



**CENTRO UNIVERSITÁRIO CHRISTUS
NÚCLEO DE TECNOLOGIA
ENGENHARIA CIVIL**

YURI BRÁZ ROCHA

**SODIS – DESINFECÇÃO SOLAR DE ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO
OPERANDO NO MODO CONTÍNUO**

FORTALEZA

2020

YURI BRÁZ ROCHA

SODIS – DESINFECÇÃO SOLAR DE ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO OPERANDO
NO MODO CONTÍNUO

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)
apresentado ao curso de Engenharia Civil do
Centro Universitário Christus, como requisito
para obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Eliezer Fares Abdala Neto

FORTALEZA

2020

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Centro Universitário Christus - Unichristus
Gerada automaticamente pelo Sistema de Elaboração de Ficha Catalográfica do
Centro Universitário Christus - Unichristus, com dados fornecidos pelo(a) autor(a)

R672s Rocha, Yuri Bráz.
SODIS - DESINFECÇÃO SOLAR DE ÁGUA PARA CONSUMO
HUMANO OPERANDO NO MODO CONTÍNUO / Yuri Bráz
Rocha. - 2020.
72 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Centro
Universitário Christus - Unichristus, Curso de Engenharia Civil,
Fortaleza, 2020.
Orientação: Prof. Dr. Eliezer Fares Abdala Neto.

1. SODIS. 2. Desinfecção. 3. Água. 4. Energia Solar. 5. Região
Semiárida. I. Título.

CDD 624

YURI BRÁZ ROCHA

SODIS – DESINFECÇÃO SOLAR DE ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO OPERANDO
NO MODO CONTÍNUO

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)
apresentado ao curso de Engenharia Civil do
Centro Universitário Christus, como requisito
parcial para obtenção do título de bacharel em
Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Eliezer Fares Abdala Neto

Aprovada em ____ / ____ / ____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Eliezer Fares Abdala Neto
Centro Universitário Christus (UNICHRISTUS)

Profa. Dra. Elayne Valério Carvalho
Centro Universitário Christus (UNICHRISTUS)

Prof. Msc. José Willington Gondim Oliveira
Centro Universitário Christus (UNICHRISTUS)

Dedico este trabalho de conclusão de curso (TCC) primeiramente a Deus por sua infinita bondade na minha vida, a minha esposa e familiares que muito me ajudaram nesta trajetória e aos meus professores principalmente os presentes na banca e orientador pelo o conhecimento e vivência repassada para o meu crescimento profissional.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pelo amor, misericórdia e ser sempre o alicerce para manter-me firme nos momentos difíceis, além de me presentear com mais uma conquista na minha vida.

A meus pais (Amanda Cristina Bráz Rocha, Glayton Rocha dos Santos) e meus irmãos (Alisson, Samuel e Igor), agradeço por me proporcionar a oportunidade do conhecimento e estudos, e o apoio e motivação para a formação do meu crescimento profissional.

A minha esposa Vitória Kécia agradeço por todo apoio durante toda a graduação, tendo sempre a paciência e palavras boas nos momentos difíceis, além de me auxiliar na escrita e desenvolvimento desta pesquisa.

Agradeço aos meus amigos (Felipe, Iran, Roger, Rodrigo e Jeferson) por toda a amizade construída nessa graduação, onde serão excelentes profissionais e amigos de profissão por muito tempo.

Agradeço ao meu orientador Dr. Eliezer Fares Abdala Neto pelo exímio conhecimento repassado, pelo esforço e proporcionar todo o suporte técnico e científico para a idealização e concepção deste projeto.

Agradeço aos professores Dra. Elayne Valério e Msc. José Willington Gondim Oliveira por ajudar-me durante as disciplinas da graduação na formação do meu conhecimento técnico adquirido, além das excelentes observações feitas a este trabalho, na qual foi fundamental na elaboração desta pesquisa.

Agradeço ao Centro Universitário Christus assim como aos reitores, coordenadores e colaboradores do curso de engenharia civil que ajudaram de forma direta e indiretamente na concepção desta pesquisa, além de proporcionar a oportunidade de realizar esse trabalho com o auxílio de suas instalações.

“Há água suficiente para satisfazer as crescentes necessidades do mundo, mas não sem mudar a forma de geri-la.”

(ONU, 2018, p. 56)

RESUMO

O Ceará possui características de baixas pluviosidades com intensidades de chuvas restritas à curto período de tempo no ano, além do solo seco e altos índices de radiação solar. Técnicas para abastecer a população difusa do semiárido cearense são utilizadas, como a captação de água da chuva e armazenamento por cisternas de placas, porém estas, quando em condições sanitárias inadequadas, poderão ser agente de vetores e doenças hídricas. Portanto esta pesquisa tem por objetivo conceber, instalar e operar um Sistema de Desinfecção Solar (SODIS) em água para consumo humano, operando em modo contínuo tendo como método a criação do protótipo, o qual consiste em um tubo de vidro, por onde a água passará durante o processo de desinfecção, e um suporte que simulará as condições de um telhado convencional. Este foi realizado sem a presença de energia elétrica e com redução de 50% do tempo de exposição indicado pela literatura, onde foram coletadas amostras iniciais (água bruta), amostras periódicas e amostras finais (após o processo de desinfecção) sendo analisadas alguns parâmetros físico-químicos e microbiológicos, na qual foi possível atestar que o protótipo de SODIS em modo contínuo possui eficiência na inativação dos microrganismos, sendo uma metodologia viável para a aplicação em comunidades difusas do semiárido cearense.

Palavras-chave: SODIS. Desinfecção. Água. Energia Solar. Região Semiárida.

ABSTRACT

Ceará has characteristics of low rainfall with intensities of rainfall restricted to a short period of time in the year, in addition to dry soil and high levels of solar radiation. Techniques to supply the diffuse population of the semi-arid region of Ceará are used, such as the capture of rainwater and storage by cisterns of slabs, but these, when in inadequate sanitary conditions, may be agents of water vectors and diseases. Therefore, this research aims to design, install and operate a Solar Disinfection System (SODIS) in water for human consumption, operating in continuous mode using the prototype creation method, which consists of a glass tube, through which the water will pass through the disinfection process, and a support that will simulate the conditions of a conventional roof. This was carried out without the presence of electricity and with a 50% reduction in the exposure time indicated by the literature, where initial samples (raw water), periodic samples and final samples (after the disinfection process) were collected and some parameters were analyzed physical-chemical and microbiological, in which it was possible to attest that the SODIS prototype in continuous mode has efficiency in the inactivation of microorganisms, being a viable methodology for application in diffuse communities in the semi-arid region of Ceará.

Keywords: SODIS. Disinfection. Water. Solar energy. Semi-arid region

LISTA DE FIGURAS

Figura 1– Distribuição da água doce superficial do mundo	19
Figura 2 – Os diferentes usos da água nas regiões desenvolvidas e em desenvolvimento	20
Figura 3 - Distribuição de água no Brasil.....	21
Figura 4 – Panorama da seca no Brasil de 2015 a 2017	22
Figura 5 - Delimitação de 1.262 municípios da Região Semiárida Brasileira	24
Figura 6 – Construção de cisternas de placas no Ceará.....	26
Figura 7 - Despesas com internações por doenças de veiculação hídrica.	29
Figura 8 – Recursos Energéticos Totais da Terra.....	34
Figura 9 – Espectro Visível da Luz	35
Figura 10 - Eficiência microbiana do método SODIS.....	39
Figura 11 – Exposição Inadequada da Água ao Sol	39
Figura 12 – Reator de SODIS na Plataforma Solar de Amería na Espanha com 25L contendo água de 0 e 100 NTU.....	40
Figura 13 – Etapas para desenvolvimento da metodologia	47
Figura 14 – Localização do Edifício Multifamiliar.....	48
Figura 15 – Base e componente do sistema SODIS-contínuo.....	50
Figura 16 – Procedimento experimental do Sistema SODIS-contínuo	51
Figura 17 - Localização do Poço - Calçada da Residência.....	55
Figura 18 - Tampa do poço artesiano danificada com facilidade de contaminação.....	56
Figura 19 – Instalação do protótipo de SODIS contínuo finalizada.....	57
Figura 20 – Registro para ponto de coleta N°01 e Registro para medição de vazão precisa. ..	58
Figura 21 – Tê com bujão de PVC para ponto de coleta N°02	58
Figura 22 – Amostra da água bruta	59
Figura 23 – Resultados de turbidez e pH ao longo do tempo de exposição	62
Figura 24 – Coleta da amostra de água tratada para exames microbiológicos no Ponto N° 02	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Concentração média de coliformes termotolerantes em função do tempo de exposição.	43
Tabela 2 – Eficiência média de inativação dos coliformes termotolerantes.....	43
Tabela 3 – Análise físico-química realizadas nas amostras coletadas da água bruta e tratada pelo sistema SODIS-Contínuo.	53
Tabela 4 – Exames microbiológicos realizados nas amostras coletadas da água bruta e tratada pelo sistema SODIS-Contínuo.	53
Tabela 5 – Resultado de exames microbiológicos realizados na amostra coletadas da água bruta.	60
Tabela 6 – Resultados das análise físico-química realizadas nas amostras coletadas da água bruta.	61
Tabela 7 – Resultado das análises físico-química realizadas nas amostras coletadas da água tratada em diferentes tempos do sistema SODIS-Contínuo.	62
Tabela 8 – Resultado dos exames microbiológicos da água tratada pelo sistema SODIS-contínuo após 180 minutos de tempo de detenção hidráulica (TDH).	64
Tabela 9 – Quantitativo e orçamento de materiais do sistema SODIS-Contínuo.	65

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Métodos Físicos de Tratamento de água em escala doméstica	32
Quadro 2 – Vantagens e Desvantagens de recipientes para a utilização do SODIS	41
Quadro 3 – Padrão microbiológico da água para consumo humano	46
Quadro 4 – Identificação das Amostras Coletadas para Análise.....	52

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	Objetivos	16
1.1.1	<i>Objetivo geral</i>	16
1.1.2	<i>Objetivos específicos</i>	16
1.2	Estrutura do trabalho	17
2	REVISÃO DE LITERATURA	18
2.1	Disponibilidade e problemática da escassez hídrica	18
2.1.1	<i>Âmbito mundial</i>	19
2.1.2	<i>Âmbito nacional</i>	21
2.1.3	<i>Âmbito estadual</i>	22
2.2	Caracterização do semiárido	23
2.3	Captação e armazenamento convencional no semiárido cearense	25
2.3.1	<i>Cisternas de placas</i>	25
2.4	Doenças ocasionadas devido a contaminação da água	27
2.5	Processo convencional de tratamento de água	29
2.6	Energia solar	33
2.6.1	<i>Distribuição e caracterização espectral da radiação solar para desinfecção</i>	34
2.7	Desinfecção solar	36
2.7.1	<i>O início da desinfecção solar</i>	36
2.7.2	<i>Características e eficiência da desinfecção solar</i>	38
2.7.3	<i>Tipo de recipiente utilizado no processo</i>	40
2.7.4	<i>O efeito da agitação</i>	42
2.7.5	<i>Superfície de exposição</i>	42
2.7.6	<i>Aplicação em campo</i>	44
2.7.7	<i>Pesquisas sociais</i>	44
2.7.8	<i>Legislação e qualidade microbiológica de água</i>	45
3	METODOLOGIA	47
3.1	Local do estudo	48
3.2	Concepção, montagem, instalação do sistema SODIS-contínuo	49
3.2.1	<i>Materiais constituinte do protótipo e instalação</i>	49
3.2.2	<i>Cálculo do volume útil e vazão para o uso do sistema SODIS-contínuo</i>	50

3.2.3	<i>Procedimento experimental</i>	51
3.2.4	<i>Identificação das amostras de água estudadas</i>	52
3.3	Análises físico-químicas e exames microbiológicos	52
3.4	Diferenciais do sistema SODIS-contínuo em relação ao sistema SODIS convencional 54	
4.	RESULTADOS	55
4.1	Origem da água de estudo	55
4.2	Concepção, montagem, instalação do sistema SODIS-contínuo	56
4.2.1	<i>Cálculo do volume útil e vazão para o uso do sistema SODIS-contínuo</i>	59
4.3.	Caracterização da água de estudo (bruta)	59
4.3.1	<i>Análises físico-químicas e exames microbiológicos da água bruta</i>	59
4.3.2	<i>Resultados das análises e exames para a água tratada</i>	61
4.4	Custo de instalação para o sistema SODIS-contínuo	64
5.	CONCLUSÃO	66
	REFERÊNCIAS	68

1 INTRODUÇÃO

As utilizações dos recursos naturais são essenciais para a manutenção da vida, porém o homem é o principal causador da degradação e uso irracional destes recursos. Os recursos hídricos são utilizados de formas inadequadas e empregados como destinação final de esgotos sanitários brutos, resíduos de indústrias e resíduos sólidos.

Além disto o consumo exacerbado de água para o uso de irrigações da agricultura brasileira e produção de bens e consumos ultrapassam 70% da água doce brasileira disponível. Além disso, a produção de resíduos com altas concentrações químicas que não se degradam no meio ambiente, contaminam e empobrecem os solos e mananciais (PIMENTEL *et al.*, 2004; PRADO; HERNANDEZ, 2017).

Segundo a FAO (2018), os recursos hídricos existem, e são suficientemente capazes de suprir as necessidades do homem, porém faz-se necessário o uso consciente e a gestão destes.

A disposição inadequada dos resíduos sólidos gerados pelo o homem e o saneamento precário potencializam a proliferação de doenças e vetores contaminantes, aumentando-se os índices de internações nos Sistemas Único de Saúde (SUS) e o número de óbitos por contaminação de água. Além disso as despesas nos cofres públicas ultrapassam milhões de reais para a manutenção da saúde pública (BRASIL, 2018e).

Os ganhos de saúde pública auferidos pelos governos que investem em saneamento já estão difundidos pelo o mundo, porém a universalização do acesso aos serviços básicos de abastecimento de água tratada, coleta de esgotos, drenagem urbana e coleta e manejo de resíduos sólidos não alcançam a metade da população mundial (WHO; UNICEF, 2017).

No Brasil as diretrizes e políticas do saneamento básico são regidas pela a lei 11.445 de 2007 que expõe como princípio importante, a universalização dos serviços básicos ambientais, estabelecendo as ações que são necessárias para torná-la factível (BRASIL, 2007).

Dos 5.570 municípios brasileiros, 48% pelo menos uma vez, decretaram Situação de Emergência (SE) ou Estado de Calamidade Pública (ECP) devido às cheias entre 2003 e 2017. Quanto à seca ou estiagem cerca de 51% dos municípios também decretaram estados de emergência hídrica, no mesmo período. Segundo o Sistema Integrado de Informações sobre Desastre (S2ID), em 2017 três milhões de pessoas em todo o país foram afetados por cheias, alagamentos e inundações, acarretando consigo diversos prejuízos para população, como perda total ou parcial de bens e contaminações, além de 5% deste total representarem casos mais graves, como os desaparecimentos e óbitos (BRASIL, 2018a).

As regiões semiáridas brasileiras abrigam cerca de 22 milhões de habitantes e nela ocorre a maior concentração de população rural. Essa região possui características semelhantes à da aridez, que possuem escassez de chuva, limitado sistema de armazenamento de água da chuva e alto índice de insolação solar durante o ano (SOUSA *et al.*, 2017).

No âmbito estadual são válidas as intervenções realizadas pelo o governo do estado do Ceará para contornar a problemática de escassez hídrica com os programas de cisternas, chafarizes e poços profundos. Porém, estas realizadas sem o devido cuidado pós construção, poderá torna-se um agente para a proliferação de contaminação na população (BRASIL, 2018c).

As cisternas de placa, aplicadas nas regiões semiáridas, consistem em uma tecnologia de captação de água da chuva, caracterizada por ter um baixo custo e alto valor técnico, cultural e ambiental, sendo esta de fundamental importância para garantir o consumo de água para a população que sofre de escassez hídrica durante boa parte do ano (VENTURA *et al.*, 2013).

Segundo Botto *et al.* (2011) as cisternas de placas instauradas no semiárido cearense, podem apresentar concentrações de coliformes termotolerantes, sendo estes responsáveis por doenças gastrointestinais no ser humano, e que a água destes reservatórios são consumidas sem quaisquer tratamento bacteriológico prévio. Silva (2006) e Tavares (2009), também desenvolveram estudos nas cisternas de placa, que são utilizadas como reservatórios de água para consumo humano, e comprovaram que estas não estão isentas de contaminações patogênicas e, portanto, não enquadram-se nos descritos pelo anexo XX da consolidação nº5/2017 do Ministério da Saúde do Brasil (BRASIL, 2017a) sobre as condicionantes da potabilidade de água

Botto (2006) destaca uma metodologia de desinfecção solar realizada pelo o método SODIS, que se trata de uma tecnologia simples, de baixo custo, bastante aplicável, prática e moderadamente eficaz no tratamento microbiológico que, assim como os tratamentos de desinfecção de água para o consumo humano, possuem vantagens e limitações, nas quais são fatores determinantes para a adequada utilização. Botto (2006), EAWAG/SANDEC (2016) e Golin (2018) destacam as características vantajosas dessa tecnologia, sendo estas a sustentabilidade, facilidade de aplicabilidade, dispensa a necessidade de energia elétrica, não requer obras de infraestruturas para garantir a qualidade da água para as comunidades difusas.

Portanto, faz-se necessário o aprofundamento em estudos e pesquisas que ampliem a oferta hídrica e promovam sua potabilização com eficiência e não menos importante, que sejam de baixo custo atendendo o Anexo XX da consolidação nº5/2017 do ministério da saúde

do Brasil (BRASIL, 2017a), visto que a problemática de escassez hídrica no semiárido é pertinente durante anos no estado cearense, não atendendo as necessidades das populações difusas que a utilizam como forma de consumo, agricultura, aquicultura e pecuária, proporcionando além da saúde a capitalização financeira.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Investigar a eficiência do tratamento de água para consumo humano aplicando um Sistema SODIS, com operação em modo contínuo, visando a adequação aos padrões de potabilidade estabelecido pela Portaria de Consolidação N° 5/2017, Anexo XX do Ministério da Saúde do Brasil (BRASIL, 2017a).

