Fundamentos de Limnologia**. 3 ed. Rio de Janeiro: Interciência 2011. p. 625-655.

EAWAG/SANDEC. **Desinfección Solar del Agua - Guia de Aplicación**, Cochabamba, Bolívia. 80p, 2005.

FEITOSA, L.S. **Aspectos limnológicos da pequena açudagem no semiárido: estudo de caso dos açudes do assentamento 25 de maio, Madalena – CE**. Universidade Federal do Ceará. Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente. 2011.

FIGUEIREDO, M. C. B.; TEIXEIRA, A. S.; ARAÚJO, L. F. P.; ROSA, M. F.; PAULINO, W. D.; MOTA, S.; DE ARAÚJO, J. C. Avaliação da vulnerabilidade ambiental de reservatórios à eutrofização. **Engenharia Sanitária e Ambiental**. v. 12, p. 399-409. 2007.

FUNDAÇÃO BB. **Tecnologias Sociais** 2017. Disponível em: tecnologiasocial.fbb.org.br Acesso em: 04/05/2017.

FOLKARD G., SUTHERLAND J. Moringa oleifera, a multipurpose tree. p. 14-15 In: **Footsteps**. nº 20, 1986.

FREIRE, D. C. **Estado trófico e sazonalidade de cianobactérias em açudes semiáridos: o caso da bacia de Madalena, Ceará**. Universidade Federal do Ceará. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola. 2017.

FREIRE, M. T. de A.; REYES, F. G. R.; CASTLE, L. **Estabilidade térmica de embalagens de poli (tereftalato de etileno (PET): determinação de Oligômeros**. Polímeros, São Carlos. 1998. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo..> Acesso em: 13/05/2017.

GAGLIANONE, S. Exames de águas. In: **Técnica de abastecimento e tratamento de água**. José M. de Azevedo Netto, *et al.* São Paulo: CETESB / ASCETESB, 1987.

GALVÃO JÚNIOR, A.C. Desafios para a universalização dos serviços de água e esgoto no Brasil. **Ver panam salud publica**. 2009.

GASPAROTTO, F. A. **Avaliação ecotoxicológica e microbiológica da água de nascentes urbanas no município de Piracicaba – SP**. Dissertação (mestrado). Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Universidade de São Paulo. 2011.

GERDES, G. **Como limpar e tratar água suja com sementes de Moringa oleifera**. Fortaleza: ESPLAR, 1997.

GUERRA, P. GUERRA, T. **Seccas contra a seca**. 4º ed. Mossoró: Fundação Vingt-un Rosado, 2001. 226p.

- HELLER, L. Concepção de instalações para o abastecimento de água. In: **Abastecimento de água para consumo humano**. Léo Heller, Valter Lúcio de Pádua (Org.) – Belo Horizonte: Editora UFMG, 2006.p. 65-106.
- HERMANS, K. Apresentação. In: **Água e desenvolvimento sustentável no semi-árido**. Fortaleza: Fundação Konrad Adenauer, Série Debates nº24, 2002.
- HINRIGCHS, R. A. e KLEINBACH, M. **Energia e meio ambiente**. Tradução da 3ª edição norte-americana. São Paulo: Thomson, 2003. 543p.
- HUISMAN, L.; AZEVEDO, NETO, J. M. de *et al.* **Small community water supplies**. Haia, IRC, 1981.
- INBS (INSTITUTO BRASILEIRO DE SUSTENTABILIDADE). **A falta de água agora e no futuro**. 2016. Disponível em: <http://www.inbs.com.br/a-falta-de-agua-agora-e-no-futuro/> Acesso em: 15/05/2017.
- ITS (INSTITUTO DE TECNOLOGIA SOCIAL). **Declaração das ONGs: ciência e tecnologia com inclusão social**. 2005. Disponível em: <http://www.itsbrasil.org.br>.. Acesso em: 04/05/2017
- JAHN, S. A. A. Using Moringa seeds as coagulant in developing countries. **Journal of the American Water Works Association**, v.6, p. 43-50, 1998.
- KROL, M.; BRONSTERT, A. Regional integrated modeling of climate change impacts on natural resources and resource usage in semi-arid Northeast Brazil. **Environmental Modelling & Software**, v. 22, p. 259-268, 2007.
- LIEBE, J.; GIESEN, N.; ANDREINI, M. Estimation of small reservoir storage capacities in a semi-arid environment: a case study in the Upper East Region of Ghana. **Physics and Chemistry of the Earth**, v. 30, p. 448–454, 2005.
- LIMA, N. L. G. **A educação de jovens e adultos do campo e a permanência escolar: o caso do assentamento 25 de maio, Madalena, Ceará**. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Ceará/UFC. 2014.
- LIMA FILHA, A. B. **Planejamento estratégico dos comitês de bacias hidrográficas do Estado do Ceará**. 2006.
- LO MONACO, P. A. V.; MATOS, A. T.; RIBEIRO, I. C. A.; NASCIMENTO, F. S.; SARMENTO, A. P. **Utilização de extrato de sementes de moringa como agente coagulante no tratamento de água para abastecimento e águas residuárias**. Revista Ambiente & Água, Taubaté, v. 5, n. 3, p. 222-231, 2010.
- MACEDO, J. A. B. **Águas & Águas**. 3º Ed. Minas Gerais: CRQ – MG, 2007.
- MACIEL, A. L. S. e FERNANDES, R. M. C. **Tecnologias sociais: interface com as políticas públicas e o serviço social**. São Paulo. N. 105. p. 146-165. Jan/mar. 2011.

