



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA HIDRÁULICA E AMBIENTAL
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

LETÍCIA NUNES BEZERRA

**ANÁLISE DO COEFICIENTE DE DECAIMENTO BACTERIANO EM ÁGUAS DE
CISTERNAS TRATADAS COM O AQUALUZ**

FORTALEZA
2019

LETÍCIA NUNES BEZERRA

ANÁLISE DO COEFICIENTE DE DECAIMENTO BACTERIANO EM ÁGUAS DE
CISTERNAS TRATADAS COM O AQUALUZ

Trabalho de Conclusão de Curso referente ao curso de Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para a obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Iran Eduardo Lima Neto

FORTALEZA

2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

B469a Bezerra, Letícia Nunes.

Análise do coeficiente de decaimento bacteriano em águas de cisternas tratadas com o Aqualuz / Letícia Nunes Bezerra. – 2019.

55 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Ambiental, Fortaleza, 2019.

Orientação: Prof. Dr. Iran Eduardo Lima Neto.

1. Cisternas. 2. Aqualuz. 3. Coeficiente de decaimento bacteriano. I. Título.

CDD 628

LETÍCIA NUNES BEZERRA

ANÁLISE DO COEFICIENTE DE DECAIMENTO BACTERIANO EM ÁGUAS DE
CISTERNAS TRATADAS COM O AQUALUZ

Trabalho de Conclusão de Curso referente ao curso de Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para a obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Aprovada em: ___/___/_____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Iran Eduardo Lima Neto (Orientador)
Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof^a. Dr^a. Ana Bárbara de Araújo Nunes
Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof^a. M^a. Janine Brandão de Farias Mesquita
Universidade Federal do Ceará - Crateús (UFC)

A Deus.

Aos meus pais, Ieda e Joacir, e ao meu
irmão.

Aos meus amigos, por sempre me
lembrarem da beleza da vida.

AGRADECIMENTOS

A Deus, em quem deposito minha fé e faço meus pedidos na certeza de que Ele me sustenta.

À minha mãe, que não só apoia todos os meus sonhos, como sonha junto comigo. Ao meu pai, que sempre incentiva e comemora todas as minhas conquistas (por menores que sejam). Ao meu irmão, que me ensina sobre amor e força todos os dias.

Ao meu avô, que não está mais aqui, mas me passou o amor pela engenharia, e à minha avó que é o grande amor da minha vida. À minha prima Isabel, que me estendeu a mão e me abrigou quando precisei.

À Carol, o presente que a vida me deu na graduação para me ajudar em todos os momentos deste trajeto. Uma amiga que virou irmã.

Ao Bruno, outro irmão que ganhei na UFC, que me ensina sobre paciência e alegria. Ao Jefferson, pelas melhores caronas e risadas. Ao Eduardo, pela força nas madrugadas de estudo, pelos bolos e por todos os mapas. À Milena, uma amiga que veio do ensino médio para tornar a graduação mais leve. À Iane, por me fazer rir nos momentos de desespero. À Verlane, pela companhia nas idas para casa. Ao Vitor, por ser uma pessoa tão especial.

À todos os amigos de Fortaleza que me fizeram família e me ajudaram com a saudade de casa, em especial o Jhonatan.

Às minhas amigas de infância, que mesmo longe, se fazem presente: Amanda, Lorena e Laryssa.

À Brennda, uma amiga maravilhosa.

À UFC, por me possibilitar graduar na área que descobri amar nos últimos anos, com ensino de qualidade e professores com altíssimo nível.

Ao Prof. Dr. Iran Eduardo Lima Neto, por ser um ótimo professor, pela excelente orientação e pela paciência e doação durante o semestre para que este trabalho fosse construído.

Às professoras participantes da banca examinadora Prof^a. Dr^a Ana Bárbara de Araújo Nunes, uma inspiração na graduação, e Prof^a. M^a. Janine Brandão de Farias Mesquita pelo tempo, pela atenção e disponibilidade.

À toda a equipe da Safe Drinking Water for All, em especial à Anna Luisa, que me permite colaborar com o Aqualuz desde 2017, e contribuir com a causa de democratizar o acesso à água potável. Por me deixar crescer enquanto empreendedora, pesquisadora, engenheira e ser humano.

À Ciclo Jr., pela chance de vivenciar o empreendedorismo na graduação.

À todas as mulheres que vieram antes de mim e lutaram pelos meus direitos como mulher.

“Se diversas pessoas fizerem em cada pequeno lugar uma boa ação, elas vão poder mudar todo o futuro do planeta.”

Autor desconhecido

RESUMO

Diante da problemática do acesso à água potável no semiárido brasileiro, e das falhas encontradas nos métodos de tratamento existentes, foi criado o Aqualuz, um produto que potabiliza a água de cisternas por meio da radiação solar. Buscando conhecer como ocorre o decaimento bacteriano em função do tratamento com o Aqualuz, uma unidade do produto foi implantada em Croatá, distrito de São Gonçalo do Amarante, e através de modelagem matemática considerando o modelo de mistura completa, executada em função de amostras coletadas nesta unidade, foi estudado o coeficiente de decaimento dos coliformes na água de cisterna tratada com o Aqualuz. O valor do coeficiente encontrado foi de $0,25 h^{-1}$, e os resultados comprovam a eficiência do produto para tratamento de água de cisternas, além de estimar com precisão o período de tratamento em dias com diferentes temperaturas, nebulosidades e presença ou não de chuva.

Palavras-chave: Cisternas. Aqualuz. Coeficiente de decaimento bacteriano.

ABSTRACT

Faced with the problem of access to potable water in the Brazilian semiarid, and the flaws found in existing treatment methods, Aqualuz was created, a product that potentiates cistern water through solar radiation. Aiming to know how bacterial decay occurs due to the treatment with Aqualuz, a unit of the product was implanted in Croatá, district of São Gonçalo do Amarante, and through mathematical modeling considering the complete mix model, performed according to samples collected in this unit, the coefficient was studied. decay of coliforms in tank water treated with Aqualuz. The value of the coefficient found was 0.25 h^{-1} , and the results show the efficiency of the product for water treatment of cisterns, besides accurately estimating the treatment period on days with different temperatures, cloudiness and presence. or not rain.

Keywords: Cisterns. Aqualuz. Coefficient of bacterial decay.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Delimitação do Semiárido Brasileiro.....	17
Figura 2 – Aqualuz implantado em cisterna	27
Figura 3 – Mapa da Localização de Croatá	34
Figura 4 – Nebulosidade em São Gonçalo do Amarante	36
Figura 5 - Incidência de Radiação Solar em São Gonçalo do Amarante	37
Figura 6 – Aqualuz implantado para a realização de testes em Croatá, São Gonçalo do Amarante	38

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Decaimento de CT em tratamento com o Aqualuz – Dia 01	41
Gráfico 2 – Decaimento de CT em tratamento com o Aqualuz – Dia 02.....	41
Gráfico 3 – Decaimento de CT em tratamento com o Aqualuz – Dia 03.....	42
Gráfico 4 – Decaimento de CT em tratamento com o Aqualuz e curva modelada – Dia 01	42
Gráfico 5 – Decaimento de CT em tratamento com o Aqualuz e curva modelada – Dia 02	43
Gráfico 6 – Decaimento de CT em tratamento com o Aqualuz e curva modelada – Dia 03	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Grau de eficiência de remoção dos principais patógenos pelo SODIS em 6 horas.....	26
Tabela 2 – Resultados da 1º coleta, dia 22 de abril	39
Tabela 3 – Resultados da 2º coleta, dia 29 de abril	39
Tabela 4 – Resultados da 3º coleta, dia 30 de abril	40

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA	Agência Nacional de Águas
ASA Brasil	Articulação do Semiárido Brasileiro
CEO	Chief Executive Officer
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
COPASA	Companhia de Saneamento de Minas Gerais
CT	Coliformes Totais
DEHA	Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental
DNA	Ácido Desoxirribonucleico
EAWAG	Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology
EPA	Environmental Protection Agency
FUNASA	Fundação Nacional de Saúde
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INSA	Instituto Nacional do Semiárido
LABOSAN	Laboratório de Saneamento Ambiental
MI	Ministério de Integração
NMP	Número Mais Provável
ONG	Organização Não-Governamental
P1MC	Programa 1 Milhão de Cisternas
PET	Poli tereftalato de etila
SDW	Safe Drinking Water for All
SINGREH	Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos
SISNAMA	Sistema Nacional do Meio Ambiente
SODIS	Solar Water Disinfection
SRH	Secretaria de Recursos Hídricos
SUS	Sistema Único de saúde
UFBA	Universidade Federal da Bahia
UFC	Unidade Formadora de Colônia
UFC	Universidade Federal do Ceará
UFCG	Universidade Federal de Campina Grande
UV	Ultravioleta

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	15
1. OBJETIVOS	16
1.1 Objetivo Geral	16
1.2 Objetivos Específicos	16
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1 Qualidade da Água de Cisternas	17
2.2 Métodos de Tratamento de Água Simplificados Utilizados	21
2.3 Aqualuz	24
2.4 Modelagem da Qualidade da Água	29
2.4.1 Legislação	29
2.4.2 Fundamentação Teórica	31
3. METODOLOGIA	35
3.1 Caracterização da Área de Estudo	35
3.2 Coletas	37
3.2 Procedimento de Cálculo	39
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
5. CONCLUSÃO	49
REFERÊNCIAS	50
ANEXO	54
APÊNDICE	55

INTRODUÇÃO

A região semiárida brasileira, composta pelos estados do Nordeste (Alagoas, Bahia, Ceará, Maranhão, Piauí, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco e Sergipe) e o norte de Minas Gerais, possui uma série de características bem particulares, que juntas, configuram um desafio para a gestão hídrica. Algumas destas características são o regime de chuvas não uniforme - temporal e geograficamente, o solo e a formação rochosa que resulta em águas subterrâneas salobras, em alguns pontos. Como soluções para tais características, os órgãos responsáveis pela gestão das águas, como a Secretaria de Recursos Hídricos – SRH no Ceará, propõem alternativas e paliativos. Um viés de ações que ganha destaque como proposição de solução é a armazenagem da água, principalmente da água da chuva, através de açudes, poços e cisternas, por exemplo.

Cisternas são reservatórios comumente encontrados nos interiores dos estados, e são construídos de modo a permitir a captação e armazenamento da água das chuvas, conforme definição da ASA Brasil. Costumeiramente são feitas de cimento, mas alguns modelos mais recentes apresentam formação em plástico. Algumas delas são construídas pelos próprios usuários, mas existem programas do governo, como o Água Para Todos, e o Projeto Paulo Freire desenvolvido pela Secretaria de Desenvolvimento Agrário – CE que distribuem muitos desses reservatórios por diversas cidades nordestinas. Além da região semiárida brasileira, alguns outros países também utilizam cisternas, como a Argentina, alguns países da África e do Norte da Ásia.

Estima-se que atualmente 6 milhões de brasileiros tenham acesso a cisternas. Por um lado, esse é um número grandioso, pois mostra que uma quantidade significativa de pessoas passou a possuir acesso à água. Por outro lado, essa informação traz um problema: esses 6 milhões estão inseridos nos 14 milhões de pessoas sem acesso à água potável em zonas rurais do semiárido, segundo dados da ASA Brasil e do Instituto TRATA Brasil. Ou seja, as pessoas possuem acesso à água, mas uma água sem a qualidade adequada para o consumo, determinada pela Portaria 2914/2011, atual Código do SUS – Sistema Único de Saúde (Portaria 5/2017).