1.1.2 Objetivos específicos

- Conceber, instalar e operar um Sistema SODIS em água para consumo humano, operando em modo contínuo, visando a adequação aos padrões de potabilidade estabelecido no Anexo XX da consolidação n°5/2017 do Ministério da Saúde do Brasil.
- Analisar a qualidade da água de estudo (bruta), bem como amostras de água tratada; avaliando os parâmetros físico-químicos: Potencial Hidrogênionico (pH), turbidez, condutividade e temperatura; e parâmetros indicadores de contaminação microbiológicos, como: coliformes totais, *Escherichia coli* e bactéria heterotróficas, visando a adequação ao padrão de potabilidade estabelecido pela Portaria de Consolidação N° 5/2017, Anexo XX do Ministério da Saúde do Brasil (Brasil, 2017a);
- Avaliar o custo envolvido na concepção do sistema SODIS-contínuo como alternativa de tratamento às águas de cisternas que abastecem as comunidades difusas do semiárido cearense.

1.2 Estrutura do trabalho

Este trabalho consiste no estudo da viabilidade da metodologia de desinfecção solar de forma contínua no semiárido cearense, na qual está fragmentado em cinco seções, onde iniciará com a introdução que contextualizará os fundamentos desta pesquisa apresentando consigo a situação atual e parâmetros motivacionais para sua realização, além disto apontará a relevância desta para a sociedade, justificando as primícias e destacando os objetivos específicos que servirão para nortear o rumo da pesquisa e alcançar o objetivo geral proposto pelo o trabalho.

A segunda seção, denominada de referencial teórico, demonstrará pesquisas na literatura científica que embasará este estudo, realizando um aprofundamento sobre as diretrizes e vertentes que incidem para este assunto, apontando dados, gráficos, registros e quaisquer ferramentas que auxiliem na afirmação dos fatos expostos.

A terceira seção intitulada de metodologia apresentará os métodos e materiais utilizados pelo o autor na execução do sistema de desinfecção solar para água realizado de forma contínua, demonstrando os parâmetros balizares para os exames microbiológicos e os procedimentos seguidos, a fim de obter a eficiência do método.

A quarta seção, nomeada de resultados e discussões, trará consigo os dados obtidos das análises, realizando-se comparativos com o especificado pela a consolidação nº5/2017, estes serão demonstrados em quadros, tabelas e gráficos, a fim de facilitar a percepção do leitor, além disto será realizado discussões com autores que realizaram estudos e pesquisas na mesma linhagem e demonstrar os resultados de tais com os respectivos pontos de abordagem.

A última seção, titulada por conclusão, será abordado o panorama geral da pesquisa demonstrando os pontos importantes do trabalho e as considerações finais, além de destacar a importância de outras pesquisas que agreguem aos realizado nesta.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Segundo Costa (2010), o saneamento básico compreende áreas do abastecimento hídrico, coleta de esgotos, drenagem de águas pluviais, manejo e descarte de resíduos sólidos, na qual estes serviços devem ser ofertados a toda a população mundial, pois com a eficiente operação destes, o quadro de proliferação de doenças diminuirá. Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS) o saneamento trata-se do controle de fatores físicos que podem gerar infesto ao bem-estar mental, físico e social da população. Dada a importância regida pelas necessidades fisiológicas do ser humano, o saneamento deve-se impor como prioridade em políticas públicas, visto que se faz necessário obras de engenharia, a fim de torna-se factível o acesso a estes serviços.

Ao longo dos anos foram desenvolvidas encontros mundiais e propostas para expor a problemática do saneamento básico e preservação dos recursos naturais, tais como a Agenda 21 e a Universalização do Saneamento Básico que propõem medidas cabíveis que alinham as diretrizes do acesso da população mundial aos serviços básicos. Porém, segundo a OMS, registrou-se em 2017 que 2,1 bilhões de pessoas não possuem água tratada em suas residências e em torno de 4,5 bilhões da população mundial não dispõem de saneamento seguro (WHO; UNICEF, 2017).

No Brasil, as diretrizes e políticas do saneamento básico são regidas pela a lei 11.445 de 2007, que o define como “o conjunto de serviços, infraestruturas e instalações operacionais de abastecimento de água potável, esgotamento sanitário, limpeza urbana e drenagem e manejo de águas pluviais”. Esta Lei impõe como principal fundamentação a universalização dos serviços, ou seja, que toda a população brasileira tenha o acesso independente da classe étnica-social (BRASIL, 2007).

2.1 Disponibilidade e problemática da escassez hídrica

Á água é um recurso natural essencial para a saúde e sobrevivência humana, esta compreende deste o consumo *in natura*, como a utilização em higiene pessoal, atividades domésticas, podendo-se estender para a utilização em agriculturas e criações de animais. Esta substância é considerada como solvente universal e está presente em 70% da massa corporal humana (VICTORINO, 2007).

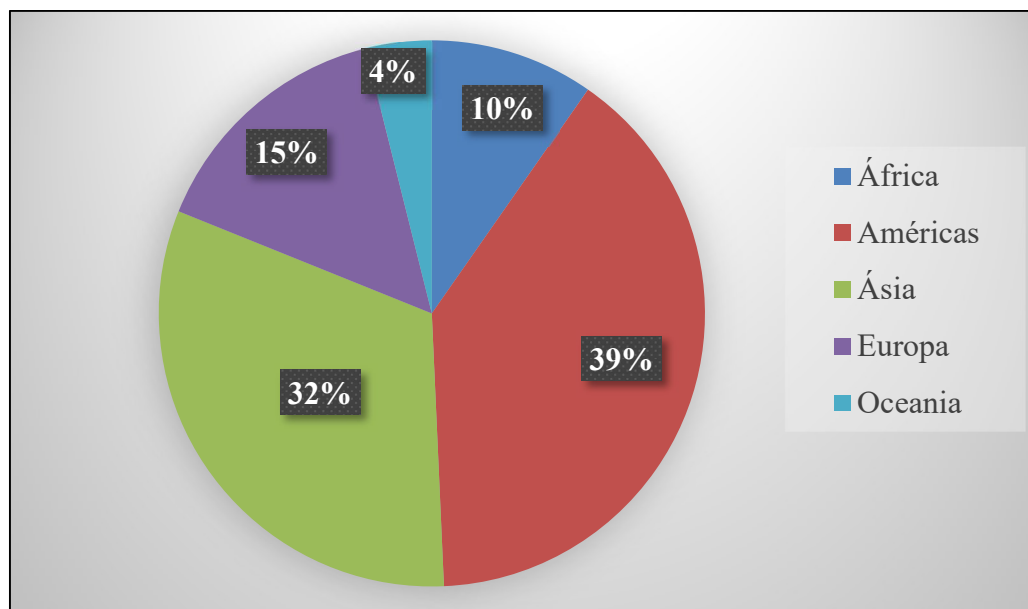
2.1.1 Âmbito mundial

Cerca de 70% da superfície do planeta são constituído por água, sendo destes distribuído em 2,5% de água doce e 97,5% de água salgada, desta parcela de água doce 68,9% estão dispostos em geleiras e neves, 29,9% em águas subterrâneas, 0,9% em solos, pântanos e geadas e apenas 0,3% em rios e lagos (VICTORINO, 2007).

A Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO, 2018) registrou-se em 2015, 663 milhões de pessoas que se utilizavam de fontes não tratadas, ou seja, poços profundos e corpos hídricos sem proteção à contaminação fecal, como principal veículo de consumo, além disto 2,1 bilhões de pessoas no mundo não tinham acesso à água em suas residências, necessitando-se deslocar-se de um minuto a uma hora até uma fonte.

A água doce superficial no mundo divide-se nos continentes de acordo com o exposto na Figura 1, destacando-se para a região da África que possui em seu território 1,2 bilhão de pessoas para apenas uma parcela de 9,7% de água doce, em oposição o continente das américas detém de 39,6% para uma população de 1,0 bilhão de pessoas (BRASIL, 2005).

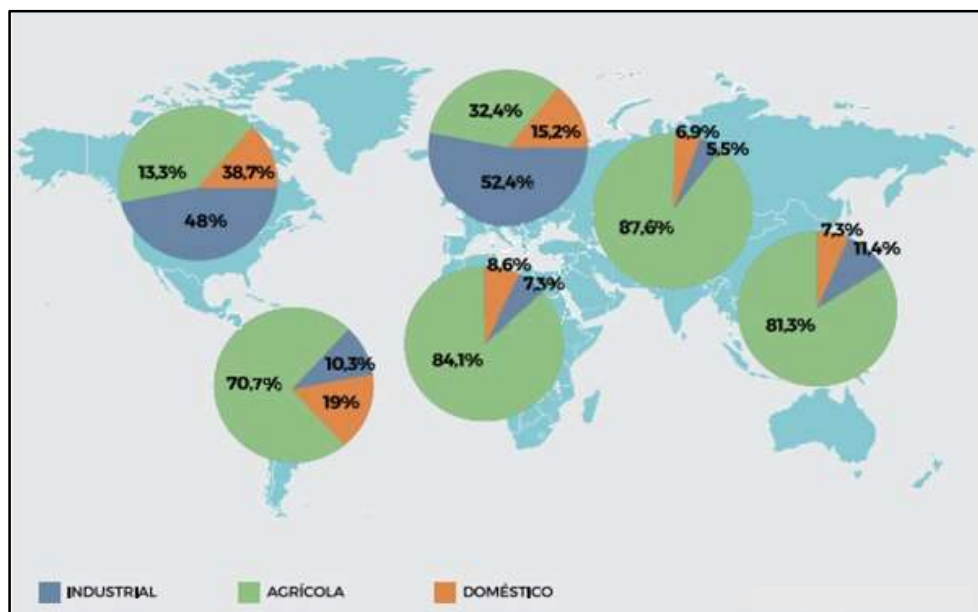
Figura 1– Distribuição da água doce superficial do mundo



Fonte: Adaptado de FAO (2018).

Além disto, a Figura 2 apresenta a porcentagem do uso das águas nos continentes que vão além das necessidades domésticas, sendo-as mais expressivas na produção de alimentos.

Figura 2 – Os diferentes usos da água nas regiões desenvolvidas e em desenvolvimento



Fonte: FAO (2018).

Segundo Watkins (2006), o planeta Terra por sua totalidade possui em torno de 6.900 metros cúbicos de água por habitante, logo se torna perceptível a possível ausência de problemas com escassez de água, porém observando-se em cada região identifica-se a discrepância entre a população residente e a disponibilidade de água. O Canadá possui 90.000 metros cúbicos por pessoa, em contra partida o país do Iêmen, no continente asiático, dispõe de 198 metros cúbicos por pessoa. A República Democrática do Congo é atendida por mais de um quarto da água disponível na região, enquanto países como Quênia, o Malawi e a África do Sul encontram-se em níveis de águas inferiores a 1000 metros cúbicos por pessoa.

Watkins (2006) estima e caracteriza o país como abastecido suficientemente com recursos hídricos, capaz de atender as necessidades humanas, assim como a irrigação, a indústria, energia e meio ambiente, aqueles que possuem médias mínimas de 1.700 metros cúbicos por pessoa, considerando-se os inferiores a 1.000 metros cúbicos por pessoa países que sofrem com problemas de escassez hídrica, e os classificados abaixo de 500 metros cúbico/pessoa em absoluta escassez. Vale salientar-se que as médias de águas disponíveis são sazonais, ou seja, depende-se dos índices pluviométricos e intensidades das pluviosidades durante o ano.

No passar do crescimento populacional e mudanças climáticas é inevitável o aumento na busca por água para as necessidades do homem, ascendendo à exploração dos recursos hídricos disponíveis e diminuindo, assim, o balanço hídrico per capta da região,

agravando a escassez hídrica, tornando-se um dos principais desafios para o desenvolvimento sustentável (FAO, 2018).

2.1.2 Âmbito nacional

O território brasileiro, em geral, privilegia-se por dispor de 13,7% de água doce do mundo, porém as disponibilidades nas regiões são de formas desiguais, levando-se consequências de dois extremos, como a seca e as cheias. A Agência Nacional de Águas (ANA) estima que 260 m³/s escoam no território nacional e cerca de 80% deste total encontra-se na região amazônica, esta que abriga a menor parte da população brasileira. A disponibilidade hídrica superficial brasileira é estimada em 78.600 m³/s, sendo que 65.617 m³/s correspondem à contribuição da Bacia Amazônica. Os índices pluviométricos atingem média de 1.700mm por ano, porém os resultados tornam-se discrepantes dentro do país, pois na região Amazônica registra-se cerca de 3.000 mm enquanto no semiárido nordestino o total de chuva anual varia menos de 500 mm, como demonstrado na Figura 3 (BRASIL, 2018a).

Figura 3 - Distribuição de água no Brasil



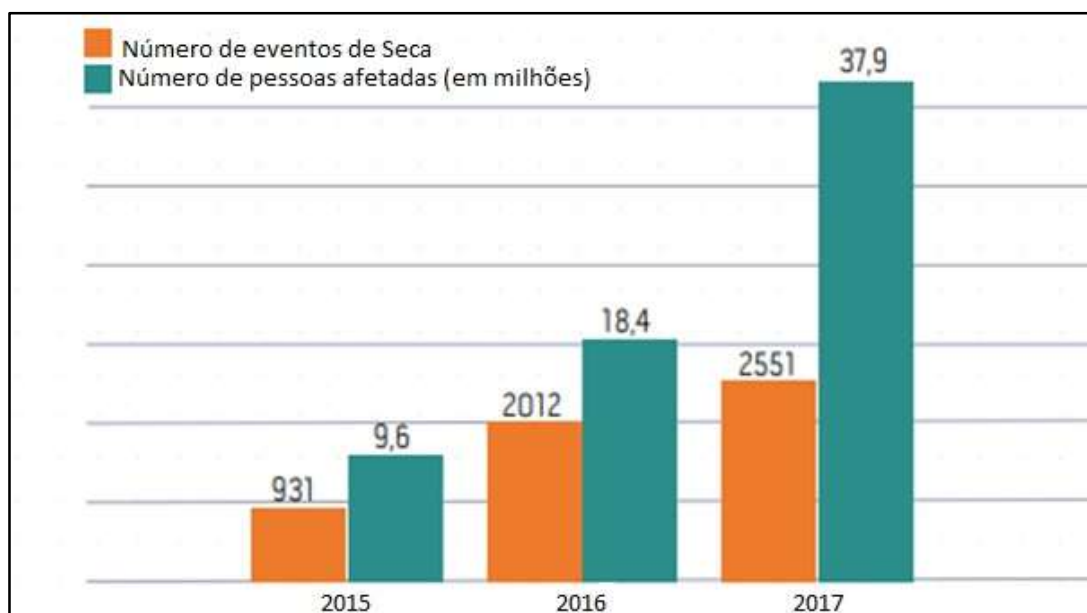
Fonte: ANA, 2018

A crise hídrica no Brasil é decorrente dos fenômenos naturais ocorridos a partir da distribuição das águas no território, tais eventos extremos decorrentes do excesso ou escassez podem ser exemplificados, como as estiagens, secas, enxurradas e inundações que anualmente distribuem-se no país (BRASIL, 2018a).

Os dados alarmam ainda mais quando se retratam os casos de secas no país, pois em 2017 registrou-se cerca de 38 milhões de pessoas afetadas pela a escassez hídrica, representando cerca de 13 vezes mais que por cheias. Em torno de 80% das pessoas afetadas vivem na região Nordeste. Bahia, Ceará e Pernambuco totalizam 55,5% dos registros, tais situações levam a população a abastecer-se de mananciais com águas que não passaram por qualquer tipo de tratamento, a fim de eliminar contaminantes, ocorrendo a proliferação de doenças (BRASIL, 2018a).

O Monitor de Secas é utilizado como base de dados para o acompanhamento regular e periódico dos retratos da seca na Região Nordeste, registrando-se panoramas de curto e longo prazo. A Figura 4 demonstra o número de eventos de secas registrados no período de 2015 a 2017, com o número de populações afetadas por esta problemática (BRASIL, 2018a).

Figura 4 – Panorama da seca no Brasil de 2015 a 2017



Fonte: Brasil (2018b).

2.1.3 Âmbito Estadual

O estado do Ceará dispõe, segundo a Companhia de Gerenciamento de Recursos Hídricos (COGERH-CE), de 155 açudes monitorados, com capacidade total de 18.618 hm³,

destes apenas 3.473 hm³ no ano de 2019 estão sendo utilizado, o que representa 18,7% do total, ainda segundo o órgão governamental, 11 açudes estão com volume acima de 90% de sua capacidade, enquanto 79 açudes atingem volumes inferiores a 30%, demonstrando o nível agravante de disponibilidade de água no estado (BRASIL, 2019).

Segundo dados da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua (PNADC), o Ceará ocupa a 16^o posição do *ranking* nacional com 83,1% da população que possui rede de abastecimento de água tratada em suas residências, dois por cento a mais que o ano de 2017, porém representa-se que ainda 1,4 milhões de pessoas não possuem acesso a este serviço básico (IBGE, 2018a).

Além disto, os dados tornam-se mais alarmante quando se relaciona ao esgotamento sanitário no Ceará. Segundo a mesma pesquisa e ano de referência, 43,4% da população têm acesso à rede geral ou fossa ligada a rede. Logo, mais de 50% da população utilizam-se de serviços clandestinos, como lançamento de esgoto bruto em corpos hídricos, defecação à céu aberto e ligações clandestinas. Tais práticas ocasionam, além de poluição e degradação ao meio ambiente, como a eutrofização de rios, desertificação de áreas ambientais, podem ser fatores determinantes para a liberação de mal odores e proliferação de vetores patogênicos (IBGE, 2018b).

A problemática torna-se mais agravante quando o mesmo corpo hídrico utilizado para disposição do esgotamento sanitário bruto, é o mesmo utilizado, em seu curso, para abastecimento de água para consumo humano sem qualquer tratamento hídrico necessário.