- MALTCHIK, L. Ecologia de rios intermitentes. In. POMPÊO, M. L. M. ed. **Perspectivas na limnologia do Brasil**. São Luís, Gráfica e Editora União. 1999.
- MALVEIRA, V. T. C.; DE ARAÚJO, J. C.; GÜNTNER, A. Hydrological impact of a high-density reservoir network in the semiarid north-eastern Brazil. **Journal of Hydrologic Engineering**, v. 17, p. 109-117, 2012.
- MALVEZZI, R. **Semi-árido brasileiro – uma visão holística**. Brasília: CONFEA, 2007.
- MAMEDE, J. L. **Reservoir sedimentation in dryland catchments: Modelling and management**. Potsdam: Uni/Potsdam, 2008. 120p. Tese Doutorado
- MANFRINI, C. In: **Técnica de abastecimento e tratamento de água**. José M. de Azevedo Netto *et al.*- São Paulo: CETESB / ASCTESB, 1987. 2v.
- MANSOR, M. T. C. **Potencial de poluição de águas superficiais por fontes não pontuais de fósforo na Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Pinhal, Limeira-SP**. Campinas. Tese de D. Sc. Universidade Estadual de Campinas, 2005.
- MARENGO, J.; CUNHA, A. P. M. do A.; ALVES, L. M. **A seca de 2012-15 no semiárido do Nordeste do Brasil no contexto histórico**. 2016. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/311058940_A_seca_de_201215_no_semiarido_do_Nordeste_do_Brasil_no_contexto_historico. Acesso em: 09/01/17.
- MARTINS, L. **Filtro de barro: saudável e econômico**. 2016. Disponível em: <http://www.vix.com/pt/bdm/lar/384/filtro-de-barro-saudavel-e-economico> Acesso em: 13/05/2017.
- MEDEIROS, P. H. A.; GUNTNER, A.; FRANCKE, T.; MAMEDE, J. L.; DE ARAÚJO, J. C. **Modelling spatio-temporal patterns of sediment yield and connectivity in a semi-arid catchment with the WASA-SED model**. Hydrological Sciences Journal, v.55, p.636–648, 2010.
- MEIERHOFER, R. e WEGELIN, M. **Desinfecção solar da água: guia de aplicações do SODIS**. Dübendorf, 2002.
- MENDES, C. G. N. Tratamento de águas para consumo humano – Panorama mundial e ações do PROSAB. In: **Contribuição ao estudo da remoção de cianobactérias e microcontaminantes orgânicos por meio de técnicas de tratamento de água para consumo humano**. Rio de Janeiro: ABES. 2006.
- MENDES, C. G. N. **Aspectos de qualidade da água, fluxogramas de ETA's e coagulação**. Campinas: Faculdade de Engenharia Civil/UNICAMP, 2008. Notas de aula.
- MMA (Ministério do Meio Ambiente). **Água**. 2017. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/agua>. Acesso: 04/04/2017 às 12:35

MOLLE, F. **Marcos históricos e reflexões sobre a açudagem e sem aproveitamento.** Recife: SUDENE, DPG/PRN/HME, 1994.