Diante disso, quando não consomem a água em sua forma bruta, alguns usuários buscam métodos de tratamento, como filtro de barro, fervura ou cloração. Conhecendo os problemas que cada método possui, e as consequências de consumir a água sem tratamento, em 2015, Anna Luisa Beserra, uma estudante da Bahia, começou a criação do Aqualuz, um dispositivo que potabiliza a água de cisternas por meio da radiação solar, elemento abundante no semiárido brasileiro. Atualmente, o dispositivo já está em processo de patente, com unidades implantadas em alguns estados, e com projeção de crescimento e expansão internacional.

O método de tratamento ocorre com exposição da água ao sol, permitindo que a radiação solar, em conjunto com a temperatura elevada atue de modo a desativar o DNA dos patógenos presentes na água, livrando-a de microorganismos e tornando-a potável. Utilizando técnicas de modelagem da qualidade da água, o presente trabalho visa analisar o coeficiente de decaimento dos coliformes presentes na água ao longo do tratamento com o Aqualuz, e comparar com a literatura já existente. Para isso, foram realizadas coletas de água em uma unidade do aparelho implantada no interior do Ceará, e posteriormente, as análises referentes a tais amostras. Os resultados das análises foram estudados sob a ótica da Modelagem, utilizando o modelo de mistura completa, e os resultados são expostos ao longo do trabalho.

1. Objetivos

1.1 Objetivo Geral

Analisar o coeficiente de decaimento dos coliformes em função do tratamento com o Aqualuz, resultando em um valor de coeficiente que atenda à diferentes condições externas, referentes ao meio de tratamento.

1.2 Objetivos Específicos

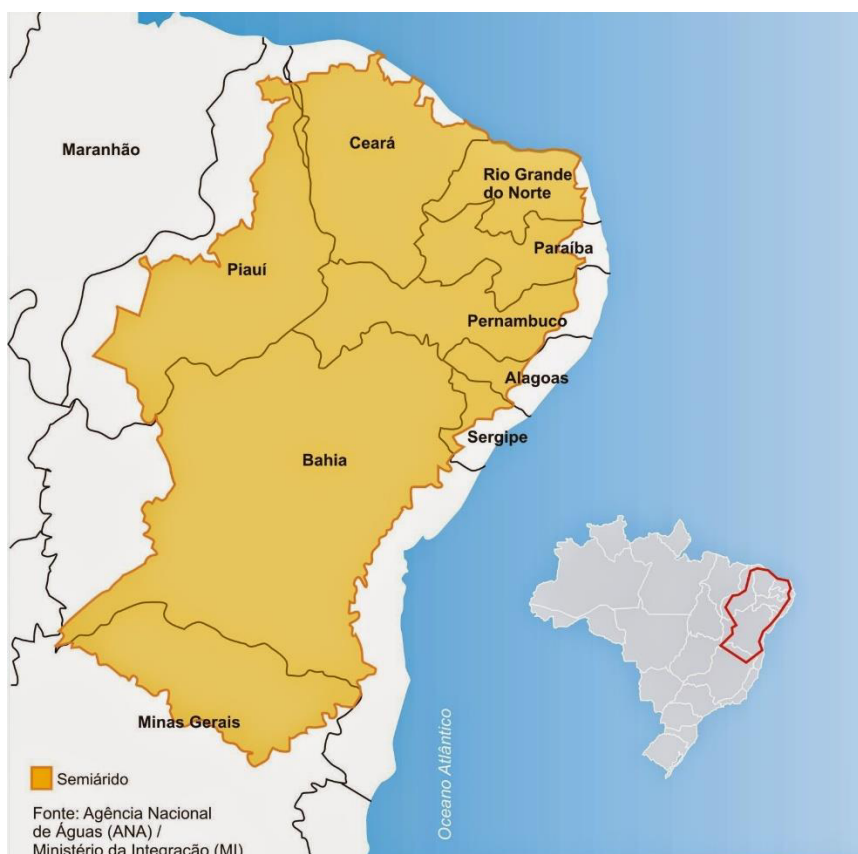
1. Estudar a duração dos ciclos até que a água se torne potável, cruzando com dados meteorológicos;
2. Traçar perfis pertinentes aos diferentes resultados obtidos, resultando em dados que auxiliem em implantações do Aqualuz em diferentes locais;
3. Em função dos dados do tratamento, realizar otimizações no produto.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Qualidade da Água de Cisternas

O semiárido brasileiro abrange 1.113 municípios, com uma área de 969.589,4 km², equivalente a 90% da região Nordeste e a região setentrional de Minas Gerais, como pode ser visto na Figura 1. Em 2014, a população residente nessa área ultrapassou 23,5 milhões, segundo síntese divulgada pelo Instituto Nacional do Semiárido (Insa), estimando crescimento maior que 5% em 4 anos, com base nos dados de projeções populacionais do IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, utilizando o censo de 2010. Esses números indicam que a população equivale a aproximadamente 34% do nordeste, e 11% da população nacional.

Figura 1 – Delimitação do Semiárido Brasileiro



Fonte: Agência Nacional de Águas (ANA)/ Ministério da Integração (MI)

Esta região possui uma identidade muito forte no sentido de resiliência ao desastre ambiental atmosférico, que há muito a castiga: a seca. É fato que “as chuvas escassas, irregulares ou retardadas não são exceção, mas quase a regra” (SILVA,

2006, p. 111), nesta região, que como pontua Josué de Castro em seu livro Geografia da Fome, é “chamada semi-árida, caracterizada, primordialmente pela incerteza, inconstância e irregularidade de suas chuvas” (CASTRO, 1968, p.183). Nesta obra, o autor mostra que apesar de existirem outros fatores responsáveis pela escassez e pobreza da região, a seca carrega sua parcela de culpa sobre esses fatores.

Sabendo que a baixa e desuniforme pluviosidade é tida como regra nessa região, cabe à população e seus gestores buscar e aplicar meios que auxiliem na convivência com a seca. Uma política aplicada com intensidade no semiárido brasileiro, em cunhos federais, estaduais e municipais, bem como através de organizações não governamentais, é a instalação de cisternas como alternativa de armazenamento de água para consumo humano, baseando-se da cultura do estoque, comumente pressuposta nessa região afim de melhorar a relação acima citada.

Cisternas são dispositivos que armazenam água, seja oriunda de chuvas, caminhões-pipa, ou de reúso, podendo ser potável ou não. Possuem formato cilíndrico, geralmente são enterradas pela metade, e têm capacidade de armazenar 16000 litros de água. Além disso, são uma tecnologia de baixo custo, feita de forma a captar a água da chuva que escorre pelo telhado. A retirada da água é realizada pelos moradores por meio de uma bomba de repuxo manual. Costumam ser construídas ao lado das casas, e são instrumentos de descentralização e democratização de acesso à água, excluindo a necessidade de fazer, diariamente, longos e trabalhosos trajetos para captar água, e gerando a possibilidade de retirar água a poucos passos. Dessa forma, as famílias possuem maior autonomia e significativa melhoria em sua qualidade de vida.

Dois grandes programas de implantação de cisternas são o P1MC (Programa 1 Milhão de Cisternas), de iniciativa da ASA, e o Água Para todos, programa criado pelo Governo Federal através do Decreto nº 7.535, de 26 de julho de 2011, que reúne uma série de medidas preventivas e paliativas para a convivência com a seca. Até julho de 2018, o primeiro já contava com mais de 351 mil unidades implantadas, e segue realizando instalações. Já o segundo, construiu mais de 933 mil cisternas até 2015, sendo 823 mil voltadas para o consumo, segundo o (agora extinto) Ministério da Integração Nacional. Atualmente, o Programa Água Para Todos está pausado, graças a mudança do governo, e não possui previsão de retorno.

Com todos esses fatores, são inegáveis os benefícios que as cisternas trazem para seus usuários. Mas para que continuem promovendo água de qualidade, é necessário realizar monitoramentos e ter uma série de cuidados e até mesmo tratamentos, quando necessário. As orientações para uso das cisternas incluem desvio e exclusão das primeiras águas e retirada apenas por meio das bombas. Já os caminhões devem manter uma rotina de limpeza interna e das mangueiras. Infelizmente, o notado na prática é diferente, e a água armazenada nas cisternas deixa de atender ao padrão adequado.

Os parâmetros de potabilidade são determinados pelo Código do SUS (Portaria 5/2017). A portaria estabelece os padrões permitidos de diversos parâmetros, e os identifica nas tabelas em seu anexo, como microbiológicos e de turbidez, por exemplo, e considerando alguns meios de tratamento, como filtração lenta e rápida e cloração. Para este trabalho serão comparados os padrões microbiológicos da Portaria, presentes em seu Anexo I e no anexo do presente trabalho.

Estudos de monitoramento de água de cisternas já realizados, em Petrolina – PE (AMORIM e PORTO, 2001) e em Valente – BA (SANTOS, 2018) mostram que a água estava fora do padrão, principalmente com base na presença de Coliformes. Esta contaminação pode se dar por vários motivos.

Quando a água é oriunda das chuvas, a qualidade pode ser influenciada pela poluição do ar em regiões industriais, e pelo sistema de captação (telhados, calhas e superfícies de escoamentos), que permitem a entrada de contaminantes, tanto biológicos como não biológicos. Poeira, sujeira, fezes de animais e folhas de árvores podem, além de contaminar a água com microrganismos nocivos à saúde, causar sabores e odores desagradáveis à água.

(AMORIM e PORTO, 2003)

A própria construção das cisternas pode ser responsável pela contaminação, caso seja realizado perto de fossas e esgotos. A falta de conservação e manejo inadequado podem gerar fatores que possibilitem a contaminação, como tampas inapropriadas, presença de rachaduras, e uso de cordas e baldes para retirar a água. Com todos esses problemas a água está passível para contaminação não apenas por coliformes, mas por outras bactérias como *Pseudomonas aeruginosa*, podem estar presentes na água (RUSKIN, 1988). Além disso, protozoários como o *Cryptosporidium*

e a *Giardia*, podem penetrar na cisterna e causar riscos significativos à saúde pública (CRABTREE et al., 1996). Nos estudos anexados e nos realizados ao longo do trabalho foi efetuada apenas a análise de bactérias do grupo Coliforme.

As bactérias do grupo coliforme são largamente utilizadas como teste para contaminação. Costumam ser classificadas em dois grupos: totais e termotolerantes. Os totais configuram um grupo de bactérias gram-negativas, que dependendo do ambiente e das bactérias, podem ser aeróbias ou anaeróbias. Estas não originam esporos e são responsáveis por fermentar a lactose. Já os coliformes termotolerantes recebem esse nome por suportarem temperaturas maiores que 40 °C. Convivem em simbiose com muitos animais, como gatos, cachorros, e porcos, e por isso são utilizadas como fator de contaminação, pois sua presença na água indica contato com fezes de animais de sangue quente. Uma das bactérias mais conhecidas deste grupo é a *Escherichia coli*, e sua ingestão pode causar resultados indesejados e desagradáveis, cuja severidade depende do nível de contaminação.

Diversos são os fatores que influenciam na cinética de decaimento bacteriana. FEITOSA (2007) divide esses fatores em físicos – onde se encontram a foto-oxidação, adsorção, coagulação, floculação e sedimentação, e temperatura -, físico-químicos – efeitos osmóticos – salinidade, pH, toxicidade química e quantidade de oxigênio dissolvido – e bioquímico-biológicos – que inclui os níveis de nutrientes e presença de substâncias orgânicas, predação e bacteriófagos. Os envolvidos no tratamento analisado neste trabalho encontram-se como fatores físicos: a radiação solar (foto-oxidação) e a temperatura. Ainda segundo Feitosa, a radiação solar é um dos fatores com maior influência sobre o decaimento, apresentando correlações significativas em diversos estudos sobre as taxas de mortalidade de coliformes e os índices de radiação solar incidente. Já a temperatura se relaciona com a taxa de decaimento através da capacidade de determinar o crescimento dos microorganismos, afetar a demanda por nutrientes e a atividade enzimática. Efeitos da temperatura podem ser encontrados nos estudos de MANCINI (1978).