2.2 Caracterização do semiárido

A região semiárida brasileira é a maior do mundo e tem uma área de 982.566 km², correspondente a 18,2% do território nacional, abrange cerca de 53% da região Nordeste e 1.262 municípios (BRASIL, 2017c). A população do semiárido é de cerca de 22 milhões de habitantes e nela ocorre a maior concentração de população rural do Brasil. A expressão “semiárido” exemplifica uma região que possuem características que se assemelham as da aridez. Estes, têm por ventura, características primordiais, à escassez de chuva e ao limitado sistema de armazenado de água da chuva (SOUSA *et al.*, 2017).

Atributos importante desta região, localizada na zona intertropical, é que os períodos de chuva se restringem em três ou quatro meses durante o ano. Podendo-se observar, também, o alto grau de insolação, tendo o sol quase todo os dias do ano. O solo é característico

como rochoso, arenoso e raso, que somando-se ao clima, pode-se considerar-se propenso à desertificação (TEIXEIRA, 2016).

A Figura 5 apresenta as regiões e municípios que se encontra na região do semiárido brasileiro, abrangendo 1262 municípios com 27.870.241 habitantes. O Ceará possui 95% de seus municípios integrados à região do semiárido brasileiro, correspondendo a uma população de 5.827.192 habitantes nesta região, abrangendo-se características de baixas pluviosidades com intensidades de chuvas restritas à curto período de tempo no ano, além do solo seco e altos índices de radiação solar, possuindo-se como principal bioma a caatinga, marcantes pelas vegetações xerófilas, espécies de estrato arbóreo, arbustivo e herbáceo, estas adaptam-se aos períodos de escassez, atribuem-se em grande parte folhas pequenas, a fim de contribuir para a diminuição da transpiração (OLIVEIRA, 2018).

Figura 5 - Delimitação de 1.262 municípios da Região Semiárida Brasileira



Fonte: Brasil (2017c).

Devido as características geológicas do semiárido, as reservas de águas subterrâneas, em sua maioria, são denominadas de salobras, ou seja, possuem taxas de sais dissolvidos entre 0,5 a 30,1%, este é um fator determinante, visto que existem baixas disponibilidades de águas superficiais, por conta do baixo índice pluviométrico, e os corpos hídrico subterrâneos não podem ser utilizados para o consumo humano. Para o uso em agricultura, a utilização desta água só poderá ser utilizada mediante a aplicação de tecnologias capazes de reduzir a concentração de sais dissolvidos (SOARES, 2007).

As altas taxas de evaporação que ocorrem em águas superficiais representam uma perda significativa na disponibilidade hídrica de uma região, o semiárido, por sua vez, retorna para atmosfera cerca de 2.000mm de água por ano e possui umidade relativa de 50%. Conhecer as perdas por evaporação são de suma importância para a determinação do volume potencial de água disponível, cujo o dado têm-se relevância no planejamento de políticas de manejo dos recursos hídricos (MOURA *et al.*, 2007).

O Semiárido brasileiro possui cerca de 70 mil açudes de pequeno porte, onde são caracterizados por volumes entre 10.000 e 200.000 m³ e representam 80% dos corpos d'água nos estados do Nordeste. Os açudes, por conta das características do solo, possuem restrições nas suas utilizações, primordialmente devido a salinização, o que gera prejuízos no consumo humano e outros usos de água. Estima-se que um terço dos açudes do Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS) apresente esse problema em sua extensão (MOURA *et al.*, 2007).

2.3 Captação e armazenamento convencional no semiárido cearense

O Plano Nacional de Recursos Hídricos desenhou os primeiros rumos para uma política nacional de captação da água de chuva como forma de garantir o acesso a água para consumo humano, dessedentação de animais e cultivo agrícola (SOUSA *et al.*, 2017).

2.3.1 Poços artesianos rasos

A captação da água para abastecimento humano pode ser feita através da retirada de parcela de água subterrânea dos lençóis freáticos. A altura do lençol freático, na estratificação do solo da região, determina a profundidade de perfuração para captação. Ao possuir alturas maiores que 20 m se considera como perfurações profundas, na qual é realizada com operação mecânica e exige um maior custo. Há também as perfurações de poços rasos, ou

artesianos, que segundo ANA (2016) possuem diâmetros maiores que um metro, sendo este escavado manualmente, onde utiliza-se anéis de concreto ou tijolos como contenção do solo, porém este tipo de captação só pode atingir cotas inferiores a 20 m, mas possui menor custo.

O Estado do Ceará possuem duas grandes bacias sendo estas, o das rochas sedimentares, que ocupam somente vinte e sete por cento da área territorial e, geralmente, produz águas em maior quantidade e de melhor qualidade do que o das rochas cristalinas, que ocupam o restante da área territorial, e na maioria das vezes, produz vazões mais baixas e águas mais salgadas do que o das rochas sedimentares (INESP, 2008).

2.3.2 Cisternas de Placas

Segundo Ventura *et al.* (2013) as cisternas tem funções de armazenar a água da chuva e possuem vantagens inerentes como o baixo custo de execução, alto valor técnico, cultural e ambiental, sendo uma solução destinada a garantir água para a população que possui baixas disponibilidades hídricas em mananciais ou acesso a fontes de boa qualidade para consumo.

Segundo o Ministério da Cidadania (MDS), órgão do Poder Executivo Federal resultante da união do Ministério do Desenvolvimento Social, Ministério do Esporte e Ministério da Cultura, as cisternas podem ser classificadas em três tipos: familiar com capacidade de até 16 m³ de água, escolar com capacidade de até 52 m³ para suprir necessidade das escolas rurais de água e produtiva com capacidade de 52 m³ para atender uma comunidade (BRASIL, 2018c). A Figura 6 apresenta a etapa de construção das cisternas.

Figura 6 – Construção de cisternas de placas no Ceará



Fonte: Brasil (2010)

A captação de água da chuva já é empregada no semiárido cearense por meio do programa Água para todos. O Programa Nacional de Apoio à Captação de Água de Chuva e outras Tecnologias Sociais (Programa Cisternas), foi instituído pelo Decreto nº 7.535, de 26 de julho de 2011, que consta a consonância com as diretrizes e objetivos do Plano Brasil sem Miséria (BSM, criado pelo Decreto nº 7.492, de 2 de junho de 2011). O referido programa é executado pelo Ministério do Desenvolvimento Social (MDS) desde 2003 (SOUSA *et al.*, 2017).

As técnicas de captação de água da chuva começaram a se destacar em 2002 através da implantação do Programa 1 Milhão de Cisternas com intuito de beneficiar a população do semiárido cearense e que até 2011 foram construídas cerca de 480.000 cisternas. Ainda segundo o autor a água armazenada nas cisternas do semiárido cearense não atende os padrões de potabilidade exigido pela consolidação nº5 do ministério da saúde necessitando de um tratamento de desinfecção (BOTTO *et al.*, 2011).

De acordo com o Ministério da Cidadania, 21 mil famílias em 121 municípios serão beneficiadas até o ano de 2019 com 7.761 cisternas de placas para consumo humano através do recurso de 68,5 milhões de reais que fora liberado pelo o governo federal, este recurso também será investido em duas mil cisternas de produção (BRASIL, 2018d).

2.4 Doenças ocasionadas devido a contaminação da água

O conceito de Saúde Ambiental não engloba somente a ausência de doenças, mas as condições estruturais de serviços como forma de prevenção de doenças e o bem-estar da população. O grau de infraestrutura e disposição de serviços de saneamento básico estão diretamente associados a situação de desenvolvimento e econômica do país, no qual a Lei 8.080/1990 responsabiliza o estado de garantir os direitos do cidadão aos serviços de alimentação, moradia, saneamento básico, trabalho, renda, educação, transporte, lazer e o acesso a bens e serviços ambientais, a fim de garantir o bem-estar da população (BRASIL, 2015).

Segundo o Ministério da Saúde do Brasil, “A saúde das populações depende das ações e interfaces intersetoriais, com ênfase no saneamento e no meio ambiente, tendo em vista o estabelecimento de condições que assegurem o acesso universal e igualitário às ações e aos serviços para sua promoção, proteção e recuperação” (BRASIL, 2015, p. 5).

O conceito de saúde permite a criação de estruturas orgânicas não somente para combater a população afetada mas também para prevenir agravos, a fim de agenciar o bem-estar físico, mental e social da população garantindo a saúde a todos (BRASIL, 2015).

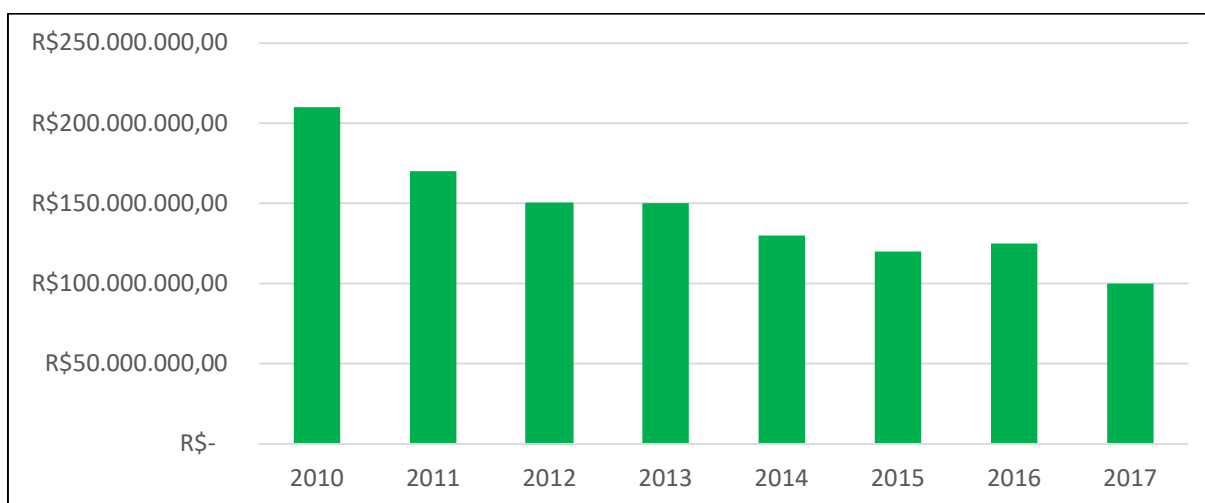
A contaminação da água pode ocorrer através de diversos tipos: dos lençóis freáticos por contaminação do solo, da água tratada de distribuição para a população, dos mananciais, quando recebem despejos de efluentes domésticos e industriais *in natura*, e disposição inadequados de resíduos sólidos. Cerca de 80% das doenças de origem hídrica e um terço dos óbitos estão diretamente interligados a água contaminada, tendo maior incidência em comunidades onde as condições de moradias são irregulares, com ausência de infraestrutura em saneamento básico. A disposição inadequada de resíduos sólidos, promove além de outros impactos a atração de vetores que propagam contaminações (BRASIL, 2013).

A contaminação dos recursos hídricos vem se tornando fonte de diversos estudos, visto que é um dos principais problemas ambientais, e um bem primordial a saúde. A Organização Mundial de Saúde (OMS), afirma que “um quarto dos leitos dos hospitais do mundo está ocupado por pacientes cuja enfermidade está relacionada com a qualidade ou escassez da água, ou ambas”. A disseminação de doenças de veiculação hídrica se propaga através do contato direto ou ingestão (SANTANA; FREITAS, 2012).

No Brasil, o saneamento ambiental tem apresentado evolução nas últimas décadas, mas ainda possui deficiência, visto que os dados de 2008 da Pesquisa Nacional de Saneamento Básico apontam que apenas 55% dos municípios brasileiros possuíam rede coletora de efluente e do total do efluente coletado, somente 68,8% tinham um tratamento antes de ser disposto nos mananciais. Em 2018 cerca de 50,8% dos municípios destinam os resíduos em “lixões” e que em 12,8% dos municípios a água fornecida era parcialmente tratada ou não passava por nenhum tipo de tratamento (PAIVA; DE SOUZA, 2018).

Segundo Trata Brasil, cerca de 407 mil pessoas foram internadas por doenças de veiculação hídrica ocasionada pela ausência de saneamento, onde 53% dos casos são crianças de 0 a 5 anos. Em 2010, foram gastos mais de R\$ 210 milhões com internações por doenças associadas à falta de saneamento da população. Conforme o exposto na Figura 7, nos anos posteriores percebe-se uma diminuição expressiva, apresentando R\$ 99 milhões em despesas em 2017, ou seja, uma redução de mais de 50% do gasto relacionado à 2010 (BRASIL, 2018e).

Figura 7 - Despesas com internações por doenças de veiculação hídrica.



Fonte: Brasil (2018c).

Em 2013, as taxas de internação por doenças de gastroenterites infecciosas e complicações nas regiões Norte e Nordeste foram 37,17% e 35,44% superiores à média nacional que é de 19,94%. No ano de 2015, segundo dados do Departamento de Informática do SUS as doenças como cólera, febres tifoide e paratifoide, shigelose, amebíase, diarreia e gastroenterite de origem infecciosa presumível, esquistossomose e outras doenças infecciosas intestinais foram responsáveis por 2,35% das internações totais no Brasil, gerando uma parcela de 0,7% dos gastos totais do Sistema Único de Saúde (SUS) com internações no período. Dessas internações, 43,4% foram de pessoas com 10 anos ou mais de idade. Quando considerada a distribuição regional desses casos, tem-se que a maior concentração das internações ocorreu na Região Nordeste, onde foram registrados 49,1% (PAIVA; DE SOUZA, 2018).

2.5 Processo convencional de tratamento de água

Segundo Pohlmann *et al.* (2015) o tratamento convencional de água nas estações de tratamento é constituído por operações unitárias, quais sejam: pré-oxidação, coagulação, floculação, decantação, filtração e desinfecção. Cada uma destas etapas tem funções bem definidas podendo atuar diretamente na:

- Clarificação por meio de agentes físicos quando utilizados filtros de areia ou elementos filtrantes e/ou químicos quando for utilizado coagulantes agilizando o processo de

decantação de sólidos em suspensão decantáveis, podendo também ser utilizado flotação para retirada destes;

- Remoção de odor e sabor da água geralmente são utilizados filtros de carvão;
- Eliminação de possíveis patógenos que podem estar presentes na água utiliza-se a desinfecção por meio de métodos desinfetantes;
- Para correção química de pH utiliza-se uma solução básica e fluoretação para adição de flúor como método preventivo de cáries.

A aplicação destas etapas visa a adequação aos padrões de potabilidade estabelecido no Anexo XX da consolidação nº5/2017, do Ministério da Saúde do Brasil. Além deste Processo convencional de tratamento de água, também denominado de Tratamento Completo, pode-se encontrar sistemas mais simples onde algumas etapas do sistema completo (convencional) são suprimidos por conta da qualidade da água bruta. Destacam-se os processos de Filtração Direta Descendente ou Ascendente, Filtro Lento, Filtração Direta em Linha dentre outras (DUARTE, 2011).

A etapa de desinfecção da água, integrante do sistema de tratamento de água, é de suma importância, visto que tem por função básica a inativação de microrganismos nocivos à saúde humana, objetivando-se garantir a segurança hídrica da água para a população. O processo de desinfecção dar-se pela escolha de desinfetantes, que podem ser físicos ou químicos. A análise assertiva dos métodos de desinfecção é primordial para a eficiência do tratamento, além de ser complexo, pois trata-se de microrganismos patogênicos que resistem a diferentes temperaturas, meios químicos e físicos.

Diversos fatores influenciam na eficiência dos métodos, quais sejam a espécie e concentração do microrganismo a ser combatido, tempo de contato do desinfetante com os organismos, características físicas e químicas da água, a capacidade dispersiva do desinfetante na água entre outros (MEYER, 1994).

A Fundação Nacional de Saúde (FUNASA) (BRASIL, 2014) cita os métodos comumente utilizados para a desinfecção da água na qual é realizada por agentes físicos ou químicos, como por exemplo: cloro, dióxido de cloro, ozônio, radiação ultravioleta, tratamento eletrolítico, fervura, iodo, sais de prata e outros. Destacando-se o cloro por ser o desinfetante mais utilizado e com comprovação de sua eficiência, de fácil aplicação, elevada capacidade de oxidação da matéria orgânica e inorgânica, além da presença de residual deste composto ser facilmente aferida. A Consolidação nº 05 do Ministério da Saúde, estabelece um resíduo

mínimo de 0,2 mg/L de cloro residual livre ou 2 mg/L de cloro residual combinado ou de 0,2 mg/L de dióxido de cloro em toda a extensão do sistema de distribuição (reservatório e rede). Sendo o objetivo final do tratamento da água para consumo humano a eliminação dos patógenos e adequação das qualidades físicas, químicas e microbiológicas seguindo as diretrizes do que está estabelecido na consolidação nº 05 do Ministério da Saúde do Brasil (2017a), na qual o processo escolhido deve ser econômico, eficaz, confiável e permanente.

Segundo a EAWAG/SANDEC (2002) nas comunidades difusas do semiárido brasileiro com poucos recursos e mais isoladas, dificilmente é fornecido água tratada para a população local, sendo os métodos mais utilizados para desinfecção da água: (1) fervura da água na qual elimina vírus, parasitas e bactérias patogênicas, porém a uma elevada quantidade de energia despendida; (2) Armazenamento em potes de barro para decantação de compostos, sendo a recontaminação facilmente ocasionado se ocorrer o manuseio incorreto da água; (3) filtração por vela de cerâmicas removem uma grande fração de resíduos sólidos, mas podem possuir capacidade de remover todos os microrganismos; e (4) Desinfecção solar da água (SODIS) método que utiliza a radiação solar (luz e UV-A) para remoção bactérias patogênicas e vírus encontrados na água, a eficácia contra protozoários depende da temperatura alcançada durante a exposição solar, do clima e das condições do tempo.

O Quadro 1 caracteriza os tipos de métodos de acordo com a aplicabilidade e praticidade, dificuldades técnicas, custo e eficiência microbiológica, a fim de obter um panorama geral de alguns desinfetantes utilizados no processo de desinfecção de água.