MUNIZ, G. L.; DUARTE, F.; OLIVEIRA, S. B. **Uso de sementes de Moringa oleifera na remoção da turbidez de água para abastecimento.** 2015. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1980-993X2015000200454. Acesso em: 20/05/2017.

NDABIGENGESERE, A.; NARASIAH, S. K. **Influence of operating parameters on turbidity removal by coagulation with Moringa oleifera seeds.** Environmental Technology, v. 17. 1996.

NEVES, F. C. Getúlio e a Seca: políticas emergenciais na Era Vargas. **Revista Brasileira de História.** São Paulo, v.21, n. 40, p. 107-131, 2001.

NISHI, L.; MADRONA, G.G.S.; VIEIRA, A. M. S.; BASSETTI, F. J.; SILVA, G. F.; BERGAMASCO, R. **Coagulação/Floculação com sementes de Moringa oleifera Lam para remoção de cistos de Giardia spp. e Oocistos de cryptosporidium spp. da água.** São Paulo – Brasil, Maio, 2011.

NOVAES, H.; DIAS, R. Contribuições ao marco-analítico conceitual da tecnologia social In: DAGNINO, R. P. **Tecnologias sociais: ferramenta para construir outra sociedade.** Campinas: Unicamp, 2009.

OLIMPIO, J. L. S.; COSTA, M. C. L. da; ZANELLA, M. E. **Desastres naturais associados à dinâmica climática e à formação do território cearense.** 2015. Ateliê Geográfico – Goiânia/GO, v.9, n.3, p. 176-202, dez/2015. ISSN: 1982-1956. Disponível em: <http://www.revistas.ufg.br/index.php/atelie>. Acesso em: 08/05/2017.

OLIVEIRA, W. E. de. Importância do abastecimento de água. A água na transmissão de doenças. In: **Técnica de abastecimento e tratamento de água.** José M. de Azevedo Netto, *et al.* São Paulo: CETESB / ASCETESB, 1987.

OLIVEIRA, J. R. G. de, e ALVES, V. A. **Meio ambiente natural.** 2002. Disponível em: http://www.cnrh.gov.br/index.php?option=com_docman&task=cat_view&gid=133&Itemid= Acesso em: 03/04/2017.

OLIVEIRA, R. de. **Manual de análises físico-químico de águas de abastecimento e residuárias.** Editora: ABES. 1ª edição – 2006. 266p.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DE SAÚDE (OMS). **Guidelines for Drinking-Water Quality.** Volume 1, Geneva, SW. 2004. 494p.

PÁDUA, V. L. de e FERREIRA, A. C. da S. Qualidade da água para consumo humano. In: **Abastecimento de água para consumo humano.** Léo Heller, Valter Lúcio de Pádua (Org.) – Belo Horizonte: Editora UFMG, 2006.p. 153-222.

PÁDUA, V. L. de. Introdução ao tratamento de água. In: **Abastecimento de água para consumo humano.** Léo Heller, Valter Lúcio de Pádua (Org.) – Belo Horizonte: Editora UFMG, 2006.p. 519-570.