2.2 Métodos de Tratamento de Água Simplificados Utilizados

Segundo dados divulgados pelo IBGE no fim de dezembro de 2017, o Brasil tem 11,8 milhões de analfabetos, representando cerca 7,2% da população com idade igual ou superior a 15 anos. Analisando regionalmente, o Nordeste concentra 14,8% de sua população com analfabetos, equivalendo ao dobro da média nacional e até quatro vezes o valor estimado para outras regiões, como Sul (3,6%) e Sudeste (3,8%). Refletindo o descaso com as políticas educacionais e os altos índices de pobreza, os municípios da região semiárida apresentam taxas de analfabetismo maiores que o Nordeste.

Com influência desta baixa escolaridade, uma parcela significativa da população dessa região acredita que a água da chuva presente nas cisternas é totalmente potável, não necessitando assim de tratamento. Mesmo com relatos e dados expostos através de campanhas, por sua vez organizadas por membros de órgãos da saúde dos municípios, muitos se negam a utilizar os tratamentos devidos, consumindo a água diretamente, e muitas vezes sofrendo com doenças de veiculação hídrica, como desintérias, gastroenterites, hepatites, amebíase e giardíase, e diversas verminoses, segundo listado pela COPASA – Companhia de Saneamento de Minas Gerais em uma campanha informativa sobre essas doenças e a necessidade de cuidados com água e saneamento.

Já a parte da população que faz uso de tratamento costuma usar filtração por filtro de barro, cloração da água ou a fervura antes do consumo. A questão é que esses três métodos acabam tornando-se inviáveis em alguns pontos, como manutenção, custos e problemas de saúde, como pode ser visto a seguir.

Apesar de ter passado por uma fase de desuso, o filtro de barro é um método de tratamento bastante utilizado, e apresenta muitas vantagens. Trata-se de um dispositivo com funcionamento por gravidade, onde a água é colocada na parte superior e será filtrada através da vela, gotejando lentamente para a parte inferior do filtro. A lentidão do sistema promove alta pressão, conseguindo alta eficiência de tratamento da água, em termos de dureza, alcalinidade e pH, e melhorias diante de outros métodos, como Filtro Acoplado, por exemplo, como concluído em um estudo realizado por estudantes da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG (FERNANDES et al, 2015). Em termos de remoção de microrganismos o filtro de barro

também consegue ter eficiência de remoção de 92%, mas carece de métodos complementares, como Hipoclorito de Sódio (NaClO) para conseguir a eliminação completa (DUARTE et al, 2016). A manutenção do filtro requer lavagem simples e troca das velas. Outro ponto positivo do filtro é sua capacidade de resfriar a água sem a necessidade de energia elétrica.

A cloração também é um método bastante utilizado e muito conhecido, sendo até mesmo usado como sinônimo para desinfecção. De fato sua eficiência na destruição dos microrganismos patogênicos presentes na água é muito alta, de modo que esse procedimento é sugerido na própria Portaria 2914/11, que dispõe sobre padrões de tratamento e qualidade da água para consumo, além de ser divulgada e distribuída pela Fundação Nacional da Saúde - FUNASA, que informa e orienta sobre como a cloração deve ser aplicada em seu Manual de Cloração de Água em Pequenas Comunidades.

O processo de desinfecção mais aplicado nos sistemas de abastecimento de água, em todo o mundo, é o que emprega o cloro ou produtos à base de cloro como agentes desinfetantes. [...] A garantia de seu êxito é a sua fácil acessibilidade em quase todos os países do mundo, seu custo razoável, sua alta capacidade oxidante da matéria orgânica e inorgânica, seu efeito residual, sua ação germicida de amplo espectro e boa persistência nos sistemas de distribuição, pois apresenta propriedade residual e pode ser medido facilmente e monitorado nas redes de distribuição depois que a água foi tratada e distribuída aos consumidores.
(FUNASA, 2014)

Ainda que essa seja inegavelmente uma metodologia muito útil, há que se ter cuidado com suas consequências. Afim de que possa ser empregada sem riscos à saúde, a água em que o cloro será aplicado deve contar com ausência de material orgânico, requerendo uma etapa anterior de filtração com alta eficiência. A necessidade se dá em vista da reação do cloro na presença de matéria orgânica, que resulta na formação de trihalometanos, compostos formados por um átomo de carbono, um de hidrogênio e três de halogênio (exemplificados por cloro, bromo e iodo). Os trihalometanos são considerados compostos carcinogênicos, e sua presença na água deve ser evitada, visto que estudos evidenciaram associações positivas em alguns casos de carcinoma (MEYER, 1994). Também é necessário ter cuidado com a concentração de cloro colocada, pois ultrapassar a quantidade

adequada pode levar a problemas estomacais e geram reclamações de sabor e odor forte na água.

Por fim, dos métodos de tratamento de água mais utilizados na região semiárida, tem-se a fervura da água, que consegue realizar a esterilização da água, removendo todos os patógenos, e tornando-a potável, visto que os organismos não conseguem sobreviver sob condições de temperatura tão elevada (com exceção do vírus da Hepatite A, que sobrevive até 120 °C). Essa metodologia é utilizada desde os primórdios e consiste em aquecer a água até o ponto de ebulição, e manter a fervura por um período de 5 minutos, para conseguir a eficiência desejada. A questão sobre a fervura são os custos envolvidos, que nem sempre podem ser arcados pelas famílias, e o sabor que a fervura confere à água é fator de reclamação entre os consumidores.

Analisando os três métodos, é notável que apresentam eficiência e eficácia elevada, mas podem ser geradores de problemas, apresentando custos de manutenção e compra, e danos à saúde a longo prazo. Além dos problemas em si, esses fatores podem agir como mais um obstáculo, levando os usuários a seguir pela incongruente tendência de não tratar água, e dando continuidade a inconvenientes ainda maiores.

2.3 Aqualuz

Incomodada com a situação da disponibilidade de água potável no semiárido e com os métodos de tratamento utilizados, em 2013, aos 15 anos de idade, a estudante baiana Anna Luisa Beserra Santos iniciou um projeto visando fornecer água de qualidade para essa parcela da população fazendo uso de algo abundante na região: o sol. Desde então, a estudante vem desenvolvendo o produto, e em 2019 conseguiu chegar à versão comercial desse projeto, o Aqualuz, um produto que potabiliza água de cisternas por meio da radiação solar.

O aparelho baseia-se na tecnologia SODIS (sigla em inglês para desinfecção solar da água), com alta validação e aceitabilidade, contando com mais de 1 milhão de usuários ao redor do mundo. As primeiras pesquisas dessa tecnologia foram desenvolvidas em 1984, pelo professor da Universidade Americana de Beirute, Aftim Acra, sendo posteriormente aperfeiçoada e implantada pelo EAWAG (Instituto Federal Suíço de Ciência e Tecnologia aquática), na Suíça. O tratamento da água através dessa tecnologia faz uso de dois diferentes processos de desinfecção que tem como base a energia solar, empregados para melhorar a qualidade microbiológica da água, a radiação UV e a pasteurização.

SODIS usa dois componentes da luz solar para a desinfecção da água. O primeiro, a radiação UV-A tem um efeito de germicida. O segundo componente, a radiação infravermelha, aumenta a temperatura da água, e é conhecida como pasteurização, quando a temperatura da água é elevada a 70°C – 75°C. O uso combinado da radiação UV-A e produção de calor, causa um efeito em conjunto que aumenta a eficiência do processo.

(WEGELIN; MEIERHOFER, 2002)

De acordo com seus comprimentos de onda, a radiação solar pode ser dividida em três gamas: radiação UV, luz visível e radiação infravermelha. Apesar de não ser percebida pelo olho humano, a radiação UV pode causar sérios danos aos olhos, à pele, e às células vivas. A luz UV possui também efeito letal sobre os agentes patógenos humanos presentes na água, reagindo diretamente com o DNA e enzimas dessas células, inativando-as. Como esses patógenos estão acostumados com as condições encontradas no intestino humano, são mais sensíveis à luz, não resistindo

quando expostas à ela. Outra reação da radiação UV é com o oxigênio dissolvido na água, que resulta em formas altamente reativas de oxigênio. Essas moléculas resultantes também atingem as estruturas das células, causando a morte dos patógenos.

Outra gama da radiação solar utilizada no SODIS é a que possui as ondas longas, conhecida como radiação infravermelha. Assim como a UV, esta não pode ser percebida pelo olho humano, mas podemos sentir o calor produzido por ela. A água possui a capacidade de absorver o calor dessa radiação, o que leva ao seu aquecimento. Os microorganismos presentes na água são sensíveis à temperatura, e quando na presença de temperaturas elevadas, não resistem e morrem.

A ação combinada dos dois fatores confere ao SODIS sua alta eficiência de remoção dos agentes patógenos humanos. No Guia de Aplicações do SODIS (WEGELIN; MEIERHOFER, 2002) os autores estudam as relações entre a influência de cada fator, entendendo que há dependência entre temperatura, faixa de radiação solar e tempo de exposição ao sol. A uma temperatura de 30°C, por exemplo, a água necessita de 555W.h/m² (radiações solares de comprimento de onda entre 350-400 nm, por 6 horas de meia-latidade do sol de verão de meio-dia), correspondente à radiação UV-A para alcance de redução de 3 log de coliformes fecais. Já considerando o caso em que a água chegue a 50 °C, os dados de radiação e tempo de exposição para a mesma taxa de redução caem para 140 W.h/m² e uma hora.

A atuação do SODIS não é válida para águas com contaminação química ou física, mas tem desenvolvimento ótimo em águas com contaminação microbiológica, conseguindo a remoção de alguns grupos, como a) Bactéria: *E. coli*, *Vibrio cholerae*, *Streptococcus faecalis*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Shigella flexneri*, *Salmonella typhi*, *Salmonella enteritidis*, *Salmonella paratyphi*; b) Vírus: *Bacteriophage f2*, *Rotavirus*, *Encephalomyocarditis virus*; c) Fungos: *Aspergillus niger*, *Aspergillus flavus*, *Candida*, *Geotrichum* e d) Protozoários: *Giardia spp*, (WEGELIN; MEIERHOFER, 2002). A eficiência de remoção desses patógenos pode ser visualizada na Tabela 1, a seguir.

Tabela 1 – Grau de eficiência de remoção dos principais patógenos pelo SODIS em 6 horas

Agente Patogênico	Redução em 6h
Bactéria	
<i>E. coli</i>	99,9 - 99,999%
<i>Salmonella typhii</i>	99,9 - 99,999%
<i>Shigella spp.</i>	99,9 - 99,999%
<i>Vibrio cholerae</i>	99,9 - 99,999%
Protozoário	
<i>Entamoeba hystolítica</i>	< 99,99%
<i>Giardia spp.</i>	99,9 - 99,999%
<i>Crystosporidium spp.</i>	45 - 92%
Helmintos	
<i>Ascaris suum</i>	+/- 90%

Fonte: (WEGELIN; MEIERHOFER, 2002)

As limitações do SODIS tangem não somente às condições da água que será tratada, que deve ser de baixa turbidez e contaminação microbiológica, mas também à sua forma de aplicação. Inicialmente o SODIS foi aplicado em garrafas PET (Poli tereftalato de etila), limitando-se assim ao volume de 2 L por cada aplicação. Além disso, era considerada uma faixa de exposição de tempo muito grande, por fins de segurança, de modo que a água deveria ficar exposta por pelo menos 6 horas, e se houvesse períodos nublados, a orientação era de dobrar o tempo de exposição, exatamente por não ter algo que indicasse a qualidade da água, ou temperaturas alcançadas (WEGELIN; MEIERHOFER, 2002).