Quadro 1 – Métodos Físicos de Tratamento de água em escala doméstica

Método	Aplicabilidade e Praticidade	Dificuldades Técnicas	Custo (a)	Eficiência Microbiológica (b)
Fervura ou aquecimento com combustível	Variada (c)	Baixo-moderada	Variado (c)	Elevado
Exposição ao sol	Elevada	Baixo-moderada	Baixo	Moderado
Lâmpada UV	Variada (d)	Baixo-moderada	Moderado-Elevado (d)	Elevada
Sedimentação	Elevada	Baixa	Baixo	Baixo
Filtração (e)	Variada (e)	Baixo-moderada	Variado (e)	Variada (f)
Aeração	Moderada	Baixa	Baixo	Baixa (g)
Cloração	Elevada a moderada	Baixa a moderada	Moderado	Elevado

(a) Categoria dividida por custo anual em dólares americanos: Baixo:<\$10; Moderado: \$10 - \$100; Elevado > \$100.
(b) Eficiência baseada na taxa de inativação de microrganismos patogênicos: Baixo:<90%; Moderad: 90-99%; Elevado > 99%.
(c) Depende do tipo de aquecimento utilizado, bem como da viabilidade e do custo do combustível. Varia desde baixo a elevado.
(d) Depende da viabilidade e do tipo de lâmpada, bem como do custo de energia elétrica e de operação e manutenção (bombas e sistemas e limpeza).
(e) Existem vários métodos de filtração. Praticidade, viabilidade e custo dependem do meio filtrante: granular, cerâmico, etc.
(f) Depende do tamanho do poro e de outras características do meio filtrante. Alguns são altamente eficientes, com remoção microbiológica maior que 99%.
(g) Aeração (oxigenação) pode atuar em sinergia com outros métodos, como a desinfecção solar ou com outro processo que oxide a molécula de oxigênio.

Fonte: Adaptado de Botto (2006).

O método de SODIS ocorre com a exposição da água microbiologicamente contaminada (armazenadas em garrafas transparentes) à luz solar direta durante 6 horas. Não pode ser usada para o SODIS água muito turva, com valores acima de 30 NTU. O SODIS é um método de tratamento de água que pode melhorar a qualidade microbiológica da água, não muda o sabor da água, é aplicável a nível doméstico, é simples de aplicação, conta com os

recursos locais e energia renovável e replicável com baixos custos de investimento (EAWAG/SANDEC, 2002).

2.6 Energia solar

A energia solar é a principal fonte de energia da terra visto que além de ser aproveitada diretamente como fonte de energia térmica, para o aquecimento de fluídos e ambientes e para geração de potência elétrica ou mecânica, pode ser utilizada indiretamente nas demais energias renováveis, como eólicas, hídricas, de biomassa, geotérmica e parte da maremotriz (SILVA, 2010). O tempo de incidência solar na terra depende da latitude local e da posição no tempo, isto é caracterizado por conta do movimento que a terra realiza em torno do seu eixo e a trajetória elíptica em torno do sol, logo o período de visibilidade do Sol pode zerar quando este encontra-se abaixo da linha do horizonte durante todo dia, também poderá alcançar 24hrs de exposição quando este está acima da linha do horizonte durante todo o dia (BRASIL, 2005).

Anualmente o sol irradia para a superfície da terra cerca de 10.000 vezes mais que a energia utilizada pela a população no ano. O Sol produz constantemente 390 sextilhões de quilowatts de potência. Segundo estudos da Agência Internacional de Energia (IEA), a energia solar poderia suprir em torno de 11% da energia elétrica mundial em 2050, resultando em 5.000 TWh (tonelada whatts hora) (SILVA, 2010).

O território brasileiro é privilegiado na exposição solar tendo médias anuais de irradiações variando entre 1200 e 2400 kWh/m²/ano, porém há regiões no mundo com médias acima dos 3000 kWh/m²/ano, como Austrália, norte e sul da África , Oriente Médio, parte da Ásia Central, parte da Índia entre outros (BRASIL, 2017c).

A importância da energia solar aproveitada mundialmente é bem superior as demais fontes de energias, podendo ser demonstrada na Figura 8 que representa a singular utilização da energia proveniente dos raios solares.

Figura 8 – Recursos Energéticos Totais da Terra



Fonte: Brasil (2017c).

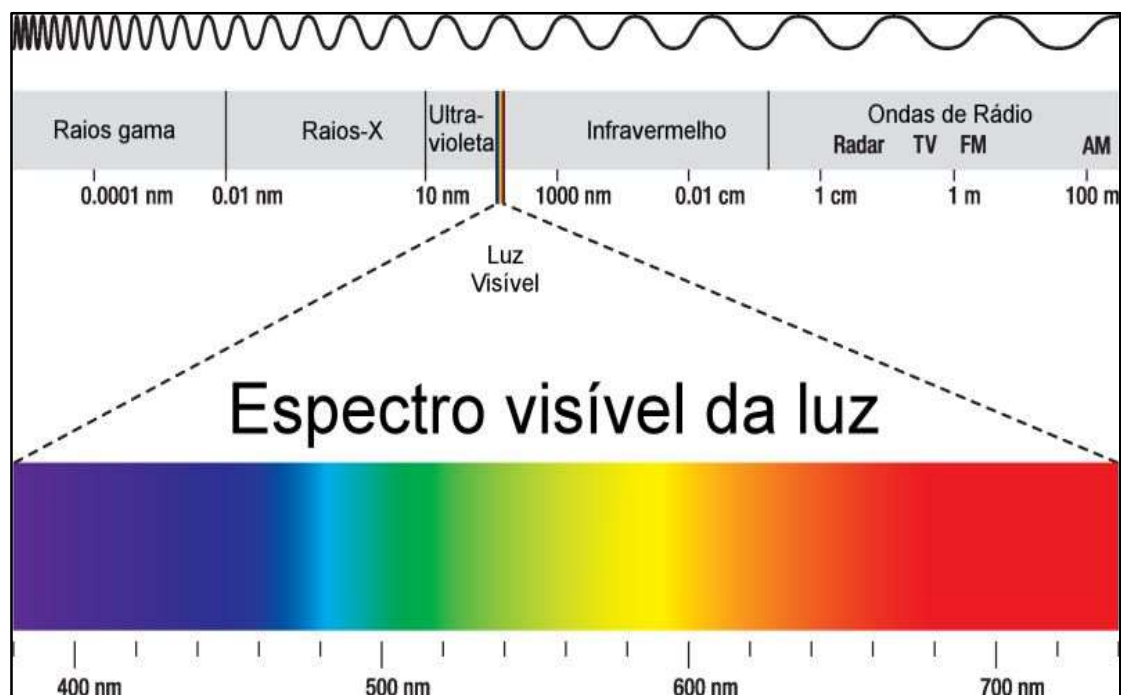
A região Nordeste possui maiores valores de irradiação solar além da menor variabilidade de exposição durante o ano, sendo a região central da Bahia e noroeste de Minas Gerais registrando cerca de 6,5 kWh/m²/dia. Estando localizada na região semiárida apresenta, ainda, baixos índices pluviométricos e altas taxas de evaporação (PEREIRA *et al.*, 2006).

2.6.1 Distribuição e caracterização espectral da radiação solar para desinfecção

Segundo Silva *et al.* (2015) a luz emitida pela a energia solar é caracterizada como uma radiação de natureza eletromagnética composta de um campo magnético, onde estas são descritas por duas variáveis importantes: o comprimento de onda, na qual é definida como a distância entre duas ondas eletromagnéticas; a frequência, que se define como o número de ciclos que passam por um mesmo ponto em um segundo, durante a propagação da luz. O sol emite energia na maior parte dos comprimentos de ondas conhecido, onde este conjunto é denominado espectro eletromagnético, no qual apenas nos comprimentos de ondas que variam de 400 a 700 nm podem ser perceptíveis aos olhos humanos, denominado de espectro visível ou luz visível.

Na Figura 9 demonstra-se as diferentes faixas de comprimentos de onda, nas quais recebem nomes específicos para cada variação.

Figura 9 – Espectro Visível da Luz



Fonte: Silva *et al.* (2015)

Como demonstrado na figura 05 a emissão dos raios solares transmitem para a superfície da terra raios ultravioleta, sendo estas compreendidas pela a UV-A, que corresponde aos comprimento de 315 a 400nm, a UV-B com comprimentos de 280 a 315nm, a UV-C 100 a 200nm e a UV-Vácuo ou UV-Vazio com comprimentos de 100 a 200nm, onde estes são capazes de realizar a inativação de microrganismos patogênicos na água, principalmente as UV-B, UV-C e UV-Vácuo, porém a absorção das ondas curtas pela a camada de ozônio impede que quantidades significativa destas cheguem na superfície da terra, portando a maior inativação por energia solar na terra é realizado por 95% da UV-A e 5% da UV-B, destacando-se que a inativação pode ser atingida pela energia do fóton quando a emissão apresenta comprimento de onda de 253,7nm (UV-C) e também por ondas de calor presente no espectro da luz UV-A e UV-B (AGUIAR, 2000).

Este método de desinfecção é conhecida deste o século XX, porém segundo Souza *et al.* (2012) existem fatores determinantes para a eficiência do método, como: intensidade de radiação, tempo de exposição dos microrganismos, além das características do líquido a ser desinfetado.

A radiação ultravioleta do tipo UV-C emitida pela luz solar é caracterizado como processo físico de desinfecção e tem função a inativação dos microrganismos patogênicos através da desestruturação de seu material genético (DNA e RNA) quando atingido

comprimentos de ondas de aproximadamente 254 nm, além disto as reações fotoquímicas gerada pelo o contato da radiação com o meio líquido altera as funções enzimáticas dos microrganismo incapacitando sua reprodução (PEDROSO *et al.*, 2018).

Botto (2006) afirma que “a principal faixa espectral da radiação solar responsável pela inativação de microrganismos é realmente a luz UV-A”. Além disto, registrou-se que a luz violeta, que se encontra com comprimento de onda na faixa dos 400-459nm, também exercem importante funcionalidade, e quando associada a luz UV-A, aumenta-se três vezes mais a inativação dos microrganismos.

Além da inativação pela a exposição aos raios UV, esta desinfecção pela a luz solar ocorrerá também pelo o aumento da temperatura do fluído contaminado, haja vista que elevando a temperatura do fluído a 70°C os microrganismos patogênicos não possuem resistência ocorrendo a desnaturação das proteínas destes (RODRIGUES; ZIOLLI; GUIMARÃES, 2007).

O método SODIS – *Solar Desinfeccion* utiliza-se concomitantemente estas duas vertentes, expondo-a a água contaminada aos raios solares, os microrganismos serão inativados pelo o acréscimo da temperatura e pela modificação do seu DNA.

2.7 Desinfecção solar

Como exposto por Botto (2006) a desinfecção solar realizada pelo o método SODIS é uma tecnologia simples, de baixo custo, bastante aplicável, prática e moderadamente eficaz no tratamento microbiológico, tornando-se assim de suma importância o estudo do aprimoramento desta tecnologia a fim de torna-la apta e eficiente para as comunidades difusas do semiárido cearense, portanto neste item será realizado uma pesquisa bibliográfica no intuito de detalhar esta tecnologia para identificação dos pontos positivos, de melhoria e os gargalos encontrados pelo os pesquisadores, assim como as metodologias empregadas e a legislação vigente que deverá ser atendida.

2.7.1 O início da desinfecção solar

O emprego da desinfecção solar no tratamento de água no território brasileiro é pouco difundida apesar de ser uma tecnologia com mais de 30 anos de estudo, onde iniciou-se com o pesquisador professor Aftim Acra na Universidade Americana de Beirute, onde este com seus estudos motivou organizações a divulgar e aprofundar a pesquisa sobre esta tecnologia,

tendo em 1985 um projeto lançado pela Associação de Sistemas de Energia Rural Integrada (*Integrated Rural Energy Systems Association – INRESA*), e em 1988, um seminário realizado pelo o Instituto de Suporte de Pesquisa (*Brace Research Institute*) em Montreal para rever e avaliar os resultados obtidos pelo o pesquisador (ACRA *et.al.*, 1984)

Em 1991, uma equipe de pesquisadores interdisciplinar que reunia engenheiros sanitários, fotoquímicos, bacteriologistas e virologistas do Instituto Federal Suíço de Ciência e Tecnologia Aquática (EAWAG) e o Departamento de Água e Saneamento para Países em Desenvolvimento (SANDEC) realizaram um extenso trabalho a fim de aprimorar a ideia e atestar a eficiência do SODIS, além de desenvolver um método de baixo custo, efetivo e sustentável para o tratamento de água (EAWAG/SANDEC, 2002).

Antes dos estudos realizados pela a EAWAG a literatura comprovava a eficiência da inativação microbiológica através da radiação UV-A para a mudança genética do DNA dos patógenos inativando suas atividades, também era conhecido pelo os pesquisadores a eficiência microbiológica quando elevada a temperatura do líquido, processo denominado de pasteurização, visto que os microrganismos não resistiam e eram inativados. Porém os pesquisadores da EAWAG associaram os dois métodos, verificando uma forte interação de eficiência entre a radiação e o calor (EAWAG/SANDEC, 2002)

Em 2002, o EAWAGC divulgou um guia de aplicação da desinfecção solar com intuito de destacar-se as pesquisas, que fora dividida em três fases, sendo a primeira a associação da radiação com o calor atestando a eficiência do método SODIS em regiões com taxas de irradiação solar de $500\text{W}/\text{m}^2$ por exposição de 6 horas, sendo o melhor horário entre 09:00 às 15:00, na segunda fase testou-se a exposição solar em diferentes recipientes, como vidro, PET e sacolas caracterizando vantagens e desvantagens destes materiais como custo, durabilidades, interações com a qualidade da água, resistência a alta temperatura e praticidade. Na terceira fase do projeto fora realizada a aceitabilidade sociocultural desta tecnologia em comunidades da Colômbia, Bolívia, Indonésia, China entre outros, onde obteve-se que 85% das pessoas utilizariam este sistema na qual despertou admiração por parte dos entrevistados pela a simplicidade e eficiência do método (EAWAG/SANDEC, 2002).

Em 2006, o pesquisador da Universidade Federal do Ceará realizou um amplo estudo de doutorado atestando a eficiência do uso do método SODIS para comunidades difusas do semiárido cearense, por ser um método de baixo custo e de grande eficiência, em seus estudos realizou-se testes de tempo de exposição, além de superfícies e materiais para o armazenamento da água (BOTTO, 2006).

Segundo EAWAG/SANDEC (2016), “o método SODIS é reconhecido como uma opção viável do HWTS (Sistema de Rastreamento de Resíduos Perigosos) e pelo menos 5 milhões de pessoas já iniciaram a utilização da tecnologia para a desinfecção de água para o consumo humano”.

Até o ano de 2018 foram publicados diversos estudos no Brasil afirmando a aplicabilidade do SODIS para desinfecção e a praticidade e baixo custo do método, além da viabilidade no território brasileiro por conta das altas taxas de irradiação solar, apesar disto o método ainda é pouco conhecido pela a população brasileira, principalmente pela as comunidade difusas que não possuem água de qualidade e necessitam de um tratamento fácil prático e eficiente (BOTTO *et al.*, 2011; GOLIN, 2018; MORITA, 2010; PEREIRA *et al.*, 2012; RAMO; SALLA, 2007).

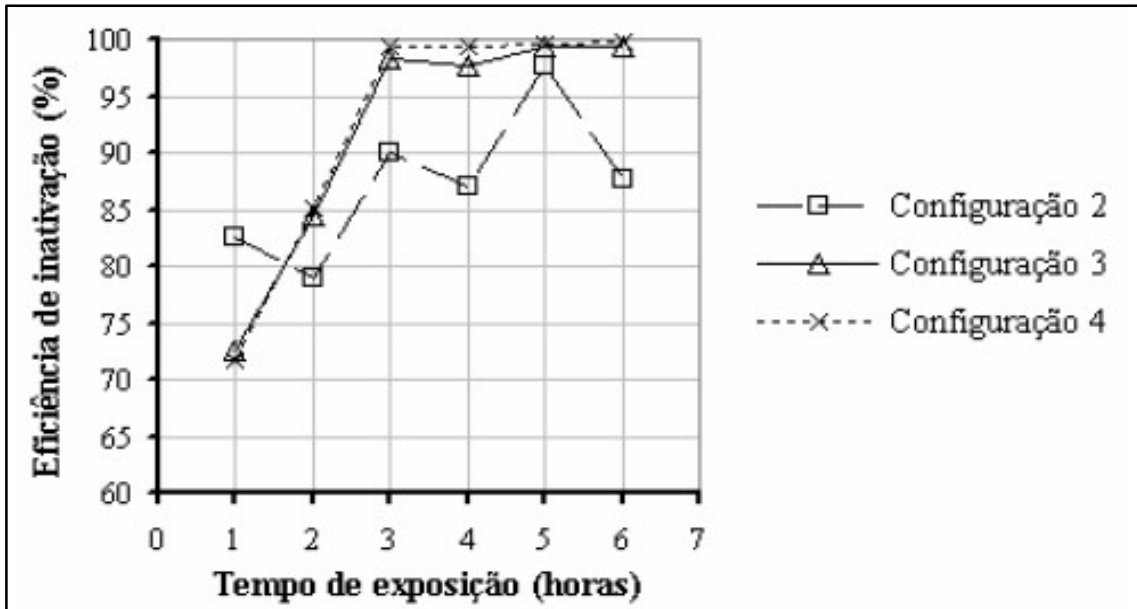
2.7.2 Características e eficiência da desinfecção solar

O método SODIS, assim como os tratamentos de desinfecção de água para o consumo humano, possuem vantagens e limitações, nas quais são fatores determinantes para a adequada utilização. Botto (2006), EAWAG/SANDEC (2016) e Golin (2018) destaca características vantajosas desta tecnologia, sendo estas:

- Sustentabilidade;
- Baixo custo de implantação e manutenção;
- Melhoria na qualidade da água para consumo humano pela a eficiência na inativação de microrganismos patogênicos;
- Facilidade de Aplicabilidade;
- Sem necessidade de energia elétrica;
- Não requer obras de infraestruturas para garantir a qualidade da água para as comunidades difusas;
- Têm grande eficiência nas regiões do semiárido por possuir altas taxas de insolação;
- Reduz a utilização de combustíveis energéticos para o aumento da temperatura da água, como a lenha ou o GLP;
- Melhora a saúde das comunidades difusas, visto que reduz a proliferação de bactérias por veiculação hídrica, minimizando o número de pessoas nos Sistemas Únicos de Saúde.