- PARLATORE, A. C. Mistura e Flocculação. In: **Técnica de abastecimento e tratamento de água**. José M. de Azevedo Netto *et al.*- São Paulo: CETESB / ASCTESB, 1987. 2v.
- PARRON, L. M. **Manual de procedimentos de amostragem e análise físico-química de água**. Colombo: EMBRAPA Florestas, 2011.
- PAVANELLI, G. **Eficiência de Diferentes Tipos de Coagulantes na Coagulação, Flocculação e Sedimentação de Água com Cor ou Turbidez Elevada**. 2001. 233f. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2001.
- PEREIRA, G. **Gestão das águas na comunidade Quilombola da Serra do Evaristo, Baturité – Ceará**. Dissertação (Mestrado). Programa Regional de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente – PRODEMA/UFC. 2016.
- PESSOA, D. M. **Caráter e efeitos da seca nordestina de 1970**. Recife: Fundação Joaquim Nabuco, 2002. (Série Estudos sobre as Secas do Nordeste).
- PINHEIRO, L. de S. **Proposta de índice de priorização de áreas para saneamento rural: estudo de caso assentamento 25 de maio, CE**. Dissertação (mestrado). Universidade Federal do Ceará. Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente. 2011.
- PINTO, N. de O. **Sistema simplificado para melhoria da qualidade da água consumida nas comunidades rurais do semi-árido do Brasil**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2006. 47p.
- PIO CÔRREA, M. **Dicionário das plantas úteis do Brasil e das exóticas cultivadas**. Rio de Janeiro: IBDF, 1984.
- REBOUÇAS, A. da C. **Água no Brasil: abundância, desperdício e escassez**. Bahia Análise e Dados. Salvador, v.13, n. Especial, p. 341-345, 2003.
- REVENGA, C., J. BRUNNER, N. HENNINGER, K. KASSEM, and R. PAYNE. (2000). **Pilot Analysis of Global Ecosystems: Freshwater Systems**. World Resources Institute: Washington D.C. Disponível em: <http://www.wri.org/wr2000> Acesso em: 03/04/2017.
- RIBEIRO, L.S. **Estudo da degradação dos Resíduos sólidos Urbanos através dos parâmetros físicos e físico-químicos em um biorreator em escala experimental**. Campina Grande: UFCG, 2012. Dissertação (Mestrado em engenharia civil e ambiental).
- RITCHER, C. A. e AZEVEDO NETTO, J. M. **Tratamento de água – tecnologia atualizada**. Ed. Edgard Blucher Ltda. São Paulo, 1991. 332 p.
- RITTER, C. M. **Estudo da utilização e polímeros naturais *Abelmoschus esculentus* (L.) Moench (Malvaceae) e *Moringa oleifera* Lam (Moringaceae) no tratamento de**

água de abastecimento. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2013.

ROBERTO, S. e ABREU, R. M. Utilidade dos indicadores de qualidade das águas. In: **Ambiente – Revista CETESB de Tecnologia.** Vol5, n. 1. São Paulo, 1991.4

RORATO, W. R. **Utilização de Moringa oleifera Lam como auxiliar no processo de coagulação/floculação/filtração para o tratamento de água de abastecimento.** Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2013.

ROSSIN, A. C. Desinfecção. In: **Técnica de abastecimento e tratamento de água.** José M. de Azevedo Netto *et al.*- São Paulo: CETESB / ASCTESB, 1987. 2v.

RTS (Rede de Tecnologia Social). **Rede de Tecnologia Social.** Disponível em: <http://www.rts.org.br/a-rts/proposito/> Acesso em: 15/05/2017.

SABÓIA, A. L. **Água para quem? Os meandros da gestão de recursos hídricos no estado do Ceará.** Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Fortaleza, 2015. 178f.

SAUNDERS, R. J. **Abastecimento de água em pequenas comunidades: aspectos econômicos e políticos nos países em desenvolvimento.** Rio de Janeiro: ABES; BNH. Brasília: CODEVASF, 1983.

SEMAE (SERVIÇO MUNICIPAL DE ÁGUA E ESGOTO DE PIRACICABA). **A água que você bebe.** Piracicaba, 2005.

SHIKLOMANOV, I. A. **World Water resources and water use, presente assessment and outlook for 2050.** State Hydrological Institute, St Petersburg, Russia. 1999.

SILANS, A., P. de. Alternativas científicas e tecnologias para o abastecimento de água no semi-árido. In: **Água e desenvolvimento sustentável no semi-árido.** Fortaleza: Fundação Konrad Adenauer, Série Debates nº24, 2002.

SILVA, A. C. B. **Qualidade da água e comunidade íctia do açude Marengo (Madalena, CE) durante o período de estiagem.** Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Ceará/UFC. Fortaleza, CE. 2014.

SILVA, E. V.; GORAYEB, A.; DE ARAÚJO, J. C. **Atlas socioambiental do Assentamento 25 de Maio, Madalena - Ceará.** Fortaleza: Ed. Expressão Gráfica, 44 p., 2015.

SILVA, G. K. **Método alternativo para aplicação d coagulante natural moringa oleifera no tratamento de água.** Dissertação (Mestrado). Universidade de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. Campinas, SP. 2002.