Apesar disso, essa foi sem dúvida uma tecnologia muito importante, que levou e leva água potável para muitas pessoas ao redor do mundo (WEGELIN; MEIERHOFER, 2002), e ainda fundamentou muitos estudos e alguns equipamentos, como o Aqualuz.

O funcionamento do Aqualuz para tratamento da água baseia-se no SODIS, e assim, ele também fica restrito à águas sem contaminações químicas. Sua aplicação é voltada para cisternas (ilustrado na Figura 2, a seguir), sendo o primeiro dispositivo que se tem conhecimento a atender esse público fazendo uso do tratamento da água através da radiação solar.

Figura 2 – Aqualuz instalado em cisterna



Fonte: Safe Drinking Water for All – SDW. Ano: 2019.

De um projeto de ensino médio, o Aqualuz tornou-se o principal produto da startup baiana Safe Drinking Water for All – SDW, criada por Anna Luisa, atualmente biotecnologista pela Universidade Federal da Bahia - UFBA e CEO da SDW, que desenvolve tecnologias hídricas que mudam vidas.

Sua versão atual é feita em aço inox, como pode ser visto na figura 2. O aparelho possui dimensões de 57 x 57 x 8 mm, e consegue potabilizar até 15 L de água por cada ciclo, que costumam durar entre 2 e 4 horas. Possui uma placa de vidro em sua parte superior que possibilita a incidência da radiação solar e é conectado com uma tubulação simples. O funcionamento do aparelho se dá em três simples passos: 1) O usuário bombeia a água da cisterna para o Aqualuz. Nesta fase, a água passa por um ecofiltro, que retém o material particulado (o recheio do filtro é de manta acrílica, mas após o período de 6 meses, quando for realizada a troca do filtro, ele pode ser substituído por sisal ou até mesmo por pedaços de tecido de algodão). Após passar pelo filtro, presente na tubulação que antecede a chave de abertura, a água fica armazenada na caixa de inox; 2) A água fica exposta ao sol até que o adesivo termossensível mude de cor, do verde para o vermelho, indicando ao usuário que a água já está potável. (A troca de cor ocorre quando a temperatura está por volta de 50°C, e de acordo com os dados de literatura do SODIS e de testes microbiológicos realizados, a qualidade da água após esse período e a essa temperatura já atende

aos padrões de potabilidade); 3) O usuário retira a água do aparelho, e a coloca para resfriar. Depois disso, o aparelho já está pronto para um novo ciclo.

Conhecendo a realidade da população do semiárido, o Aqualuz foi idealizado de modo a ter o funcionamento mais simples e prático possível. Todos os passos de funcionamento, além de orientações adicionais estão presentes no manual que fica ao lado do aparelho, de maneira ilustrada. O Aqualuz possui vida útil média de 15 anos, é considerado de baixo custo e possui manutenção prática (lavagem simples com água e sabão neutro). Além disso, consegue ter eficiência de remoção completa dos patógenos (vide resultados), entregando ao usuário água de qualidade.

O modelo de vendas do Aqualuz tem como clientes o governo e empresas que tenham iniciativas socioambientais, e parcerias com ONG's (Organizações Não-Governamentais) para as implantações, de modo a entregar o produto ao usuário com custo zero. Atualmente já conta com 40 unidades implantadas em quatro estados do semiárido: Alagoas, Bahia, Ceará e Pernambuco. O objetivo é terminar o ano de 2019 com 100 unidades implantadas, abrangendo todos os estados da região semiárida.

2.4 Modelagem da Qualidade da Água

A modelagem da qualidade da água possui importância significativa no controle dos corpos hídricos, e por isso, além de extensa base teórica, possui também ampla fundamentação legal, sendo ambos os temas abordados a seguir.

2.4.1 Legislação

Há muito se comenta sobre a quantidade de água disponível no planeta, e como as informações acerca disso são preocupantes. É bastante comum para quem acessa esses dados ver comparações entre a quantidade de água doce e salgada, baixas nos níveis de reservatórios e até mesmo estimativas de tempo com água potável ao alcance.

Pelo alto potencial hídrico, possuindo cerca de 12% das reservas de água doce disponível, segundo a ANA (2019), o Brasil desde cedo apresenta certa preocupação com suas águas, e isso fica claro pela trajetória legal concernente a este assunto, que teve início no século XIX. Segundo Almeida (2002, p. 03) o Código Penal de 1890 firmava que aquele que “corromper ou conspurcar a água potável de uso comum ou particular, tornando-a impossível de beber ou nociva à saúde” seria punido com prisão cautelar de 1 (um) a 3 (três) anos.

Apesar de ser mais voltado à liberação da água para uso nas hidrelétricas, o Código das Águas, presente no Decreto 24.463 de 1934, trazia diretrizes sobre os usos da água, determinando como públicos ou dominicais, ainda com uma vertente mais voltada à quantidade do que à qualidade das águas. Começando a dar importância ao segundo tema, no Código Penal de 1940 é feita uma associação da conservação dos recursos hídricos com o direito à saúde, alegando no artigo 271 “corromper ou poluir água potável de uso comum ou particular, tornando-a imprópria para o consumo ou nociva à saúde” com pena de reclusão de 2 (dois) a 5 (cinco) anos. Em caso de crime culposo, pena: detenção de 2 (dois) meses a 1 (um) ano (BRASIL, 1940).

Dando continuidade a esse trajeto, em 1981 foi criada a Lei nº 6.938, que diz respeito à Política Nacional do Meio Ambiente, sendo responsável por instituir o SISNAMA – Sistema Nacional do Meio Ambiente, constituído por órgãos federais, estaduais e municipais e incumbido pela questão ambiental e tendo como órgão

superior o CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente, competente a estabelecer normas, critérios e padrões relativos ao controle e à manutenção da qualidade do meio ambiente com vistas ao uso racional dos recursos ambientais, principalmente os hídricos” (BRASIL, 1981), dentre outras atribuições.

Em acordo com suas competências, o CONAMA define, em 1986 a resolução nº 20, sendo revogada posteriormente pela resolução 357/2005, que traz classificações sobre as águas doces, salobras e salinas. Vale ressaltar que esta resolução faz considerações que não abrangem todos os tipos de uso possíveis, mas os nela especificados, demandando uma determinada qualidade à água (BRASIL, 2005). Depois entrou em vigor a resolução 430/2011, que traz alterações e complementos à última, dispondo sobre condições e padrões de lançamento de efluentes.

Os recursos hídricos continuam a ganhar força na legislação brasileira com a instituição da Constituição Federal, em 1988, que estabelece em seus artigos 20 e 21, a necessidade de outorga para uso da água e a criação do SINGREH (Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos) (BRASIL, 1988). Em 1992, com a criação da Agenda 21 (Programa das Nações Unidas para o século XXI), a água ganha o Capítulo 18, que enfatiza a necessidade de uma gestão integrada sobre os recursos hídricos. Outro grande passo é dado em 1997, com a chegada da Lei 9.433, chamada Leis das Águas, que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos, responsável por dar entendimento das diretrizes gerais de ação para sua implantação, de modelos de gestão, do sistema de informações e do sistema nacional de gerenciamento dos recursos hídricos.

Para complementar o conteúdo tangente à qualidade das águas, existem ainda portarias do Ministério da Saúde que classificam os padrões e parâmetros para potabilidade de água, como já citado anteriormente neste trabalho. Exemplo destas Portarias é a nº 2.914/2011 que “Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade” (BRASIL, 2011), substituída em 2017 pela Portaria nº5, de 28 de setembro de 2017, conhecida como Código do SUS.

Obter todo esse arsenal jurídico é válido para agir corretamente em situações que envolvem corpos hídricos, mas é necessário o uso de instrumentos para garantir o seguimento destas leis na prática. Apesar da densidade legal, o que se vê

atualmente é a intensa diminuição da qualidade da água dos corpos hídricos, causada principalmente por ações antrópicas.

“De norte a sul do Brasil são observados inúmeros casos de rios com altos níveis de trofia, o que ocorre principalmente devido aos lançamentos de esgotos domésticos e às águas drenadas em áreas agrícolas e urbanas, que provocam a entrada excessiva de fósforo em águas naturais. Além do esgoto sanitário, outros tipos de efluentes industriais como os de indústrias de fertilizantes, pesticidas, químicas em geral, conservas alimentícias, abatedouros, frigoríficos e laticínios, podem ser responsáveis pela alta quantidade de fósforo em corpos de água.”

(BARRETO et al, 2013)

Como forma de verificação do alcance dos seus objetivos, o custo, e a maneira mais acertada de se fazer, a Política Nacional de Recursos Hídricos necessita de uma série de ferramentas, entre elas, a modelagem matemática.

2.4.2 Fundamentação Teórica

Thomann e Mueller (1987) conceituam a modelagem de qualidade da água como modelos fundamentados nas leis de conservação de massa, norteados pelo balanço de massa, que leva em conta todas as entradas e saídas do sistema, bem como as transformações ocorridas (apud TERCINI, 2014). Song e Kim (2009) declaram que modelos matemáticos consistem em ferramentas ideais para simular alterações químicas, físicas e biológicas em cursos hídricos. Para Chapra (1997), a modelagem da qualidade da água representa a ação de apresentar as concentrações dos elementos presentes nas águas dos rios por meio de equações matemáticas.

Uma situação que exemplifica a modelagem da qualidade da água sendo utilizada como solução é o cálculo de eficiência de tratamento de esgotos, afim de que a concentração com a qual o efluente é inserido no corpo hídrico não exceda os parâmetros determinados para uma variável específica, em conformidade com o enquadramento e uso pretendido de um certo trecho do rio.

Para resolver problemas como esse com maior agilidade, atualmente existe a disposição uma quantidade considerável de modelos matemáticos computacionais e de estudos na literatura voltados para esse tema.

Nos últimos trinta anos, com o aumento do uso dos computadores na área de recursos hídricos, tem havido uma série de desenvolvimentos significativos no campo da modelagem da qualidade da água e estes resultaram em uma variedade de modelos, incluindo SIMCAT, QUAL2E, QUASAR, MIKE-11 e ISIS, OutorgaLS, AcquaNet, QualUFMG, entre outros.

(TERCINI, 2014)

Tais modelos podem ser normalmente categorizados com base: no ambiente a ser modelado, no objetivo, na quantidade de dimensões consideradas, na maneira como os processos são apresentados, no tipo de dados e na variabilidade temporal.

Quando se fala em ambiente a ser modelado, significa que o modelo pode ser aplicado em um rio, em um estuário ou em lagos e reservatórios, por exemplo. Os objetivos de uma modelagem podem ser de diversos tipos, e é com base nele que o estudo é definido. Se é um modelo de enquadramento, é projetado de modo a delinear os processos químicos e biológicos que influenciam os constituintes de interesse. No caso de um modelo de tempo de viagem, é desejado conhecer o tempo que determinado poluente vai levar até chegar a um ponto específico. Já para modelos de zona de mistura, tenciona-se representar apenas uma parcela do sistema, localizado logo após a jusante de uma descarga. Dessa forma, cada propósito requer uma metodologia de aplicabilidade distinta.