A Figura 10 realizado por Ramo e Salla (2007) demonstra a eficiência do método na inativação microbiana ao longo do tempo de exposição.

Figura 10 - Eficiência microbiana do método SODIS



Fonte: Ramo e Salla (2007).

No entanto, alguns fatores podem ser prejudiciais para a eficiência do método, como, a exposição intermitente da água ao sol durante as 6 horas do tratamento, onde Botto (2006) registrou em sua pesquisa que quando a água é protegida por uma sombra no período de tratamento os microrganismos poderão se proliferar mais rapidamente tornando o sistema ineficiente. A Figura 11 demonstra a condição que a água não poderá estar durante as seis horas de exposição.

Figura 11 – Exposição Inadequada da Água ao Sol



Fonte: Botto (2006).

Outro fator que poderá prejudicar a inativação dos patógenos é a turbidez da água. Golin (2018) destacou que para a realização do tratamento a água deverá estar relativamente clara, estando com turbidez menor que 30 NTU (Unidade de Turvação Nephelometrica), isto ocorre, pois, as partículas suspensas diminuem a penetração da radiação UV-A protegendo os microrganismos. McGuigan *et al* (2012) realizou um intenso estudo do uso do SODIS, identificando, dentre diversos fatores, o grau de turbidez do líquido para a realização do tratamento microbiológico. A Figura 12 demonstra dois ensaios num reator laminado para aumento de incidência onde a amostra da esquerda apresenta 0NTU e a da direita 100 NTU.

Figura 12 – Reator de SODIS na Plataforma Solar de Amería na Espanha com 25L contendo água de 0 e 100 NTU



Fonte: McGuigan *et al* (2012).

2.7.3 Tipo de recipiente utilizado no processo

A determinação do recipiente é de suma importância para a eficiência do método visto que o recipiente deverá ser inerte a água para não interferir no tratamento, deverá suportar as ações das intempéries, pois ficará exposto sem proteções mecânicas, deverá ser durável e garantir a penetração dos raios UV-A, além de resistir a temperaturas de 70°, por conta da penetração dos raios infravermelhos que elevaram a temperatura para a inativação dos microrganismos patogênicos.

Sob análise realizada pelo EAWAG/SANDEC (2002) identificou-se as vantagens e desvantagens inerentes a garrafa de vidro e garrafa PET, visto que é de maior facilidade o encontro destes, além de ter um caráter sustentável no reaproveitamento destes materiais recicláveis. O Quadro 2 representa estes pontos abordados pelos pesquisadores.

Quadro 2 – Vantagens e Desvantagens de recipientes para a utilização do SODIS

Material	Vantagens	Desvantagens
Garrafas PET	Leve, Relativamente Inquebrável, Transparentes, Não alteram o sabor, Quimicamente estável.	Resistência limitada ao aquecimento (deformação com temperaturas acima dos 65°), Mudança da superfície pelo ressecamento, Arranhões mecânicos.
Vidro	Não Arranham, Não contém nenhum fotoproduto, Resistentes ao aquecimento, Não alteram o sabor.	Fragilidade, Pesada, Custo mais alto

Fonte: adaptado de EAWAG/SANDEC (2002).

A garrafa PET destacou-se na literatura, bem como sendo indicada por ser de maior facilidade o acesso nos países de baixa e média renda. Deve-se utilizar garrafas de 2L de volume que possuem uma penetração da radiação solar no máximo a 10 cm (GOLIN, 2018). McGuigan *et al.* (2012) utilizou tubos de vidro de 5 cm de diâmetro com capacidade de 25 L, realizando testes atestou a eficiência, porém estes deverão estar em uma superfície adequada para o aumento da transmitância de radiação UV.

O envelhecimento da garrafa PET, realizado por arranhões e fotoprodutos, é um problema encontrado na literatura, visto que estas impedem a difusão das radiações em todo o líquido dificultando a inativação dos microrganismos patogênicos, estas quando identificadas devem ser imediatamente substituídas (WEGELIN, 2001).

McGuigan *et al.* (2012) destaca que o vidro colorido não é preferido, porém o translucido de garrafas e frascos podem transmitir 90% da radiação solar, particularmente em comprimentos de onda na região UV-A. Vidros com material de Borossilicato poderá ser uma boa opção no uso de reatores solares de fluxo, visto que estes concentram no tubo 90% de radiações UV-A e 45% de UV-B, que apresenta uma faixa mais germicida.

Porém o uso do vidro no tratamento de água com o SODIS não é utilizado pelas as comunidades difusas por conta da fragilidade do material e do peso, visto que os usuários necessitam retirar o recipiente todos os dias e preenchê-los com uma nova água, o que torna incômodo e aumenta o risco de acidentes aos usuários (MCGUIGAN *et al.*, 2012).

Materiais como sacolas plásticas e copos de vidro ou de plástico foram testados por EAWAG/SANDEC (2002) e não apresentaram eficiência, por conta da resistência a intempéries e o volume de armazenamento.

2.7.4 O efeito da agitação

Conforme o exposto por Meyer e Reed (2001), a desinfecção solar tem uma maior eficiência quando há agitação da água exposta ao sol, visto que oxigênio é essencial visto que o efeito bactericida da água depende do nível de oxigênio dissolvido contido no recipiente. O processo SOLAIR é o uso de oxigênio e radiação solar para desinfecção da água.

No que se refere a eficiência do processo de agitação durante o tratamento da água pelo método de SODIS, de acordo os experimentos de Botto (2006) tem-se uma diferença mínima de 0,017% quanto aos resultados dos testes de desinfecção com radiação UV-A com/sem agitação para inativação de coliformes termotolerantes, por tanto para a presente pesquisa não utilizara o método de agitação do recipiente de vidro para comprobatória dos resultados do método de SODIS em cisternas do semiárido do Ceará.

2.7.5 Superfície de exposição

A superfície faz parte do conjunto de fatores importantes para a eficiência microbiológica do método SODIS, pois esta poderá aumentar a capacidade de irradiação para o fluido, dependendo da superfície utilizada poderá reduzir a quantidade de horas de exposição ou aumentar a quantidade de água a ser tratado para o consumo humano. Segundo McGuigan *et al.* (2012) as pesquisas de superfície para a exposição do SODIS resumem em duas vertentes de melhoria, sendo o aumento da temperatura pelo os raios infravermelhos, quando exposto em superfícies escuras ou o aumento da concentração de radiações UV-A, quando utiliza-se materiais refletantes.

Botto (2006) realizou um extenso estudo realizando testes de eficiência microbiológica do SODIS em várias superfícies, sendo estas:

- A telha colonial, encontrada em boa parte das residências de comunidades de baixa renda e difusas no semiárido cearense;
- Superfície Pintada de Branco, na qual encontra-se nas cisternas implantadas no semiárido cearense;
- Bacia de Alumínio, por ser de baixo custo e facilidade de obtenção;
- Telha de Amianto, por estar presente nas residências de baixa renda;
- Superfície Pintada de Preto.

As superfícies estudadas possuíram excelentes resultados na inativação de coliformes termotolerantes, na qual demonstrou-se na Tabela 1 que mostra a evolução de inativação ao longo das 6 horas de tratamento e na Tabela 2 demonstra a eficiência em porcentagem das superfícies.

Tabela 1 – Concentração média de coliformes termotolerantes em função do tempo de exposição.

Coliformes Termotolerantes (NMP/100mL)					
Tempo (hrs)	Concreto Branco	Concreto Preto	Tela de Amianto	Telha de Barro	Bacia de Alumínio
0	1,83E+05	1,83E+05	1,83E+05	1,83E+05	1,83E+05
1	8,69E+04	8,04E+04	6,21E+04	8,62E+04	1,44E+05
2	3,07E+03	1,03E+04	2,43E+03	5,05E+03	6,10E+03
3	2,69E+02	1,02E+03	1,55E+02	1,36E+02	1,68E+02
4	2,10E+01	7,66E+01	1,36E+01	6,03E+01	3,06E+01
5	2,76E+00	1,59E+00	5,43E+00	3,91E+00	2,00E+00
6	0,00E+00	2,00E+00	0,00E+00	5,14E+00	2,00E+00

Fonte: Botto (2006).

Tabela 2 – Eficiência média de inativação dos coliformes termotolerantes

Eficiência (%)					
Tempo (hrs)	Concreto Branco	Concreto Preto	Tela de Amianto	Telha de Barro	Bacia de Alumínio
0	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%
1	51,048%	56,081%	66,059%	52,933%	21,231%
2	98,326%	94,396%	98,671%	97,243%	96,669%
3	99,853%	99,443%	99,915%	99,926%	99,908%
4	99,989%	99,958%	99,993%	99,967%	99,983%
5	99,998%	99,999%	99,997%	99,998%	99,999%
6	100,000%	99,999%	100,000%	99,997%	99,999%

Fonte: Botto (2006).

McGuigan *et al.* (2012) utilizou nos estudos um reator de fluxo de irradiação, onde expôs a água em uma superfície de alumínio de alta refletância, para a concentração dos raios UV-A e UV-B.

2.7.6 *Aplicação em campo*

A metodologia SODIS é uma tecnologia difundida por mais de 20 países, e é eficiente no tratamento da água para consumo humano pela a facilidade no seu processo, que consiste nas etapas descritas pelo o guia de aplicação do SODIS (EAWAG/SANDEC, 2002):

- Higienizar o recipiente que será utilizado, retirando rótulos ou quaisquer obstáculos ou impurezas que dificultem a passagem dos raios solares;
- Preencher o recipiente com água a ser tratada;
- Posicionar o recipiente numa superfície que esteja exposta ao sol ininterruptamente das 09:00 às 15:00, deverá estar livre de sombreamentos ou períodos nebulosos;
- Passada às seis horas de exposição retirar o recipiente, estando a água livre de patógenos.

É de suma importância a verificação de condições climáticas antes da exposição, visto que deverá estar as seis horas ao sol, tendo em dias chuvosos e nebulosos a ineficiência do sistema. Deve-se observar a integridade dos recipientes, no caso de garrafas PET, a vedação da rosca, a não presença de arranhões. A garrafa deverá estar posicionada inclinada à radiação solar, não tendo eficiência posicionada na vertical. A água a ser tratada não deve estar turva.

Vale salientar a necessidade de um treinamento prévio aos usuários da tecnologia, para a correta exposição da água e a eficiência da inativação dos microrganismos patógenos tornando-a própria para consumo humano segundo os parâmetros de potabilidade da água exigidas pelo a Portaria de Consolidação N° 5/2017, Anexo XX do Ministério da Saúde do Brasil (Brasil, 2017a)

2.7.7 *Pesquisas sociais*

Botto (2006) realizou uma pesquisa de aceitabilidade do método de desinfecção solar da água constatando que possui uma maior aceitabilidade nas comunidades do interior por não ter um acesso mais prático à água tratada como nos centros urbanos. Dentre o montante entrevistado têm-se os resultados de que 75% de aceitabilidade em comunidades do interior e

apenas 9% em centros urbanos. De acordo com as entrevistas constatou-se que em grande maioria dos entrevistados associaram a qualidade da água com aspectos sensoriais de coloração e gosto, independente das condições sanitárias do local de captação. Em geral Botto (2006) destacou a viabilidade e aplicabilidade do SODIS nas comunidades cearenses, principalmente as que utilizam as cisternas de placas para armazenamento, sendo estas não isenta da presença e proliferação de patógenos.

2.7.8 Legislação e qualidade microbiológica de água

A Portaria de Consolidação N° 5/2017, Anexo XX do Ministério da Saúde do Brasil (Brasil, 2017a) trata das normas referente as ações, serviços de saúde e padrões de especificação físico-químicas e microbiológicas de potabilidade, água própria para consumo humano que não possui efeitos adversos a saúde.

Como indicadores de contaminação fecal, as bactérias do grupo coliformes foram tomadas como referência para indicadores de qualidade microbiológica da água. Segundo Brasil (2014) estas tem-se como referência de contaminação da água pois são:

- Encontradas nas fezes de animais de sangue quente, inclusive dos seres humanos;
- Facilmente detectáveis e quantificáveis por técnicas simples e economicamente viáveis, em qualquer tipo de água.
- Sua concentração na água contaminada possui uma relação direta com o grau de contaminação fecal desta.
- Tem maior tempo de sobrevivência na água que as bactérias patogênicas intestinais, por serem menos exigentes em termos nutricionais, além de serem incapazes de se multiplicarem no ambiente aquático ou se multiplicarem menos que as bactérias entéricas.
- São mais resistentes aos agentes tensoativos e agentes desinfetantes do que bactérias patogênicas.

Tratando-se dos padrões microbiológicos, objeto de estudo desse trabalho, o anexo I do anexo II da Portaria de Consolidação N° 5/2017, Anexo XX do Ministério da Saúde do Brasil (Brasil, 2017a), onde estabelece ausência de coliformes totais e *Escherichia-coli* em água para abastecimento humano, conforme o ilustrado no Quadro 3.

Quadro 3 - Padrão microbiológico da água para consumo humano

Tipos de água		Parâmetro		VMP	
Água para consumo humano		<i>Escherichia coli</i>		Ausência em 100 mL	
Água tratada	Na saída do tratamento	Coliformes totais		Ausência em 100 mL	
	No sistema de distribuição (reservatórios e rede)	<i>Escherichia coli</i>		Ausência em 100 mL	
		Coliformes totais	Sistema ou soluções alternativas coletivas que abastecem menos de 20.000 habitantes.		Apenas uma amostra, entre as amostras examinadas no mês, poderá apresentar resultado positivo.
			Sistema ou soluções alternativas coletivas que abastecem a partir de 20.000 habitantes.		Ausência em 100 mL em 95% das amostras examinadas no mês

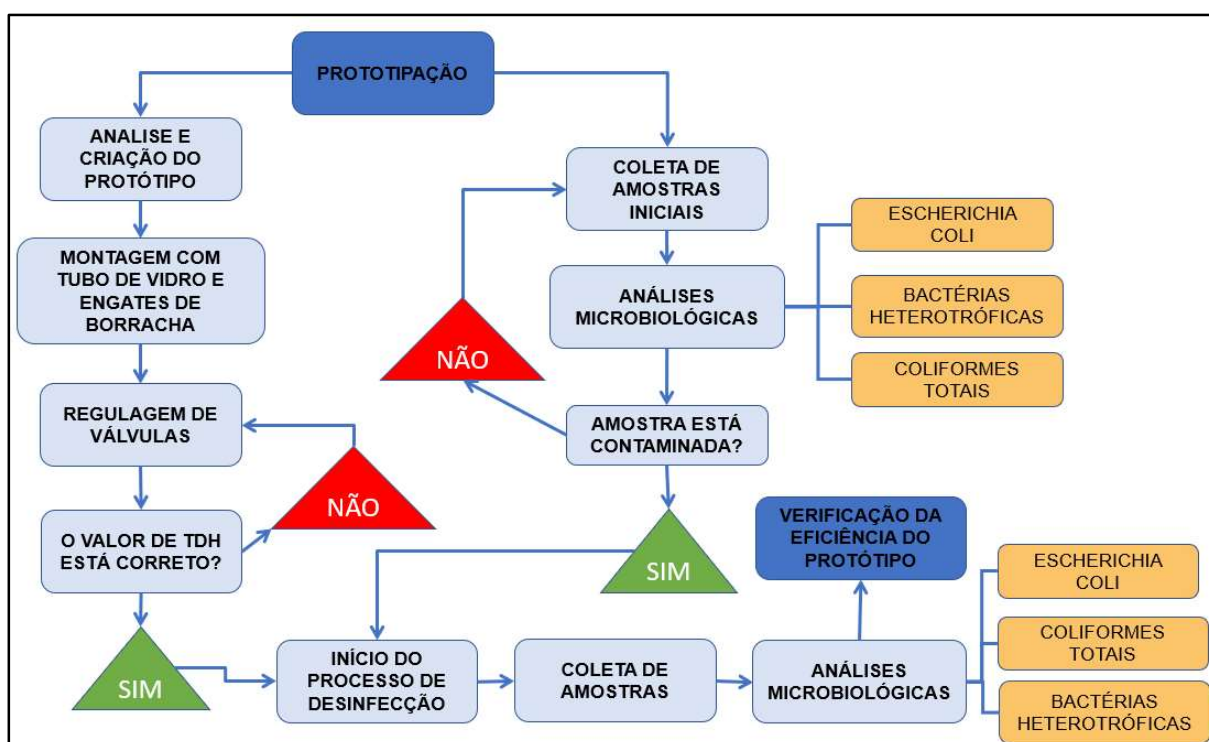
Fonte: Brasil, 2017a.

3 METODOLOGIA

Na elaboração da presente pesquisa foram utilizadas metodologias que compreenderam: pesquisa experimental, classificando o trabalho como qualitativo. Baseando-se na desinfecção da água, a fim de torná-la apta para o consumo humano de acordo com a Portaria de Consolidação N° 5/2017, Anexo XX do Ministério da Saúde do Brasil (Brasil, 2017a), desenvolvendo um protótipo, idealizado e concebido pelo o autor, capaz de tornar o sistema tradicional de desinfecção de água por exposição solar de forma contínua e mais eficiente para as comunidades difusas do semiárido cearense. A metodologia da presente pesquisa é desenvolvida de forma qualitativa.

A Figura 13 demonstra as etapas que foram seguidas para montagem e aplicação do protótipo de desinfecção de água por energia solar.