SIMPLÍCIO, A. V. de O. **Egressos do curso de Pedagogia da Terra e suas práticas educativas: um estudo de caso no Assentamento 25 de Maio, Madalena, Ceará.** Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília/UNB. Brasília, DF, 2011.

SOHIDRA (Superintendência de Obras Hidráulicas). **Histórico**. 2013. Disponível em: <https://www.sohidra.ce.gov.br/index.php/historico> Acesso em: 10/01/2017.

SOUZA, J. G. de. **O Nordeste Brasileiro: uma experiência de desenvolvimento regional**. Banco do Nordeste do Brasil, Fortaleza, 1979.

SRH (Secretaria de Recursos Hídricos). **Promover a melhoria da qualidade de vida dos cearenses**. Nosso compromisso e objetivo. Governo do Estado do Ceará. 2006.

SRH (Secretaria de Recursos Hídricos). **Histórico**. 2017. Disponível em: <http://www.srh.ce.gov.br/index.php/a-secretaria/historico>. Acesso em: 09/04/2017.

SRINIVASAN, V. S.; SANTOS, C. A. G.; GALVÃO, C. O. **Erosão hídrica do solo brasileiro**: A experiência da Bacia Experimental de Sumé. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v.8, p.57- 73, 2003.

STEINER, A. Apresentação. In: **Cuidando das águas: soluções para melhorar a qualidade dos recursos hídricos**. Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente. Brasília: ANA, 2011. p14.

STRASKRABA, M.; TUNDISI, J. G. **Gerenciamento da qualidade da água de represas**. São Carlos: ILEC/IIIE. V.9 258p. 2000.

SUPERINTÊNCIA DO DESENVOLVIMENTO DO NORDESTE – SUDENE. **As secas do Nordeste: uma abordagem histórica de causa e efeito**. Recife: Departamento de Recursos Naturais, 1981.

TAKEDA, T de O. **Gestão Brasileira de Recursos Hídricos**. In. Âmbito Jurídico. Rio Grande, XII, n. 75, abr. 2010. Disponível em: <http://www.ambitojuridico.com.br>. Acesso em: 05/01/2017.

THE MIRACLE TREE. **Moringa seed powder for Water Purification**. 2003. Disponível em: <www.churchworldservice.org/moringa/TMTwaterpure.html> Acesso em: 15/11/2016.

TREES FOR LIFE. **How to grow moringa tree**. 2003. Disponível em: www.treesforlife.org/moringa/dogrow.htm Acesso em: 07/11/2016.

TUNDISI, J. G.; MATSUMURA-TUNDISI, T. Impactos nos ecossistemas aquáticos. In: **Limnologia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. Cáp. 18, p. 505-541.

TUNDISI, J. G.; MATSUMURA-TUNDISI. **The Lobo-Broa Ecosystem Research. Limnology in Brazil**. Brazilian Academy of Sciences. Brazilian Limnological Society. 1995. p. 199-243.

UNICEF (Fundação das Nações Unidas para a Infância). **Estudio conjunto UNICEF/OMS sobre el abastecimiento de agua y el saneamiento como componentes de la atención sanitaria primaria**. UNICEF, 1978.

VIANA, R. B. *et al.* Risk assessment of trihalomethanes from tap water in Fortaleza, Brazil. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 151, p. 317-325, 2009.

VICTORINO, C. J. A. **Planeta água morrendo de sede: uma visão analítica na metodologia do uso e abuso dos recursos hídricos**. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2007. 231p.

WEGELIN, M.; CANONICA, S.; MECHSNER, K.; FLEISCHMANN, T.; PESARO, F.; METZLER, A. **Solar Water Disinfection: Scope of the Process and Analysis of Radiation Experiments**. J Water SRT – Aqua No. 4. 1994

WOLFROM, N., **Le moringa oleifera: état des connaissances, programme d'investigations complémentaires**. CIEH, 1993, 63 p.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). 10. Acceptability aspects. In: WHO. **WHO Guidelines for Quality**. 3 ed. 2003. 10p.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **Managing water in the home: accelerated health gains from improved water supply**. Geneva. Disponível em: http://whqlibdoc.who.int/hq/2002/WHO_SDE_WSH_02.07.pdf. Acesso em: 15/03/2016