As dimensões consideradas configuram a complexidade do modelo em questão e quais podem ser suas aplicações. Quando é utilizado um modelo zero-dimensional (0D) somente os volumes e concentrações do sistema são representados, considerando uma mistura completa. Nenhum dado sobre a dispersão do contaminante consegue ser captado. Para modelos unidimensionais (1D) é possível representar o fluxo de água e a dispersão dos poluentes em uma única direção, assumindo que há uma mistura completa tanto em profundidade quanto em largura. Os modelos bidimensionais (2D) conseguem delinear a dispersão em toda a largura ou profundidade, mas há de se escolher que uma destas fique constante. Modelos de largura constante são indicados para ocorrências de estratificação, enquanto que

profundidade constante se aplicam bem a corpos hídricos mais rasos, sem estratificação significativa. Finalmente, os modelos tridimensionais (3D), de alta complexidade e sofisticação, conseguem simular o fluxo de água e a dispersão em todas as dimensões.

Com relação à apresentação dos processos, os modelos são costumeiramente divididos entre conceituais e empíricos. A grosso modo, os modelos empíricos estão mais ligados a experimentos do que a modelagem em si, sendo úteis em casos de causa e efeito. Já os conceituais fazem uso de equações matemáticas para modelar o sistema desejado. Outra classificação comum é a de modelos determinísticos e estocásticos, baseada nos dados de entrada e nos resultados. No primeiro são assumidos dados fixos de entrada e saída nos cálculos, ilesos de erros, gerando os mesmos resultados dadas as mesmas entradas. Já para os estocásticos os modelos são executados diversas vezes, considerando diferentes variáveis de entrada, selecionadas de forma estatística e resultando em saídas também em forma de distribuição estatística para cada cenário.

A última classificação refere-se ao comportamento das variáveis no tempo, podendo ser constante (quando não há variação dos parâmetros ou das taxas de decaimento ao longo do tempo) ou dinâmico, que permitem a existência dessa variação temporal. Para isso, os modelos dinâmicos exigem uma quantidade maior de dados, aumentando as séries utilizadas e conseqüentemente sua complexidade.

Os modelos descritos na literatura conseguem embasar, também através de equações, o comportamento dos componentes presentes na água, de modo a permitir que o estudo da modelagem também seja caracterizado. Assim como nos modelos computacionais, as equações a serem utilizadas dependem do componente que está sob análise, e de fatores a ele pertinentes, como cinética de decaimento, por exemplo.

Segundo Paula (2011), visando a validade dos resultados obtidos por meio dos modelos, é necessário realizar uma série de processos com os dados experimentais que confirmem essa veracidade, como calibração, verificação, análise de incerteza e sensibilidade do modelo utilizado. Com base nisso, a modelagem pode ser usada com considerada efetividade como instrumento de auxílio em processos de tomada de decisão.

Estes processos são realizados por meio da análise dos dados experimentais, por meio de avaliações visuais dos gráficos gerados com os dados experimentais e

os calculados. Para Von Sperling (2007), a calibração pode ser conceituada como a variação dos parâmetros do modelo de qualidade da água, de forma a se alcançar uma concordância conveniente entre os dados que foram colhidos nos experimentos e os dados calculados com o modelo.

Realizando os passos acima citados, e escolhendo de forma adequada o modelo a ser utilizado, com base nas premissas pertinentes ao local de aplicação e ao que se deseja obter com a aplicação do modelo, é possível conseguir dados muito confiáveis com base nos modelos. Assim, a modelagem matemática afirma-se como uma ferramenta de alta utilidade para uso em análise de corpos hídricos.

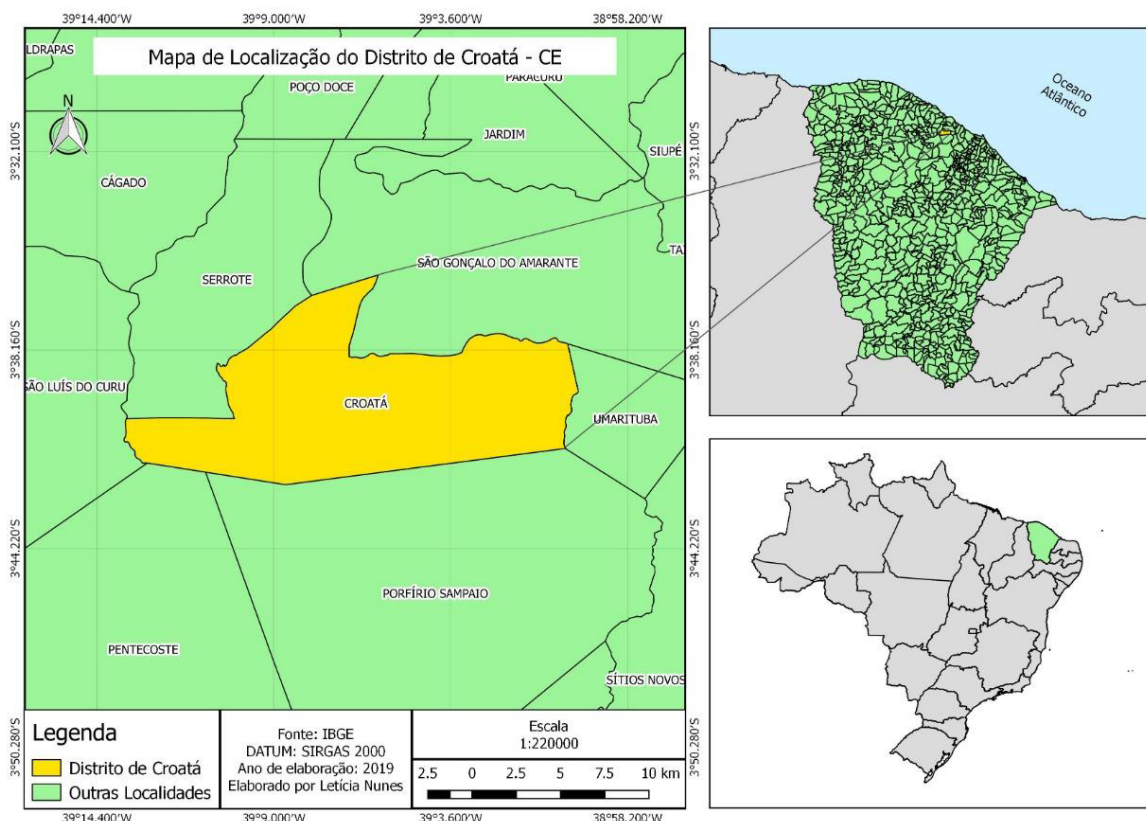
3. METODOLOGIA

A metodologia deste trabalho envolveu desde a implantação da unidade piloto do Aqualuz, até as coletas e posterior tratamento dos dados.

3.1 Caracterização da área de estudo

Visando coletar a água para realizar os testes, uma unidade do Aqualuz foi implantada em uma cisterna no bairro Parque Iracema, distrito de Croatá, distante 64 Km de Fortaleza, com localização demonstrada na Figura 3. Este distrito possui aproximadamente 5.800 habitantes (IBGE, 2012), e está inserido no município de São Gonçalo do Amarante, que por sua vez faz parte da Região Metropolitana de Fortaleza.

Figura 3 – Mapa da Localização de Croatá



Fonte: Autora. Ano: 2019.

Segundo o Weather Spark, site que reúne informações meteorológicas de diversas cidades, São Gonçalo do Amarante possui verão quente, árido, com fortes ventos e céu parcialmente encoberto. O inverno é curto, morno, com precipitação,

mantendo o céu encoberto. A temperatura varia entre 24 °C e 32 °C durante o ano, sendo raros os acontecimentos de temperaturas fora dessa faixa. Os ventos podem chegar até 23 km/h, e a média diária de energia de ondas curtas incidentes por metro quadrado nos meses mais radiantes é de 7,0 kWh. Os dados do site são feitos com base em na estação meteorológica do Aeroporto de Fortaleza, que fica dentro da faixa de distância aceitável (até 150 Km). A precipitação média, segundo o ClimaTempo é de 101,33 mm, baseado em normais climatológicas de 30 anos.

O comportamento da radiação solar e da nebulosidade (ambos fatores com grande influência no tratamento com o Aqualuz, e conseqüentemente nos resultados deste trabalho) em São Gonçalo do Amarante podem ser vistos nas Figuras 4 e 5 a seguir.

Figura 4 – Nebulosidade em São Gonçalo do Amarante

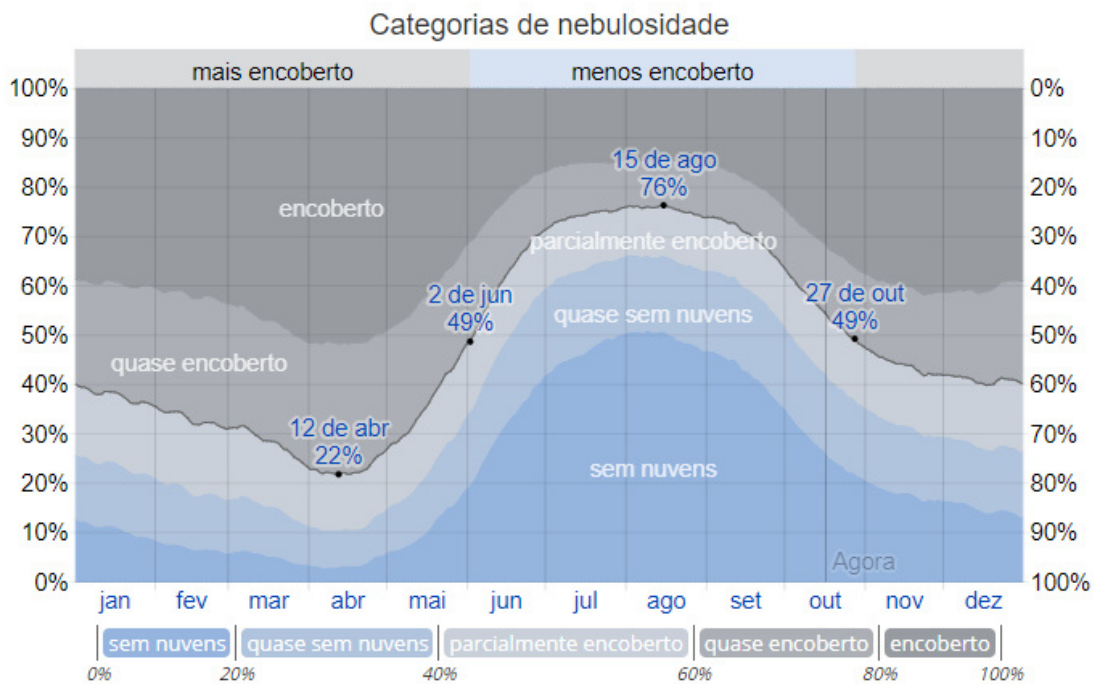
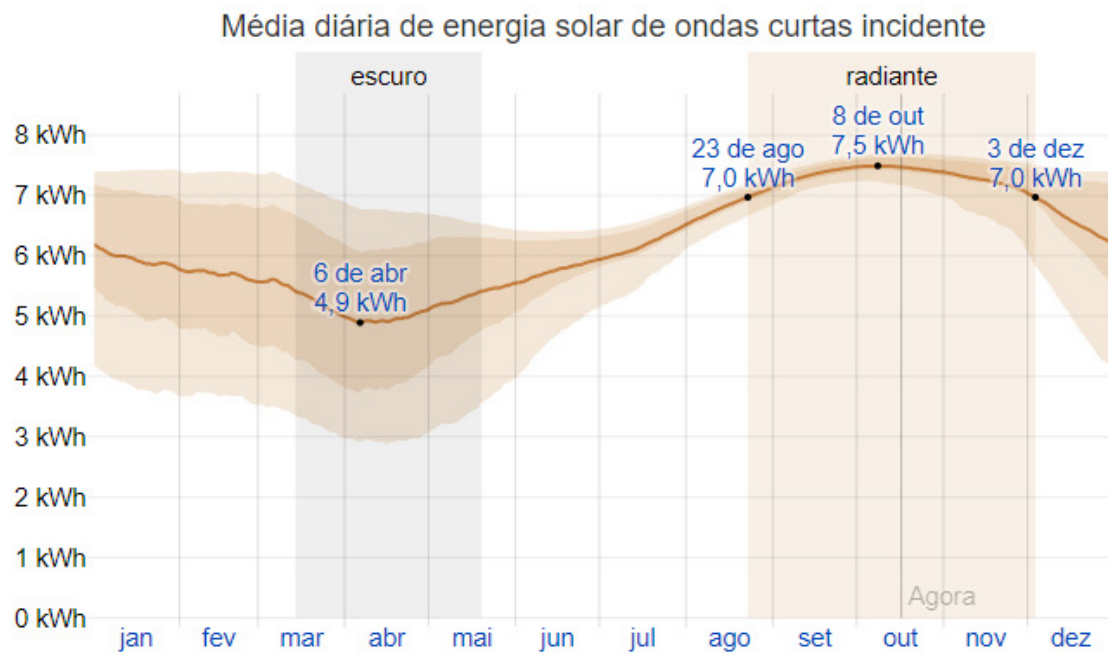


Figura 5 – Incidência de Radiação Solar em São Gonçalo do Amarante



Fonte: Weather Spark. Ano: 2019.