Figura 13 – Etapas para desenvolvimento da metodologia



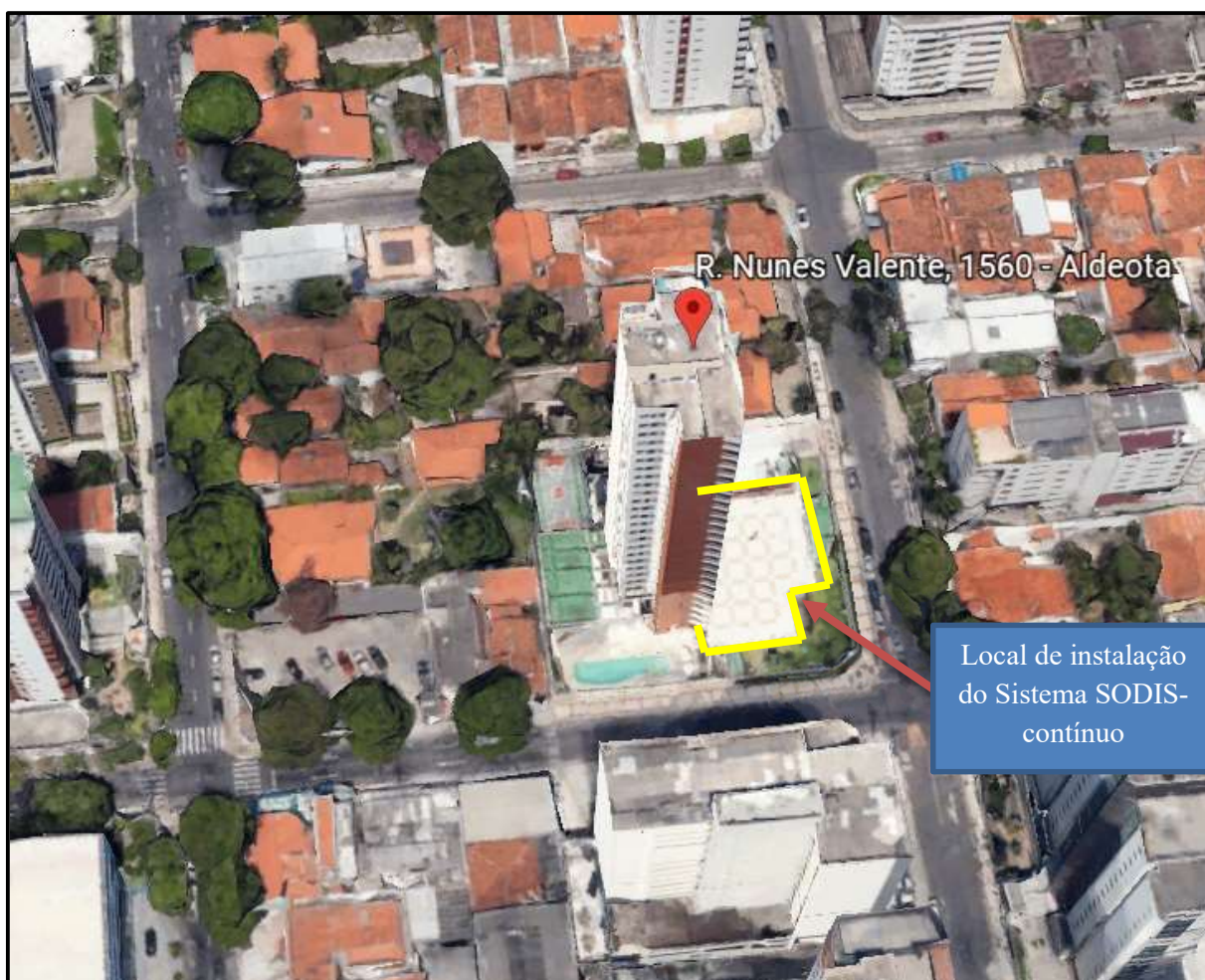
Fonte: Autor, 2020

3.1 Local do estudo

O estudo foi realizado no estado do Ceará localizado abaixo da linha do equador, posição nitidamente tropical entre $2^{\circ}46'30''$ e $7^{\circ}52'15''$ de latitude sul e $37^{\circ}14'54''$ e $41^{\circ}24'45''$ de longitude ocidental (Google Earth, 2019), posição com potencialidade para a irradiação solar e a melhor eficiência de operação da metodologia SODIS.

Os experimentos foram realizados em um edifício multifamiliar localizado na cidade de Fortaleza, capital do estado do Ceará, conforme apresentado na Figura 14. O local foi escolhido por apresentar representatividade no uso do sistema SODIS-contínuo em ambiente urbano, que apresenta obstáculos naturais e empreendimentos próximos, que podem diminuir a intensidade de irradiação solar.

Figura 14 – Localização do Edifício Multifamiliar



Fonte: GOOGLE EARTH, 2020

3.2 Concepção, montagem, instalação do sistema SODIS-Contínuo

3.2.1 Materiais constituinte do Protótipo e Instalação

O protótipo foi concebido, utilizando-se como recipiente de desinfecção um tubo de vidro com dimensões de 470 mm de comprimento e diâmetro de 40 mm. Este recipiente foi utilizado para o armazenamento da água bruta no intervalo de tempos estudados para a se atingir a melhor eficiência do tratamento da água de estudo.

Baseado nas especificações de Botto (2006) e McGuigan *et al.* (2012) a superfície utilizada para o apoio do tubo de vidro foi de madeira, simulando a possível situação que será exposto o protótipo.

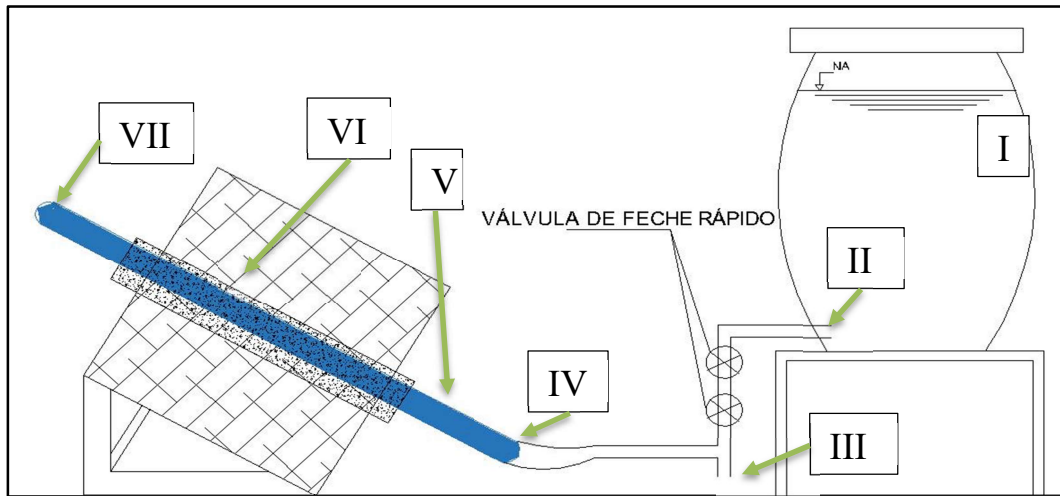
Para o encaminhamento da água armazenada no reator elevado (simulando uma cisterna ou reservatório inferior) até o tubo de desinfecção, foi utilizado tubos flexíveis, para facilitar na ligação reservatório/sistema.

Utilizou-se uma válvula de feixe rápido na saída do reator elevado e outra na entrada do sistema, onde a primeira foi utilizada para a liberação e interrupção do fluxo de água bruta com maior vazão e a segunda foi responsável por regular menores vazões necessária para atingir o TDH (Tempo de Detenção Hidráulica) adequado.

Em ambas as extremidades do tubo de vidro foi posto conexões para coletar a água desinfetada, a fim de realizar as análises físico-químicas e atestar a eficiência do sistema. Na utilização real do protótipo a extremidade final poderá ser substituída por uma canalização que abastecerá a população da residência com água própria para o consumo humano.

O esboço do sistema SODIS-contínuo está apresentado na Figura 15.

Figura 15 – Base e componente do sistema SODIS-contínuo.



Legenda: I – Reservatório Elevado; II – Saída de água bruta; III – Ponto de coleta para análises físico-químicas; IV – Entrada no Tubo de Vidro; V – Tubo de vidro; VI – Superfície de madeira; VII – Saída de água tratada e Ponto de coleta para exames microbiológicos.

Fonte: Autor, 2020

3.2.2 Cálculo do volume útil e vazão para o uso do sistema SODIS-contínuo

O tempo de detenção hidráulica foi calculado segundo as pesquisas de Botto (2006), que estabelece o tempo de exposição da água para o tratamento de 6 horas ininterrupta. Porém foi utilizada o TDH de 3 horas, pois segundo McGuigan *et al* (2012) o vidro possui maiores eficiência de transmissão dos raios solares para o meio aquoso no tratamento da água pelo o método SODIS. Sendo assim calculou-se primeiramente o volume útil do protótipo de acordo com a Equação 1.

$$V = Axh = \frac{\pi x d^2}{4} x h$$

Após a aplicação utilizou-se os resultados de volume e dados de TDH para encontrar a vazão necessária que entrará no sistema de SODIS-Contínuo, aplicando-se a Equação 2.

$$TDH = \frac{V}{Q} \therefore Q = \frac{V}{TDH}$$

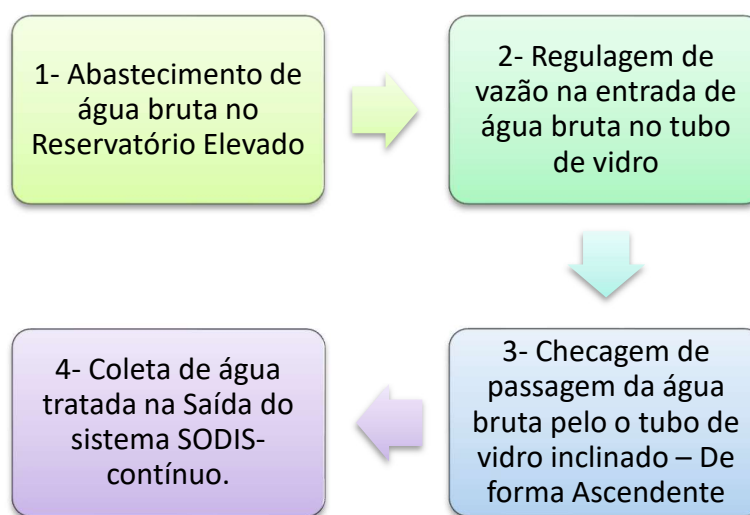
3.2.3 Procedimento Experimental

A água utilizada para a realização dos experimentos, foi coletada em um poço artesiano de profundidade de 4 m de coluna d'água. Esta água de estudo foi escolhida por apresenta-se dentro do padrão de água para o sistema SODIS, que determina níveis de turbidez abaixo de 30 NTU.

As amostras de água bruta coletadas foram encaminhadas a um laboratório especializado para a emissão do laudo atestando a presença de microrganismos patogênicos. O poço artesiano foi escolhido por se encontrar exposto à contaminação do meio externo, além de haver a possibilidade de contaminação por percolação do solo. Logo desenvolveu-se o protótipo de desinfecção para uma amostra de água contaminada simulando o que ocorre com as águas armazenadas nas cisternas de placas construídas no interior do estado de Ceará (BOTTO, 2011).

Na instalação do sistema respeitou-se o procedimento operacional descritos na Figura 16, ressaltando a utilização do tubo de vidro na posição vertical inclinado, simulando a angulação do telhado convencional.

Figura 16 – Procedimento experimental do Sistema SODIS-contínuo



Fonte: Autor, 2020

Buscou-se garantir a incidência direta ao sol de forma ininterrupta, sendo o tubo de vidro exposto no horário de 12:00 as 15:00. Com isso o TDH ficou em três horas, reduzindo 50% do tempo recomendado por Botto (2006) que trabalho com o sistema SODIS convencional.

O fluxo de entrada da água bruta no tubo de vidro foi realizado de modo ascensional. Para isso buscou-se uma diferença de alturas entre a entrada e a saída de água do sistema SODIS-contínuo.

3.2.4 Identificação das amostras de água estudadas

Para as análises físico-químicas, as amostras de água tratada para análises físico-químicas foram coletadas a cada 30 minutos de experimento e a amostra de água tratada para exames microbiológicos foi coletada no maior TDH estudado (180 minutos).

As amostras de água tratada e bruta foram identificadas conforme apresentada no Quadro 4.

Quadro 4 – Identificação das amostras de águas estudadas para diferentes TDH

Coleta das Amostras	
Identificação	
AB - FQ	Água Bruta para Análise Físico-Química
AB - MB	Água Bruta para Análise Microbiológica
T30	Amostra Físico-Química (30 minutos)
T60	Amostra Físico-Química (60 minutos)
T90	Amostra Físico-Química (90 minutos)
T120	Amostra Físico-Química (120 minutos)
T150	Amostra Físico-Química (150 minutos)
T180	Amostra Físico-Química (180 minutos)
T180-MB	Amostra Microbiológica (180 minutos)

Fonte: Autor, 2020

3.3 Análises físico-químicas e exames microbiológicos

As análises físico-químicas realizadas foram necessárias para monitorar a eficiência do sistema SODIS-contínuo no enquadramento do padrão de potabilidade estabelecido pela Portaria de Consolidação N° 5/2017, Anexo XX do Ministério da Saúde do Brasil (BRASIL, 2017^a). Tal procedimento foi realizado ao longo dos tempos de detenção hidráulica, observados a cada 30 minutos e finalizando em 180 minutos. Os parâmetros analisados estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Análise físico-química realizadas nas amostras coletadas da água bruta e tratada pelo sistema SODIS-Contínuo.

Parâmetro	VMP - PRC N°5 Anexo XX	Unidade	Método de determinação
pH à 25°C	6,0 a 9,5	U pH	APHA, 2012
Condutividade	N.A	µS/cm	APHA, 2012
Turbidez	até 5,000	UNT	APHA, 2012
Temperatura	N.A	°C	APHA, 2012

Legenda: N.A – Não Aplicável

Fonte: Autor, 2020.

Os exames microbiológicos realizados foram necessários para monitorar a eficiência do sistema SODIS-contínuo no enquadramento do padrão de potabilidade estabelecido pela a Portaria de Consolidação N° 5/2017, Anexo XX do Ministério da Saúde do Brasil (BRASIL, 2017a). Tal procedimento foi realizado para o TDH de 180 minutos. Os parâmetros analisados estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Exames microbiológicos realizados nas amostras coletadas da água bruta e tratada pelo sistema SODIS-Contínuo.

Parâmetro	VMP - PRC N°5 Anexo XX	Unidade	Método de determinação
Bactérias Heterotróficas	até 500	UFC/mL	SMWW, 23° Edição, Método 9215 C - Spread Plate
Quantificação de Coliformes Totais	Ausência	NMP/100mL	SMWW, 23° Edição, Método 9223 - B - Enzyme Substrate Test
Quantificação de <i>Escherichia coli</i>	Ausência	NMP/100mL	SMWW, 23° Edição, Método 9223 - B - Enzyme Substrate Test

Fonte: Autor, 2020.

As análises físico-químicas e os exames microbiológicos apresentados nas Tabelas 3 e 4, respectivamente, seguiram os procedimentos de ensaio estabelecidos pelo *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, publicado pela *American Public Health Association* (APHA), pela *American Water Works Association* (AWWA) e pela *Water Environment Federation* (WEF) (2012).

3.4 Diferenciais do sistema SODIS-contínuo em relação ao sistema SODIS convencional

O sistema SODIS-contínuo aqui proposto apresenta diferenciais significativo em comparação com o sistema SODIS convencional, que utiliza garrafas PET, que há necessidade que o usuário manipule estas garrafa no telhado e obtêm-se água tratada na medida que as garrafas atingem o tempo de exposição ao sol necessário para a desinfecção da água.

No sistema SODIS-contínuo, pôr operar em regime hidráulico permitindo o abastecimento contínuo de água tratada, não necessita de manuseio constante de garrafas PET, colocadas e retiradas do local de exposição, além do que o uso do vidro apresenta maior durabilidade as intempéries do tempo, em comparação com as garrafas PET.

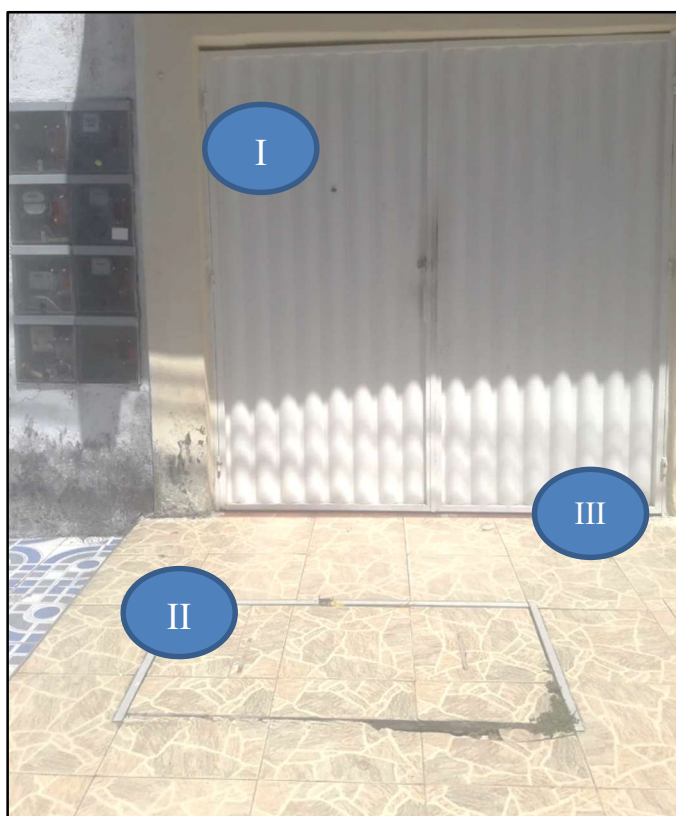
4. RESULTADOS

4.1 Origem da água de estudo

Os centros urbanos sofrem com o fenômeno de construção desordenada, na qual em grande maioria das construções antigas não possuem sistemas de esgotamento sanitário. A água bruta estudada foi proveniente de um poço presente em um bairro periférico da capital do Ceará, sem a presença de esgotamento sanitário.