3.2 Coletas

A cisterna em que o aparelho foi implantado faz parte do Água Para Todos, programa do governo federal já citado neste trabalho. A cisterna é de polietileno, na cor cinza e tem capacidade de acúmulo de 16 mil litros de água.

Figura 06 – Aqualuz implantado para realização dos testes em Croatá, São Gonçalo do Amarante.



Fonte: Autora. Ano: 2019.

As coletas foram feitas nos dias 22, 29 e 30 de abril de 2019 e em todos a cisterna estava cheia. No primeiro dia, durante o período de coleta, houve momentos de sol e alguns mais nublados, com incidência de chuva por volta de 10 da manhã. O segundo teve predominância de sol e o terceiro foi de chuva durante todo o tempo da coleta. As amostras eram coletadas durante 4 horas, entre 7 e 11 da manhã e atendiam às seguintes fases:

Fase preparatória:

1. Lavar as garrafas plásticas em que serão coletadas as amostras.
2. Realizar a limpeza (se necessária) no Aqualuz.
3. Fazer os encaixes necessários de tubulação do Aqualuz na cisterna, deixando o aparelho em local exposto ao sol.
4. Encher o Aqualuz.

Fase operacional:

1. Realizar a primeira coleta, logo após o enchimento do aparelho, enchendo a garrafa e verificando a temperatura da água, tomando notas. Armazenar a garrafa em local fora do alcance do sol.
2. Realizar de forma similar as próximas coletas, a cada meia hora, durante 4 horas.
3. Tirar algumas fotos do processo (presentes no Apêndice do trabalho).
4. Após realizar a última amostra, armazenar as garrafas na vertical e preparar para levar ao laboratório. Caso haja um intervalo de tempo significativo entre a coleta das amostras e a entrega no laboratório, deve-se realizar os ajustes necessários nas amostras, como banho de gelo em caixa térmica, por exemplo, acondicionando as amostras a fim de evitar novas contaminações.

Fase pós-operacional

1. Esvaziar o Aqualuz e guardar em local seguro.
2. Levar as amostras ao laboratório.
3. Receber e analisar os resultados.

O laboratório responsável pelas análises das amostras foi o Labosan – Laboratório de Saneamento Ambiental, localizado no Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental (DEHA), Bloco 713, no Campus do Pici, da Universidade Federal do Ceará. As análises feitas quantificavam os coliformes presentes nas amostras, sendo nove no total: uma da água ainda sem exposição ao sol, e as outras oito coletadas ao longo das quatro horas de coletas. A metodologia usada foi a do Colilert, seguindo as orientações do Standart Methods (APHA, 2005), e os resultados eram dados em NMP (Número Mais Provável).

3.3 Procedimento de Cálculo

Objetiva-se encontrar o coeficiente de decaimento bacteriano do processo de tratamento no Aqualuz nos dias de coleta e para realizar este cálculo, é necessário primeiro entender a cinética de decaimento dos coliformes. Com os resultados das análises de qualidade de água foram feitos gráficos para cada dia, cruzando os dados de quantidade encontrada em cada momento de coleta. Os gráficos em questão

apresentaram uma curva típica similar à de consumo de produto através de mecanismo de primeira ordem.

A equação que rege esse perfil de decaimento desenvolve-se conforme mostrado a seguir (baseada na lei de Chick):

$$\frac{dC}{dt} = -k * C^1 \quad (1)$$

Organizando a equação e integrando:

$$\int \frac{dC}{C} = -k \int dt \quad (2)$$

Obtém-se:

$$\ln C \int_{C_0}^C = -k * t \quad (3)$$

$$\ln C - \ln C_0 = -k * t \quad (4)$$

$$\ln \frac{C}{C_0} = -k * t \quad (5)$$

E finalmente,

$$C = C_0 * e^{-kt} \quad (6)$$

Onde:

C = Concentração no tempo (t);

C_0 = Concentração inicial;

t = Tempo de intervalo das amostras; e

k = Coeficiente de decaimento (objetivo de estudo deste trabalho). k é uma função da temperatura, sendo descrito por

$$k = k_{20} * \theta^{(T-20)}$$

Onde:

θ = Coeficiente de temperatura, cujo valor médio (utilizado nos cálculos deste trabalho) pode ser 1,07 (Castagnino, 1977; Thomann e Mueller, 1987; apud Von Sperling 2007), apesar de existir uma ampla variação de dados para este coeficiente na literatura;

k_{20} = Coeficiente de decaimento para 20°C; e

T = temperatura.

Os mesmos dados de coleta que foram utilizados para confeccionar os gráficos são utilizados agora na equação (6), permitindo modelar o decaimento. A partir disso, foi possível encontrar o coeficiente (representado por k na equação), como desejado. Para efeito dos cálculos realizados, o Aqualuz foi considerado um modelo de mistura completa, funcionando por bateladas, que corresponde a cada ciclo de tratamento. Os gráficos gerados, bem como o valor do coeficiente encontrado estão dispostos e discutidos a seguir.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Cada dia de coleta gerou uma tabela com as informações de horários de coleta, a temperatura da água e os resultados dos parâmetros microbiológicos. As tabelas de cada dia de coleta seguem em anexo.

Tabela 02 – Resultados da 1ª coleta, dia 22 de abril. Dia com momentos nublados e leve chuva após as 10 da manhã.

<i>Amostras</i>	<i>Horário</i>	<i>Temperatura</i>	<i>Coliformes totais</i> <i>(NMP/100 mL)</i>	<i>Coliformes termotolerantes</i> <i>(NMP/ 100 mL)</i>
0	07:00	27 °C	57940	300
1	07:30	28 °C	32550	0
2	08:00	29°C	26130	0
3	08:30	32°C	21430	0
4	09:00	34°C	23590	0
5	09:30	37°C	20460	0
6	10:00	41°C	3840	0
7	10:30	43°C	2280	0
8	11:00	45°C	1420	0

Fonte: Elaborado pela autora

Tabela 03 – Resultados da 2ª coleta, dia 29 de abril. Dia de sol intenso.

<i>Amostras</i>	<i>Horário</i>	<i>Temperatura</i>	<i>Coliformes totais</i> <i>(NMP/100 mL)</i>	<i>Coliformes termotolerantes</i> <i>(NMP/100 mL)</i>
0	07:00	26 °C	61000	100
1	07:30	28 °C	58000	0
2	08:00	30°C	52000	0
3	08:30	35°C	26000	0
4	09:00	37°C	750	0

5	09:30	40°C	0	0
6	10:00	43°C	0	0
7	10:30	45°C	0	0
8	11:00	48°C	0	0

Fonte: Elaborado pela autora

Tabela 04 – Resultados da 3ª coleta, dia 30 de abril. Dia de chuva.

<i>Amostras</i>	<i>Horário</i>	<i>Temperatura</i>	<i>Coliformes totais (NMP/100 mL)</i>	<i>Coliformes termotolerantes (NMP/100 mL)</i>
0	07:00	27 °C	120000	100
1	07:30	28 °C	92000	0
2	08:00	30 °C	69000	0
3	08:30	28 °C	61000	0
4	09:00	28 °C	55000	0
5	09:30	28,5 °C	44000	0
6	10:00	29 °C	26000	0
7	10:30	31 °C	25000	0
8	11:00	32 °C	410	0

Fonte: Elaborado pela autora

A fim de verificar o comportamento do decaimento dos coliformes, os resultados das tabelas acima foram organizados em gráficos, presentes a seguir. Como os Coliformes Termotolerantes só estavam presentes na amostra inicial das três coletas, apenas os Coliformes Totais (CT) foram o foco do trabalho.