A Figura 17 apresenta o poço de retirada da água bruta estudada a qual encontra-se em um local inapropriado, sujeito a contaminações de águas pluviais urbanas que carregam sujidades de natureza físico-químicas e microbiológicas, principalmente pôr não contemplar uma vedação satisfatória para o poço artesiano, conforme o demonstrado na Figura 18.

Figura 17 - Localização do Poço - Calçada da Residência



Legenda: I – Entrada de Carros (Garagem); II – Tampa do Poço que se obteve a água de estudo; III – Calçada Pública

Fonte: Autor, 2020

Figura 18 - Tampa do poço artesiano danificada com facilidade de contaminação

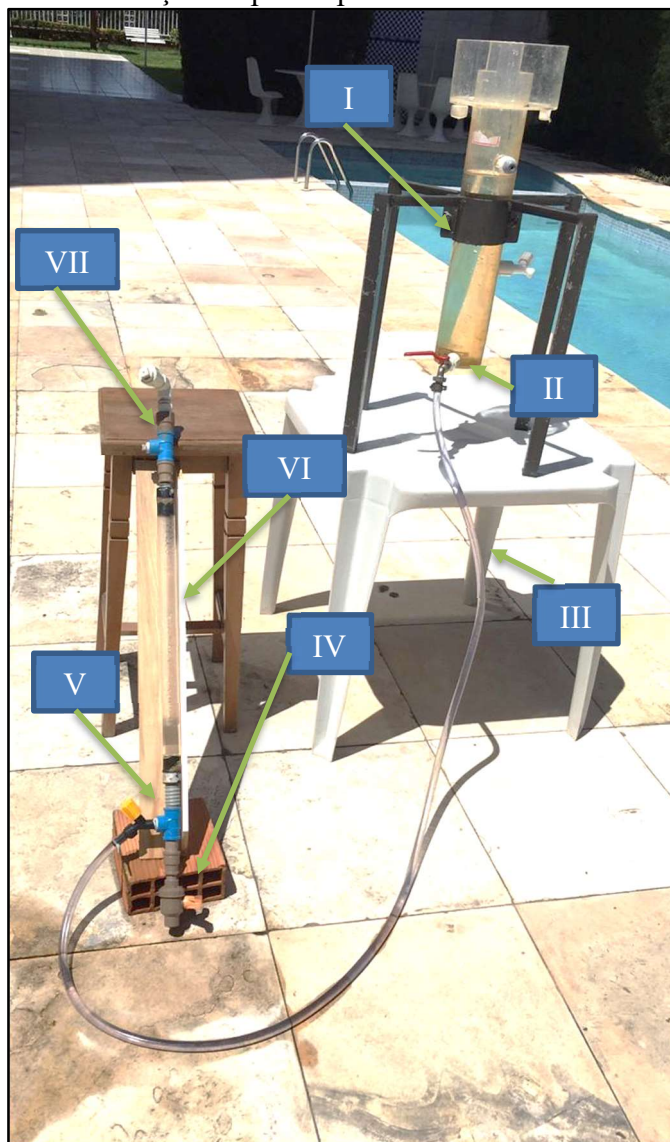


Fonte: Autor, 2020

4.2 Concepção, montagem, instalação do sistema SODIS-Contínuo

A Figura 19 apresenta a concepção e instalação utilizada para a operação do sistema SODIS-contínuo, com destaque para os componentes constituintes do sistema, como as mangueiras, registros esféricos, tubo de vidro e conexões, além da elevação do reservatório de água bruta para manter o sistema contínuo por gravidade, desta forma o sistema dispensa o uso do telhado como base para a unidade de desinfecção do sistema.

Figura 19 – Instalação do protótipo de SODIS contínuo finalizada.



Legenda: I – Reservatório Elevado; II – Saída de água bruta; III – Mangueira de Ligação Reservatório – Sistema; IV - Ponto de coleta N°01 para análises físico-químicas; V – Entrada no Tubo de Vidro; VI – Tubo de vidro; VII – Saída de água tratada e Ponto de coleta N°02 para exames microbiológicos.

Fonte: Autor, 2020

Observou-se a necessidade de incluir um registro na entrada do sistema (registro 1) para a regulagem mais precisa da vazão, buscou-se assim o não uso de bombeamento deixando o sistema SODIS-contínuo sem a necessidade de energia elétrica e de bomba hidráulica.

Além disso foram posicionados dois pontos de coletas, o ponto de coleta N° 01 no início do tubo para coleta de água tratada usada nas análises físico-químicas, sendo estas feita

a cada 30 minutos e o N° 02 na extremidade final para coleta de análise microbiológica realizada por laboratório especializado. A Figura 20 e 21 demonstra os pontos de coleta e válvulas.

Figura 20 – Registro para ponto de coleta N°01 e Registro para medição de vazão precisa.



Fonte: Autor, 2020

Figura 21 – Tê com bujão de PVC para ponto de coleta N°02



Fonte: Autor, 2020

4.2.1 Cálculo do volume útil e vazão para o uso do sistema SODIS-contínuo

Realizou-se o cálculo da vazão necessária que deverá entrar no sistema para que o tubo de vidro esteja em seu volume máximo dentro do tempo de detenção hidráulica adotado de 3 horas. Logo obteve-se o volume útil do tubo de vidro, aplicando-se na Equação 1 que resultou em 600 mL.

$$V = Axh = \frac{\pi d^2}{4} xh :: V = \frac{\pi x4^2}{4} x47 :: V = 590,6cm^3 :: V = 600 mL$$

Obteve-se a vazão necessária aplicando-a na Equação 02, obtendo 200ml/hora ou 3,33 ml/min, garantindo o preenchimento completo do tubo em 3 horas, no modo contínuo.

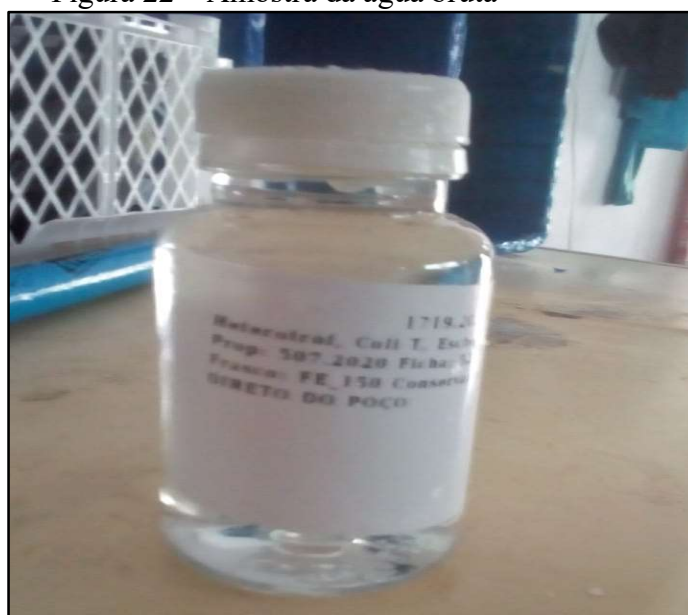
$$TDH = \frac{V}{Q} :: Q = \frac{V}{TDH} :: Q = \frac{600}{3} :: Q = 200 mL/H :: Q = 3,33 mL/min$$

4.3. Caracterização da água de estudo bruta e tratada

4.3.1 Análises físico-químicas e exames microbiológicos da água bruta

Inicialmente foi coletada a amostra de água bruta para ser submetida a análise físico-químicas e exames microbiológicos. A Figura 22 apresenta uma das amostras coletadas para a caracterização.

Figura 22 – Amostra da água bruta



Fonte: Autor, 2020

Os resultados estão apresentados na Tabela 5 para os parâmetros de Coliformes Totais, Bactérias Heterotróficas e Escherichia Coli, obtido através dos exames microbiológicos realizado.

Com os dados obtidos foi possível destacar que a amostra coletada do poço artesiano não enquadra-se no estabelecido pela a Portaria de Consolidação N° 05/2017, Anexo XX do Ministério da Saúde do Brasil (Brasil, 2017a), por apresentar número de bactérias heterotróficas acima do permitido e a presença de coliformes totais, isto possivelmente pode ter ocorrido pela as condições apresentadas no local de estudo, facilitando a contaminação.

Apenas a análise de E-coli da água do poço enquadra-se nos parâmetros microbiológicos com ausência deste composto, conforme o especificado pela a Portaria de Consolidação N° 05/2017, Anexo XX do Ministério da Saúde do Brasil (Brasil, 2017a).

Tabela 5 – Resultado de exames microbiológicos realizados na amostra coletadas da água bruta.

Parâmetro	Resultados	VMP - PRC N°5 Anexo XX	Unidade	Método de determinação
Contagem Bactérias Heterotróficas	600	até 500	UFC/mL	SMWW, 23° Edição, Método 9215 C - Spread Plate
Coliformes Totais	Presente	Ausência	NMP/100mL	SMWW, 23° Edição, Método 9223 - B - Enzyme Substrate Test
<i>Escherichia coli</i>	Ausência	Ausência	NMP/100mL	SMWW, 23° Edição, Método 9223 - B - Enzyme Substrate Test

Fonte: Autor, 2020.

Quanto há a presença de Coliformes Totais, segundo relatado pela Fundação Nacional de Saúde (FUNASA, 2913), as bactérias do grupo Coliforme (coliformes totais) são bacilos gram-negativos, aeróbios ou anaeróbios facultativos, não formadores de esporos, oxidase-negativos, capazes de desenvolver na presença de sais biliares ou agentes tensoativos que fermentam a lactose com produção de ácido, gás e aldeído a $35,0 \pm 0,5$ °C entre 24 e 48 horas, e que podem apresentar atividade da enzima β -galactosidase. A maioria das bactérias do

grupo Coliforme pertence aos gêneros *Escherichia*, *Citrobacter*, *Klebsiella* e *Enterobacter*, embora vários outros gêneros e espécies pertençam ao grupo.

Conforme Bernardo e Paz (2008), os coliformes totais apresentam limitações como referência de poluição nas águas porque sua presença não necessariamente determina contaminação fecal. Dessa forma, utilizam-se como indicadores de contaminação microbiológica os coliformes fecais ou termotolerantes. Por estas razões aventadas, a água de estudo se encontra fora dos padrões de potabilidade, conforme estabelece a Portaria de Consolidação N° 05/2017, Anexo XX do Ministério da Saúde do Brasil (BRASIL, 2017a).

A Tabela 6 apresenta os resultados obtidos para as análises físico-químicas realizadas nas amostras de água bruta coletada.

Tabela 6 – Resultados das análise físico-química realizadas nas amostras coletadas da água bruta.

Parâmetro	Resultado	VMP - PRC N°5 Anexo XX	Unidade	Método de determinação
pH à 25°C	6,14	6,0 a 9,5	U pH	APHA, 2012
Condutividade	336	N.A	µS/cm	APHA, 2012
Turbidez	9,71	até 5,000	UNT	APHA, 2012
Temperatura	29	N.A	°C	APHA, 2012

Fonte: Autor, 2020.

Quanto as análises físico-químicas realizadas na água bruta mostraram-se dentro dos padrões especificados pela Portaria de Consolidação N° 05/2017, Anexo XX do Ministério da Saúde do Brasil (BRASIL, 2017a), com exceção da turbidez que se mostrou em desconformidade, atestando que esta água contém sólidos em suspensão o que pode servir como abrigo para os microrganismos patogênicos.

O pH obtido revela uma água ácida provavelmente fruto de contribuições indevidas que promovem o consumo de alcalinidade, prevalecendo um ambiente ácido. E o valor de pH apresentado 6,14 mostra que esta água está no limite da acidez permitida pela legislação que é igual ou maior do que 6,0, conforme a Portaria de Consolidação N° 05/2017, Anexo XX do Ministério da Saúde do Brasil (BRASIL, 2017a),

4.3.2 Resultados das Análises e exames para a água tratada

Durante o experimento foram coletadas amostras a cada 30 minutos e finalizando em 180 minutos de operação do sistema SODIS-contínuo. Desta forma, foi possível aferir o

comportamento físico-químicas ao longo das 3 horas de experimento, obtendo-se os valores expressos na Tabela 7.

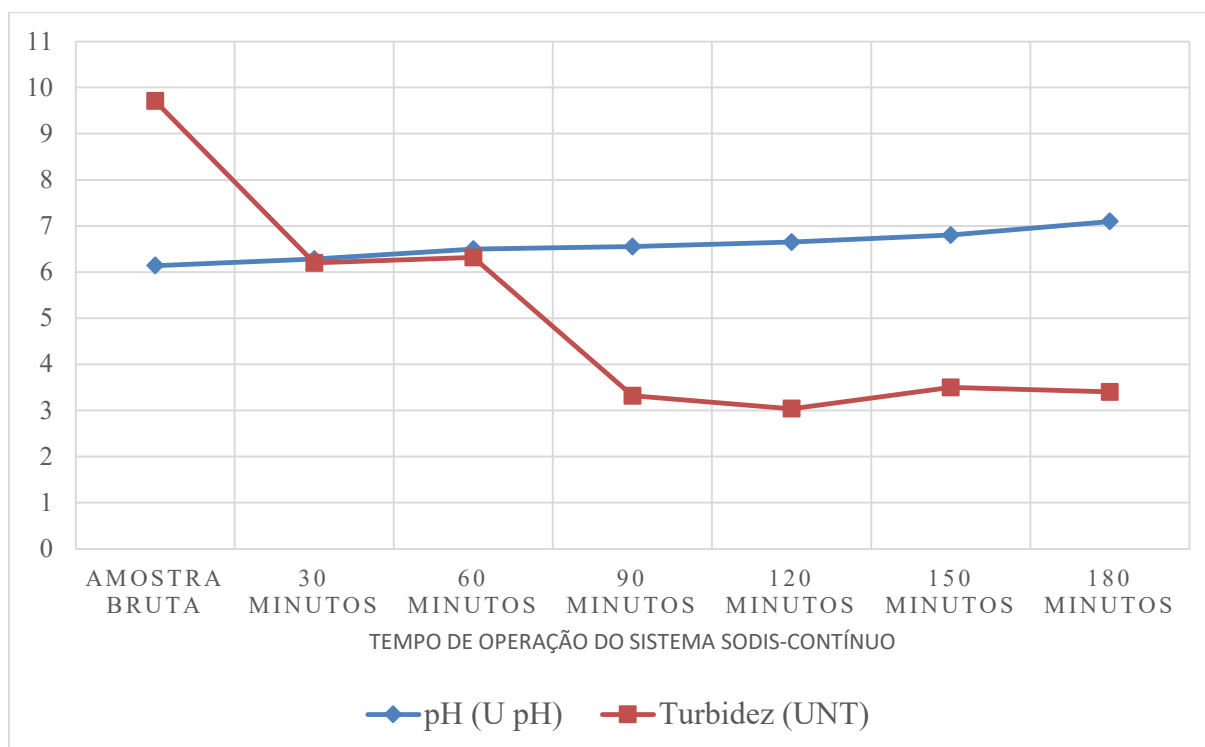
Tabela 7 – Resultado das análises físico-química realizadas nas amostras coletadas da água tratada em diferentes tempos do sistema SODIS-Contínuo.

Parâmetros Físico-químicos	Condutividade ($\mu\text{S/cm}$)	pH (U pH)	Turbidez (UNT)	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)
Amostra Bruta	336	6,14	9,71	29
30 minutos	971	6,28	6,20	35
60 minutos	835	6,50	6,32	33
90 minutos	521	6,55	3,32	32
120 minutos	439	6,65	3,04	33
150 minutos	420	6,80	3,50	34
180 minutos	398	7,10	3,40	33

Fonte: Autor, 2020.

A Figura 23 demonstra a evolução dos resultados durante a operação do sistema SODIS-contínuo, observando a tendência da curva de pH para valores de neutralidade, e a curva de turbidez com valores decrescentes, observando um melhoramento da qualidade da água em aspectos físico-químicos.

Figura 23 – Resultados de turbidez e pH ao longo do tempo de exposição



Fonte: Autor, 2020

Em análise aos parâmetros coletados é possível perceber que a condutividade, por sua vez obteve um aumento significativo para os 30 primeiros minutos, indicando uma formação intensa de íons que contribuem para o aumento da condutividade, provavelmente potencializada pelo calor devido a exposição ao sol que funciona como um catalizador das reações químicas que acontecem na água. Percebe-se também que, a partir do tempo de 60 minutos de operação este valor de condutividade decresceu e manteve a queda devido, provavelmente, pelo arraste dos íons realizados pelos particulados que se depositaram no fundo da tubulação de vidro. O fluxo ascendente e a baixa vazão calculada para operação do sistema SODIS-contínuo promovem efeitos que favorecem esta decantação.

Os valores de pH apresentaram uma tendência a neutralidade, se aproximando de 7 à medida que se caminha para as 3 horas de operação do sistema SODIS-contínuo.

O valor de turbidez observado na água bruta estava em desconformidade com a Portaria de Consolidação Nº 05/2017, Anexo XX do Ministério da Saúde do Brasil (Brasil, 2017a), obtendo-se 9,76 UNT, e após 90 minutos de operação do sistema SODIS-contínuo atingiu-se níveis de turbidez igual a 3,32 NTU, enquadrando-se no especificado pela a Portaria de Consolidação Nº 05/2017, Anexo XX do Ministério da Saúde do Brasil (Brasil, 2017a).

A temperatura iniciou-se em valores ambiente e atingiu um pico de 35°C, demonstrando a possibilidade de estar acontecendo a inativação dos microrganismos por raios infravermelhos. As variações da incidência solar percebidas ao longo dos experimentos, tem como explicações a densa presença de prédios altos ao redor do local de experimento e de nuvens que impediam a exposição do sol.

A Figura 24 apresenta o colaborador da empresa coletando no ponto de coleta N°02.

Figura 24 – Coleta da amostra de água tratada para exames microbiológicos no Ponto N° 02



O resultado dos exames microbiológicos da água tratada está apresentado na Tabela 8.