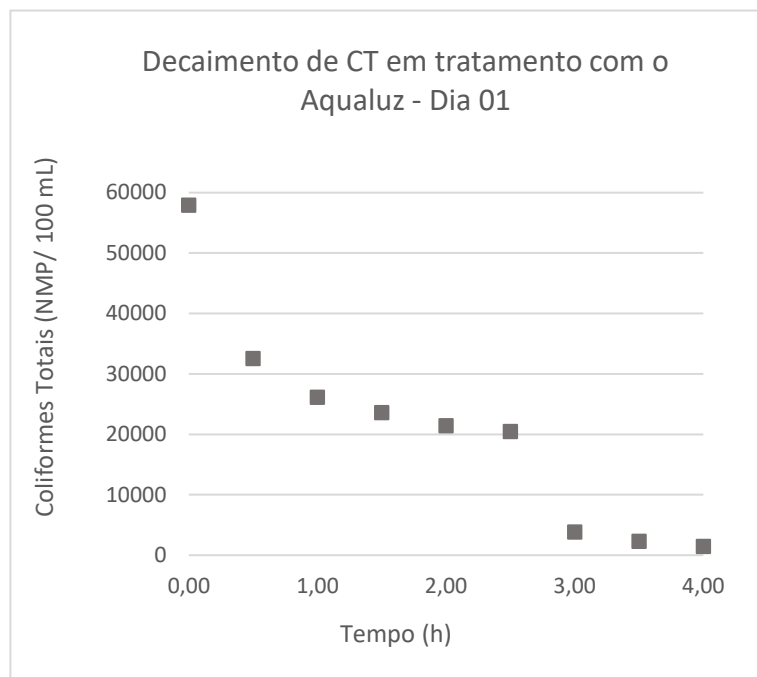


Gráfico 01
 Fonte: Elaborado pela autora

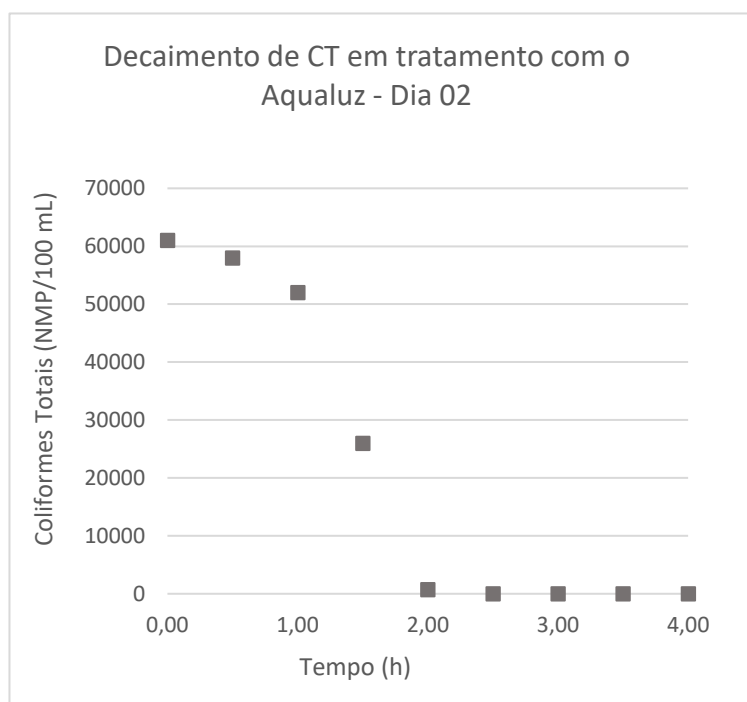


Gráfico 02
 Fonte: Elaborado pela autora

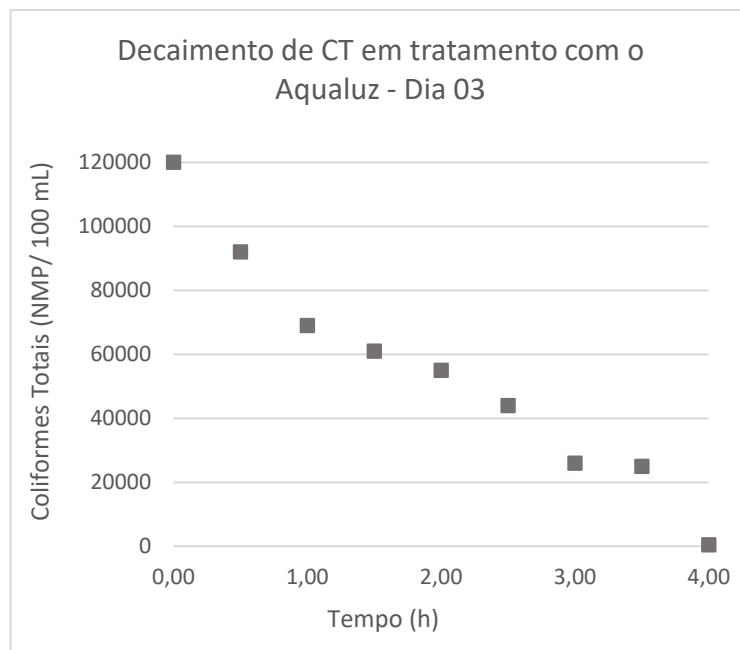


Gráfico 03
 Fonte: Elaborado pela autora

Utilizando a equação (6), presente no item de procedimento de cálculo, foram realizadas diversas simulações (utilizando o Excel) com os resultados afim de modelar por meio da equação apresentada o comportamento dos coliformes diante do tratamento com o Aqualuz, encontrando um coeficiente que se adeque bem ao decaimento. O valor de k encontrado equivale a $0,25 h^{-1}$. Seguem os gráficos com os valores das coletas e com a curva obtida através da modelagem. Colocar regiões

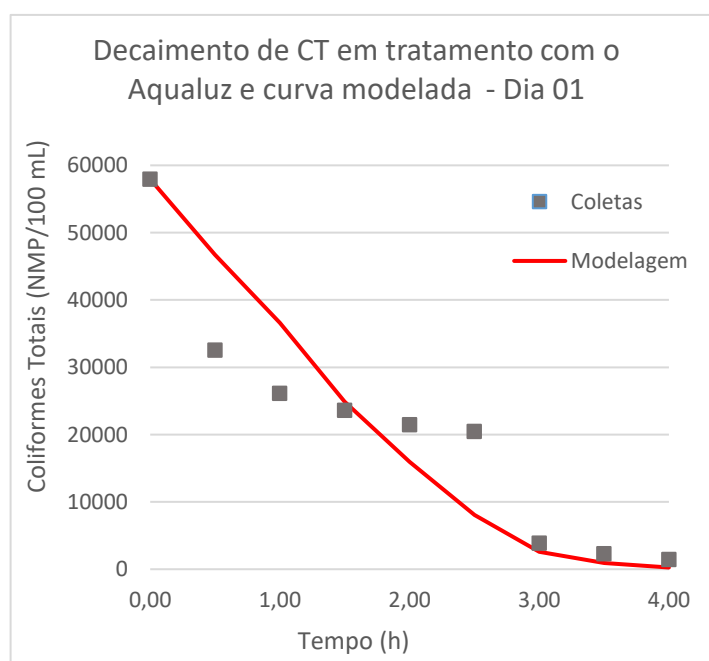


Gráfico 04

Fonte: Elaborado pela autora

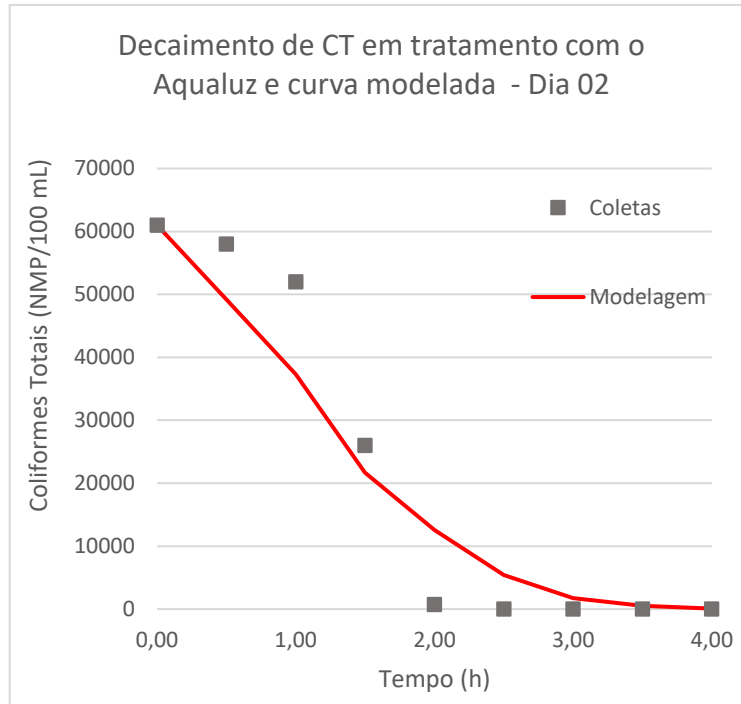


Gráfico 05

Fonte: Elaborado pela autora

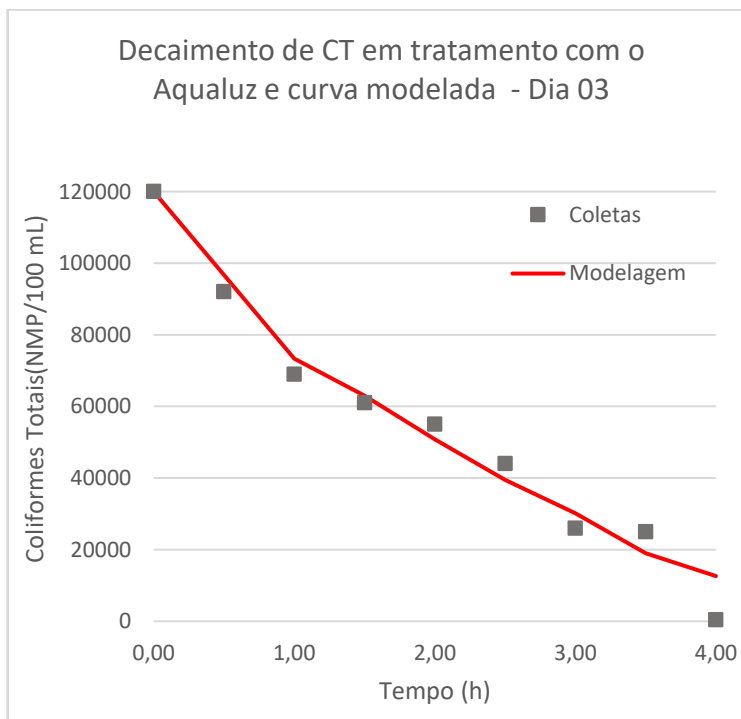


Gráfico 06

Fonte: Elaborado pela autora

Com o valor de coeficiente utilizado ($k=0,25 h^{-1}$ e $\Theta = 1,07$), a curva dos valores modelados por meio da equação anteriormente apresentada conseguiu ter significativa proximidade com os valores coletados, de 87%, 94% e 97% para o primeiro, segundo e terceiro dia de coleta, respectivamente.

Valores típicos de coeficientes de decaimento bacteriano permeiam a faixa de 0,5 a 1,5 d^{-1} , em base e , e 20°C (segundo Arceivala, 1981; EPA, 1985; Thomann e Mueller, 1987, apud Von Sperling, 1997). Em um estudo de tratamento de água de cisternas utilizando o SODIS, Haider (2014) encontrou um coeficiente de 0,5 – 1,6 h^{-1} para a modelagem do método, através da mesma equação de decaimento. O estudo feito por Haider (2014) ocorreu no Paquistão, cuja temperatura média apresentada foi de 45°C, 13°C acima da temperatura máxima de São Gonçalo do Amarante.

O valor do coeficiente encontrado neste trabalho está fora das faixas citadas anteriormente, o que pode ser explicado pelos muitos fatores intervenientes para o método de tratamento em questão, com influência sobre o valor do coeficiente e do próprio comportamento de decaimento, como cobertura de nuvens, temperatura da água, radiação incidente e tempo de exposição, por exemplo.

Analisando o último destes fatores, é possível notar a relação direta da incidência de radiação/cobertura de nuvens com o tempo de exposição. O primeiro dia contou com momentos nublados durante o período da coleta, incluindo uma chuva rápida próxima às 10 da manhã. Ao fim das quatro horas, foi realizada diminuição de quase 2 log, equivalente a 97,55% de remoção. Para o alcance da remoção completa dos patógenos seria necessário elevar o período de exposição.

Já no segundo dia de coletas, que foi um dia de sol intenso, foi alcançada uma eficiência de remoção completa em duas horas e meia de exposição. Por fim, no terceiro e último dia, em que a chuva foi constante no período das coletas alcançou-se remoção de 2 log, com 99,65% dos coliformes eliminados ao fim das quatro horas. Assim como no caso do primeiro dia, seria necessário expandir o tempo de exposição para alcançar a remoção total. A assertividade em definir o tempo de aumento é pequena, pois não é possível definir de forma concreta qual seria a cobertura de nuvens ou a temperatura que a água alcançaria ao longo da exposição.

Realizando análises com uso do SODIS, Damas, Araújo e Rezende (2013) conseguiram resultados satisfatórios de remoção com apenas duas horas de tratamento (o que mais se aproxima do segundo dia de coleta deste trabalho), fazendo

uso da técnica de contagem dos tubos múltiplos e gerando resultados em Número Mais Provável (NMP). Já Oliveira (2013), por meio da mesma metodologia, não alcançou significativa remoção no período de duas horas, obtendo bons resultados de diminuição somente com quatro horas de tratamento. O mesmo aconteceu com Araújo e Silva (2014), que fizeram os testes considerando o SODIS em sua forma original, com garrafas PET, gerando resultados em Unidades Formadoras de Colônias (UFC). O período de exposição que garantiu a maior remoção dos patógenos foi de quatro horas, assemelhando-se ao alcançado neste trabalho para o primeiro e terceiro dia de coleta.

4 CONCLUSÃO

O referido trabalho é um acréscimo aos já presentes na literatura que fomentam a eficácia da radiação solar como forma de tratamento da água. A partir dos testes realizados, ficou claro que mesmo em dias com uma quantidade menor de radiação solar é possível alcançar bons resultados de remoção dos patógenos utilizando este método.