Tabela 8 – Resultado dos exames microbiológicos da água tratada pelo sistema SODIS-contínuo após 180 minutos de tempo de detenção hidráulica (TDH).

Parâmetro	Resultados	VMP - PRC Nº5 Anexo XX	Unidade	Método de determinação
Contagem Bactérias Heterotróficas	30	até 500	UFC/mL	SMWW, 23º Edição, Método 9215 C - Spread Plate
Coliformes Totais	Ausência	Ausência	NMP/100mL	SMWW, 23º Edição, Método 9223 - B - Enzyme Substrate Test
<i>Escherichia coli</i>	Ausência	Ausência	NMP/100mL	SMWW, 23º Edição, Método 9223 - B - Enzyme Substrate Test

Fonte: Autor, 2020.

Com os dados obtidos para os exames microbiológicos é possível afirmar que a amostra de água bruta que estava em desconformidade com os parâmetros estabelecido pela a Portaria de Consolidação Nº 05/2017, Anexo XX do Ministério da Saúde do Brasil (Brasil, 2017a) , após ser submetida ao tratamento pelo sistema SODIS-contínuo em 3horas, atendeu aos padrões microbiológicos de potabilidade de água para o consumo humano.

4.4 Custo de instalação para o sistema SODIS-contínuo

Para a concepção do sistema SODIS-contínuo, foi necessário a utilização de conexões em PVC, tubo de vidro e o reservatório, sendo estes orçado e quantificada na Tabela 9.

Tabela 9 – Quantitativo e orçamento de materiais do sistema SODIS-Contínuo.

Material	Quantidade	Unidade	Preço Unitário	Subtotal
Reservatório de 10L	1	und	R\$ 20,00	R\$ 20,00
Mangueira de 3/4"	3	mt	R\$ 1,30	R\$ 3,90
Registro de Feche Rápido	3	und	R\$ 8,00	R\$ 24,00
Luva de união	2	und	R\$ 1,00	R\$ 2,00
Tê com bucha de latão	2	und	R\$ 2,00	R\$ 4,00
Joelho de 90°	1	und	R\$ 1,00	R\$ 1,00
Bujão de PVC 1/2"	2	und	R\$ 0,50	R\$ 1,00
Tubo de Vidro	0,50	mt	R\$ 20,00	R\$ 10,00
Total de Custo				R\$ 65,90

Fonte: Autor, 2020.

Portanto o sistema SODIS-contínuo atribui vantagens inerente ao melhoramento da qualidade da água para abastecimento, além de mostrar-se com maior durabilidade ao ressecamento, a não necessidade de energia elétrica e não necessitar da assepsia constante do recipiente de tratamento, promover o abastecimento ininterrupto de água tratada para o usuário, além de possuir o custo acessível para as comunidades difusas do semiárido cearense.

5. CONCLUSÃO

A referida pesquisa investigou a eficiência do tratamento de água para consumo humano, aplicando um Sistema SODIS, com operação em modo contínuo, visando a adequação aos padrões de potabilidade estabelecido pela Portaria de Consolidação N° 5/2017, Anexo XX do Ministério da Saúde do Brasil. Os resultados obtidos neste estudo suportam as conclusões, apresentadas a seguir.

O sistema SODIS-contínuo concebido da forma aqui estudado, se apresenta com baixo custo de concepção, instalação e operação, sem que haja o comprometimento da eficiência de desinfecção, portanto, atendendo o estabelecido pela Portaria de Consolidação N° 05/2017, Anexo XX do Ministério da Saúde do Brasil (Brasil, 2017a).

O sistema SODIS-contínuo oferece uma formatação inovadora que dispensa a necessidade de inúmeros manuseios do usuário para reabastecer o sistema, tornando o abastecimento de água bruta e tratada, simplificado, ininterrupto e minimizando as possíveis contaminações por meio externo.

A partir dos resultados das análises físico-químicas e exames microbiológicos aventados, conclui-se que para a água de estudo tratada atingiu a adequabilidade desta aos padrões de potabilidade estabelecido pela Portaria de Consolidação N° 05/2017, Anexo XX do Ministério da Saúde do Brasil (Brasil, 2017a), em metade do tempo quando comparado com o sistema SODIS convencional, o que possibilita o usuário a produção do dobro de volume de água tratada por dia.

Conclui-se ainda que além de proporcionar a desinfecção de águas impróprias ao consumo, dispensando o uso de quaisquer desinfetantes químicos, também pode apresentar um melhoramento da água nos parâmetros de pH e Turbidez, o que contribui para a qualidade físico-química da água tratada.

O custo inerente a concepção do sistema SODIS-contínuo, concluiu-se que é de valor acessível que pode atender as necessidades das comunidades difusas do semiárido cearense, por ser um sistema durável e não necessitar de equipamentos de bombeamento e de energia elétrica para seu funcionamento.

Faz-se necessário a continuidade das pesquisas relacionadas a este viés tecnológico aqui estudado, visto que o sistema aqui estudado possibilitou tratar a água sem a necessidade de produtos químicos que são prejudiciais à saúde, e sem o consumo de energia elétrica, além de apresentar resultados satisfatórios de tratamento. Para futuros trabalhos baseados no presente estudo, é sugerido os seguintes:

- Aplicar o protótipo em maiores vazões para a obtenção de um maior volume de água no interior do tubo de vidro;
- Analisar todos os parâmetros físico-químicos exigidos pela Portaria de Consolidação Nº 05/2017, Anexo XX do Ministério da Saúde do Brasil (Brasil, 2017a) para a potabilidade da água;
- Realizar exames microbiológicos para diferentes tempos de detenção hidráulica;
- Aplicar o protótipo em uma comunidade difusa do semiárido cearense com a água de cisternas de placa;
- Realizar pesquisas sociais para atestar a aceitabilidade do sistema SODIS-contínuo em comunidades difusas do semiárido cearense
- Realizar um comparativo de custos orçamentários entre a aplicação do sistema SODIS-contínuo e o método tradicional de desinfecção de água.

REFERÊNCIAS

- 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.
- AGUIAR, A. M. D. S. **Avaliação do emprego da radiação ultravioleta na desinfecção de águas com cor e turbidez moderadas**. 2000. 114 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2000.
- BERNARDO, Luiz Di; PAZ, Lyda Patrícia Sabogal. **Seleção de Tecnologias de Tratamento de Água**. Ed 1. São Carlos: Ldibe, 2008.
- BOTTO, M. P. **Avaliação do processo de desinfecção solar (sodis) e de sua viabilidade social no estado do Ceará**. 2006. 196 f. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2006.
- BOTTO, M. P. *et al.* Avaliação Da Tecnologia Sodis Na Desinfecção De Água De Chuva Armazenada Em Cisterna De Placa. **26º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**, Ceará, v. 1, n. 1, p. 1–8, 2011.
- BRASIL. Fundação Nacional de Saúde. Manual prático de análise de água / Fundação Nacional de Saúde – 4. ed. – Brasília : Funasa, 2013. 150 p.
- BRASIL. Portaria de Consolidação nº 5 de 28 de setembro de 2017. Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde. **Ministério da Saúde**, p. 926, 2017a.
- BRASIL, Agência Nacional de Água - ANA. Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil 2018 - Informe Anual. p. 72. 2018a
- BRASIL, Agência Nacional de Água - ANA. **Monitor de Secas**. Disponível em: www.monitordesecas.ana.gov.br. Acesso em: 16/09/2019. 2018b
- BRASIL, Agência Nacional De Energia Elétrica. Energia Solar. In: **Atlas da Energia Elétrica do Brasil**, p. 29–42, Brasília (2005).
- BRASIL, Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos - COGERH . E G. DE R. H. **Volume de Açudes**. Disponível em: http://www.funceme.br/produtos/script/acudes_e_rios/Boletim_diario_nivel_acudes/. Acesso em: 16/09/2019. 2019
- BRASIL, Fundação Nacional da Saúde - FUNASA. **3º Caderno de Pesquisa em Engenharia de Saúde Pública**. 1º ed. Brasília. v. 1. 2013

BRASIL, Fundação Nacional De Saúde **Manual De Cloração De Água Em Pequenas Comunidades Utilizando O Clorador Simplificado Desenvolvido Pela Funasa**. 1. ed. v. 1 Brasília: 2014.

BRASIL, Secretaria de Infraestrutura do Ceará – SEINF-CE. **Cisternas De Placas: Construção, Uso E Conservação**. 1. ed. Fortaleza: Secretaria dos Recursos Hídricos. 2010

BRASIL, Ministério do Meio Ambiente – MMA; Ministério da Educação – MEC; Instituto Brasileiro de Defesa do Consumidor - IDEC. **Manual de Educação para o Consumo Sustentável**. 1. ed. Brasília: Instituto Brasileiro de Defesa do Consumidor. 2005

BRASIL, Ministério da Cidadania - MDS. **Programa Cisternas**. Disponível em: <http://mds.gov.br/assuntos/seguranca-alimentar/acesso-a-agua-1/programa-cisternas>. Acesso em: 15/09/2019. 2018c

BRASIL, Ministério da Cidadania - MDS. **Programa Cisternas Investe 68,5 milhões no Ceará**. Disponível em: <http://mds.gov.br/area-de-imprensa/noticias/2018/maio/programa-cisternas-investe-r-68-5-milhoes-no-ceara>. Acesso em: 17/09/2019. 2018d

BRASIL, Ministério da Cidadania - MDS. **Análise De Indicadores Relacionados À Água Para Consumo Humano E Doenças De Veiculação Hídrica No Brasil**. 1º ed. Brasília: Ministério da Saúde. 2015

BRASIL, Ministério de Minas e Energia. Departamento de informações e estudos energéticos - DIE/MME. **Energia Solar no Brasil e no Mundo**. 2017c

BRASIL, Presidência da República. LEI Nº 11.445 - Diretrizes do Saneamento Básico. 2007

BRASIL, Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste - SUDENE. **Delimitação do Semiárido**. 2017b

BRASIL, Sistema Nacional de Informação Sobre Saaneamento - SNIS. Panorama do Saneamento Básico no Brasil. **Trata Brasil**, v. 6, p. 2. 2018e

COSTA, B. S. **Universalização do Saneamento Básico Utopia ou Realidade**. 2010. 288 f. Tese (Pós-Graduação em Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

DUARTE, M. A. C. **Tratamento de água para consumo humano de reservatório eutrofizado através de pré e interoxidação, adsorção em carvão ativado e dupla filtração**. 2011. 318 f. Tese (Doutorado em Engenharia Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011

EAWAG/SANDEC. **Desinfecção solar da água: guia de aplicação do SODIS**. 1. ed. Switzerland: 2002.

EAWAG/SANDEC. **SODIS manual - Guidance on solar water disinfection**. Switzerland: EAWAG/SANDEC, 2016.

FAO, N. U. Fórum Mundial Da Água. **FAO**, v. 1, p. 1–6. 2018

FRANCISCO, A. A.; POHLMANN, P. H. M.; FERREIRA, M. A. Tratamento Convencional De Águas Para Abastecimento Humano : Uma Abordagem Teórica Dos Processos Envolvidos E Dos Indicadores de Referência. **26º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**, Ceará, v. 1, n. 1, p. 1–9, 2009.

GOLIN, N. **Avaliação Da Eficiência Do Método SODIS Na Desinfecção Da Água Para Consumo Humano Em Pelotas - RS**. 2018. 46 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) - Centro de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Pelotas, 2018.

GOOGLE EARTH, Localização através de satélite do Estado do Ceará, 2019

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Disponibilidade Diária de Abastecimento Água da Rede Geral**, 2018a.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Rede Geral ou Fossa Ligada à Rede**, 2018b.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Mapa da cidade de Miraíma**, 2019.
MCGUIGAN, K. G. *et al.* Solar water disinfection (SODIS): A review from bench-top to roof-top. **Journal of Hazardous Materials**, v. 235–236, p. 29–46, 2012.

MEYER, S. T. O uso de cloro na desinfecção de águas, a formação de trihalometanos e os riscos potenciais à saúde pública. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 10, n. 1, p. 99–110, 1994.

MEYER, V.; REED, R.H. SOLAR disinfection of coliform bacteria in handdrawn drinking water. *Water SA*. v. 27, n. 1, 2001.

MORITA, A. K. M. Avaliação das condições sanitárias do sistema de abastecimento de água do município de Peixe-boi, PA e propostas de adequação. **Escola de Engenharia de São Carlos - SP**, v. 1, p. 130, 2010.

MOURA, M. S. B. *DE et al.* Clima e água de chuva no semiárido. **Potencialidades da Água de Chuva no Semi-árido Brasileiro**, p. 37–59, 2007.

OLIVEIRA, L. S. Sistema Semiárido: Modelo Estratégico de Convivência com a Diversidade Ambiental na Sub-bacia do Rio Castro-Ceará, Brasil. **Universidade Estadual do Ceará**, p. 287, 2018.

PÁDUA, V. L.; HELLER, L. **Abastecimento de Água para o Consumo Humano**. 1º ed. Minas Gerais: Universidade Federal de Minas Gerais, 2006.

PAIVA, R. F. DA P. DE S.; DE SOUZA, M. F. DA P. Associação entre condições socioeconômicas, sanitárias e de atenção básica e a morbidade hospitalar por doenças de veiculação hídrica no Brasil. **Cadernos de Saude Publica**, v. 34, n. 1, p. 1–11, 2018.

PEDROSO, C. R. *et al.* Inativação de microrganismos indicadores de contaminação fecal por

radiação ultravioleta e avaliação dos fenômenos de fotorreativação e recuperação no escuro. **Universidade Estadual do Centro-Oeste do Paraná**, v. 23, n. 5, p. 987–994, 2018.

PEREIRA, E. B. *et al.* **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. 1º ed. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2006.

PEREIRA, L. A. *et al.* Avaliação de tratamento simplificado da água de cisterna : desinfecção solar (sodis) para consumo humano. **9º Simpósio Brasileiro de Captação e Manejo de Água de Chuva**, n. March 2012, p. 1–6, 2012.

PIMENTEL, D. *et al.* Water Resources, Agriculture and the Environment. **College of Agriculture and Life Sciences**, v. 1, p. 47, 2004.

POHLMANN, P. H. M. *et al.* Tratamento de água para abastecimento humano: Contribuições da metodologia seis sigma. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 20, n. 3, p. 485–492, 2015.

PRADO, A. B.; HERNANDEZ, F. B. T. Environment Monitoring For Agriculture Good Practices. **IV INOVAGRI INTERNATIONAL MEETING**, v. 1, p. 9, 2017.

RAMO, G. K.; SALLA, M. R. Utilização de desinfecção solar (método sodis) no abastecimento de pequenas comunidades : efeitos sinérgicos da temperatura e radiação uv em concentrador específico. **IX Encontro Interno & XIII Seminário de Iniciação Científica**, v. 1, p. 1–10, 2007.

RODRIGUES, C. P.; ZIOLLI, R. L.; GUIMARÃES, J. R. Inactivation of Escherichia coli in Water by TiO₂ -assisted Disinfection using Solar Light. **J. Braz Chem. Soc**, v. 18, n. 1, p. 126–134, 2007.

SANTANA, A. C.; FREITAS, D. A. F. Educação ambiental para a conscientização quanto ao uso da água. **Rev. eletrônica Mestr. Educ. Ambient.**, p. EM, P. D. E. P.; MINAS, E. D. E.; MATERIAIS, M. E., jun. 2012.

SILVA, A. P. DA. Geração de energia elétrica através da luz solar para residências. **Universidade São Francisco**, p. 1–64, 2010.

SILVA, C. V. DA. Qualidade da água de chuva para consumo humano armazenada em cisterna de placa. Estudo de caso: Araçuaí. **Universidade Federal de Minas Gerais**, p. 117, 2006.

SILVA, R. R. *et al.* A Luz e os Filtros Solares : Uma Temática Sociocientífica. **Revista Virtual de Química**, v. 7, n. 1, p. 218–241, 2015.

SOARES, T. M. Utilização de águas salobras no cultivo da alface em sistema hidropônico NFT como alternativa agrícola condizente ao semi-árido brasileiro. **Universidade de São Paulo - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**, p. 268, 2007.

SOUSA, A. B. DE *et al.* Tecnologias sociais de convivência com o semiárido. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v. 34, n. 2, p. 197–220, 2017.

SOUZA, J. B. DE *et al.* Avaliação do emprego da radiação ultravioleta na desinfecção de esgoto sanitário. **Ciências Exatas e Tecnológica, Londrina**, v. 33, n. 2, p. 117–126, 2012.

TAVARES, A. Aspectos Físicos, Químicos E Microbiológicos Da Água Armazenada Em Cisternas De Comunidades Rurais No Semiárido Paraibano. **Universidade Federal da Paraíba**, p. 169, 2009.

TEIXEIRA, M. N. O sertão semiárido. Uma relação de sociedade e natureza numa dinâmica de organização social do espaço. **Sociedade e Estado**, v. 31, n. 3, p. 769–780, 2016.

VENTURA, A. C. *et al.* Tecnologias sociais para enfrentamento às mudanças climáticas no semiárido: caracterização e contribuições. **Revista Econômica do Nordeste**, v. 44, p. 213–238, 2013.

VICTORINO, C. J. A. **Planeta água morrendo de sede “Uma visão analítica na metodologia do uso e abuso dos recursos hídricos”**. 1. ed. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2007.

WATKINS, K. Escassez De Água — Riscos E Vulnerabilidades Associados. **Relatório do Desenvolvimento Humano**, v. 1, n. 4, p. 133–170, 2006.

WEGELIN M. *et al.* Does Sunlight Change the Material and Content of Polyethylene Terephthalate (PET) Bottles? **Journal of Water Supply: Research and Technology – Aqua**, Zurich, v. 50, n.1, p. 125-133, 2001.

WORLD HEALTH ORGANIZATION; UNITED NATIONS CHILDREN’S FUND, **Progress on Drinking Water, Sanitation and Hygiene: 2017 Update and SDG Baselines**. WHO and UNICEF: Geneva, 2017.