As cisternas são certamente uma grande ajuda para a população do semiárido, e agem como forma de descentralização do acesso à água, mas há que se atentar ao tratamento e manejo desta água para que a mesma não se torne um veículo de doenças, visto que em todas as amostras coletadas para este trabalho a água estava contaminada com alta concentração de coliformes, além do documentado em outros trabalhos aqui referenciados que também indicavam contaminação da água proveniente de cisternas.

O Aqualuz, produto mostrado neste trabalho, é um potencial meio de tratamento, que através do uso da radiação solar alcança ótimas remoções de microorganismos. Entre seus diferenciais está o fato de ser o primeiro purificador de água pensado para cisternas e a presença do adesivo termossensível, que indica o momento de retirada da água. Este mecanismo auxilia tanto o usuário, por ser prático e de fácil visualização, quanto os responsáveis pela criação do produto, pela dificuldade em estimar o término do ciclo de tratamento, que como visto no trabalho, depende de uma série de variáveis e pode requerer ciclos mais longos ou mais curtos em função delas.

Além de conseguir chegar a um coeficiente que possui boa aderência mesmo com características climatológicas diferentes, este trabalho também possibilitou a análise do período de ciclo necessário para dias nublados, de sol intenso e de chuva, e permitiu acrescer dados à pesquisa do Aqualuz, fomentando futuros aperfeiçoamentos do produto.

Como ao fim da primeira meia hora de tratamento os Coliformes Termotolerantes já apresentavam eliminação completa, uma sugestão para trabalhos futuros é realizar testes de período de tempo mais curto durante esta etapa inicial para estudar o decaimento destes microorganismos. Seria interessante também replicar o que foi feito neste trabalho em outra localidade, afim de observar como o coeficiente encontrado ($k = 0,25 \text{ h}^{-1}$) modelaria os dados obtidos em outro local.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Caroline Corrêa de. **Evolução histórica da proteção jurídica das águas no Brasil**. Teresina: Jus Navigandi, ano 7, n. 60, nov. 2002. Disponível em <<https://jus.com.br/artigos/3421/evolucao-historica-da-protECAo-juridica-das-aguas-no-brasil>>. Acesso em: 10 de maio de 2019.

ANA. **Brasil tem cerca de 12% das reservas mundiais de água doce do planeta**. 2010. Disponível em: <<http://www3.ana.gov.br/portal/ANA/noticias-antigas/brasil-tem-cerca-de-12-das-reservas-mundiais-de-a.2019-03-15.1088913117>> Acesso em: 10 de maio de 2019.

ASA BRASIL. **Semiárido – É no semiárido que a vida pulsa!** Disponível em: <<https://www.asabrasil.org.br/semiario>> Acesso em: 28 de abril de 2019.

BARRETO, Luciano Vieira. **Eutrofização em Rios Brasileiros**. Bahia, 2013. Disponível em: <<http://www.conhecer.org.br/enciclop/2013a/biologicas/EUTROFIZACAO.pdf>> Acesso em: 14 de maio de 2019.

BRASIL, **Código Penal. Decreto-Lei 2.848, de 7 de dezembro de 1940**. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto-lei/Del2848.htm>. Acesso em: 12 de maio de 2019.

BRASIL, **Decreta o Código de Águas**. Decreto nº 24.643, de 10 de julho de 1934. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/D24643.htm>. Acesso em: 10 de maio de 2019.

BRASIL, **Resolução Conama nº 430, de 13 de maio de 2011**. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente. Disponível em <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>>. Acesso em: 12 de maio de 2019.

BRASIL. **Constituição Federal de 1988. Promulgada em 5 de outubro de 1988**. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm>. Acesso em: 14 de maio de 2019.

BRASIL. **Lei Nº 9.433 de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos**. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9433.htm> Acesso em: 14 de maio de 2019.

BRASIL. **Portaria de Consolidação Nº 5, de 28 de Setembro de 2017. Código do SUS**. Disponível em: <http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2017/prc0005_03_10_2017.html> Acesso em: 14 de maio de 2019.

CLIMATEMPO. **Climatologia em São Gonçalo do Amarante – CE**. Disponível em: <<https://www.climatempo.com.br/climatologia/4943/saogoncalodoamarante-ce>> Acesso em: 30 de abril de 2019.

COPASA. **Doenças de veiculação hídrica**. Disponível em: <http://www.copasa.com.br/media2/PesquisaEscolar/COPASA_Do%C3%A7as.pdf> Acesso em: 30 de abril de 2019

CRABTREE, K.D., et al. **The detection of Cryptosporidium oocysts and Giardia cysts in cistern water in the U.S Virgin Islands**. *Water Research*, 30:208-216,1996.

DAMAS, A. P. S.; ARAÚJO, W. E. L.; REZENDE, M. P., **Desinfecção da água através da radiação solar**, Faculdade de Engenharia Ambiental; Universidade de Rio

DUARTE, Karissa Auad Carvalho, et al. **Avaliação Bacteriológica da água de chuva tratada em um filtro de barro**. Belém, 2016. Disponível em: <<http://10sbcmac.ufpa.br/anais/ARQUIVOS/GT1-1-9-20161120150926.pdf>> Acesso em: 03 de maio de 2019.

FEITOSA, R. C. **Acoplamento de Modelos de Campo Próximo e Campo Afastado com Cinética de Decaimento Bacteriano Variável - Aplicações em Emissários submarinos**. Rio de Janeiro: Tese de doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE. 2007

FERNANDES, Caroline Vasconcelos et al. **Estudo da qualidade das águas processadas em filtros de barro tradicionais contrapondo os filtros modernos**. Campina Grande, 2015. Disponível em: <<http://pdf.blucher.com.br.s3-saeast1.amazonaws.com/chemistryproceedings/5erg4enq/qan1.pdf>> Acesso em: 03 de maio de 2019.

FUNASA. **Manual de Cloração de Água em Pequenas Comunidades**. Utilizando o Clorador Simplificado Desenvolvido pela Funasa. Brasília, 2014. Disponível em: <http://www.funasa.gov.br/site/wp-content/files_mf/manualdecloracaodeaguaempequenascomunidades.pdf> Acesso em: 05 de maio de 2019

IBGE, Agência de Notícias. **Analfabetismo cai em 2017, mas segue acima da meta para 2015**. 2018. Disponível em: <<https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/21255-analfabetismo-cai-em-2017-mas-segue-acima-da-meta-para-2015>> Acesso em: 09 de maio de 2019

MANCINI, J.L. **Numerical Estimates of Coliform Mortality Rates Under Various Conditions**. *Journal Water Pollution Control Fed.*, v.50, n. 11, pp. 2477-2484. 1978

MEYER, Sheyla T. **O Uso de Cloro na Desinfecção de Águas, a Formação de Trihalometanos e os Riscos Potenciais à Saúde Pública**. Rio de Janeiro, 1994.

Disponível em: <https://www.scielo.org/pdf/csp/1994.v10n1/99-110/pt> Acesso em: 05 de maio de 2019

MINISTÉRIO DA SAÚDE (BR). **Portaria N° 2.914, de 12 de Dezembro de 2011.** Brasil, 2011. Disponível em: http://bvsm.sau.gov.br/bvs/sau/legis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html Acesso em: 09 de maio de 2019

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Programa Água para Todos.** Brasil, 2016. Disponível em: <http://mds.gov.br/area-de-imprensa/noticias/2016/marco/cisternas-garantem-agua-seguranca-alimentar-e-vida-digna-aos-sertanejos/pt-fev2016.png/view> Acesso em: 30 de abril de 2019.

OLIVEIRA, C. S., **Avaliação da eficiência do método SODIS com e sem uso de concentrador solar para desinfecção de água de cisterna localizada na zona rural de Alagoa Nova – PB.** Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental;

PAULA, L. M. **Avaliação da qualidade da água e autodepuração do Rio Jordão, Araguari (MG).** 2011. 196 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2011. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/14157> Acesso em: 15 de maio de 2019.

RUSKIN, R.H. **Armazenagem de Água em Cisternas** . Revista Água Latino america, jul/ago, vol.1, n.2, Tucson, 2001. 22 – 25p.

SANTOS, Anna Luisa Beserra. **Viabilidade da desinfecção solar da água aplicada em cisternas do semiárido baiano.** Universidade Federal da Bahia (UFBA). Salvador, 2018.

SILVA, Daniel Rodrigues da; ARAÚJO, Weliton Eduardo Lima de. **Uso da radiação solar na desinfecção microbiológica da água de uma cisterna de uso doméstico.** Faculdade de Engenharia Ambiental; Universidade de Rio Verde, Rio Verde – Goiás 2014.

SONG, T.; KIM, K. **Development of a water quality loading index based on water quality modeling.** Journal of Environmental Management, 2009. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19101072> Acesso em: 15 de maio de 2019.

EATON, A.D., CLESCERI, L.S., GREENBERG, A.E.(eds.). **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.** 21st ed. Washington: American Public Health Association (A.P.H.A.), American Water Works Association (A.W.W.A.), Water Environment Federation (W.E.F.), 2005.

TERCINI, João Rafael Bergamaschi. **Modelagem da Qualidade da Água.** Integrando Rio e Reservatório. Escola Politécnica de São Paulo. São Paulo, 2014. Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande – PB, 2014. Rio Verde, Rio Verde – Goiás, 2013.

VON SPERLING, M. V. **Estudos e modelagem da qualidade da água de rios.** Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais. 2007.

WEATHER SPARK. **Condições Meteorológicas Médias de São Gonçalo do Amarante – CE.** Disponível em: < <https://pt.weatherspark.com/y/31119/Clima-caracter%C3%ADstico-em-S%C3%A3o-Gon%C3%A7alo-do-Amarante-Brasil-durante-o-ano>> Acesso em: 30 de abril de 2019.

WEGELIN, M; MEIERHOFER, R. **Desinfecção Solar da Água: Guia de Aplicação do SODIS.** Instituto Federal Suíço de Ciência e Tecnologia Aquática – EAWAG. Departamento de Saneamento e água para países em desenvolvimento – SANDEC, 2002.

ANEXO

1 – Anexo I da Portaria N° 2.914 do Ministério da Saúde, que dispõe sobre os padrões microbiológicos da água para consumo humano.

ANEXO I					
Tabela de padrão microbiológico da água para consumo humano					
Tipo de água		Parâmetro		VMP ⁽¹⁾	
Água para consumo humano		Escherichia coli ⁽²⁾		Ausência em 100 mL	
Água tratada	Na saída do tratamento	Coliformes totais ⁽³⁾		Ausência em 100 mL	
	No sistema de distribuição (reservatórios e rede)	Escherichia coli		Ausência em 100 mL	
		Coliformes totais ⁽⁴⁾	Sistemas ou soluções alternativas coletivas que abastecem menos de 20.000 habitantes		Apenas uma amostra, entre as amostras examinadas no mês, poderá apresentar resultado positivo
			Sistemas ou soluções alternativas coletivas que abastecem a partir de 20.000 habitantes		Ausência em 100 mL em 95% das amostras examinadas no mês.

NOTAS: (1) Valor máximo permitido.
 (2) Indicador de contaminação fecal.
 (3) Indicador de eficiência de tratamento.
 (4) Indicador de integridade do sistema de distribuição (reservatório e rede).

APÊNDICE

Imagem 01 – Vista lateral da cisterna e da bomba manual na qual é feita o repuxo da água.



Imagem 2 – Garrafa na qual a amostra de água do Aqualuz era coletada. Na imagem, a garrafa está cheia, recém coletada.



Imagens 3 e 4 – Procedimento de verificação da temperatura da água logo após a realização da coleta. No fundo, garrafas de amostras anteriores e a agenda onde eram realizadas as anotações.

