



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DO PARÁ – UFOPA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA DAS ÁGUAS – ICTA
BACHARELADO INTERDISCIPLINAR EM CIÊNCIAS E TECNOLOGIA DAS
ÁGUAS**

**ALESSANDRO SANTOS DE VASCONCELOS
REINILZA CARDOSO DOS SANTOS**

**DESINFECÇÃO DE ÁGUA POR RADIAÇÃO SOLAR NO MUNICÍPIO DE
SANTARÉM**

**SANTARÉM – PA
2022**

**ALESSANDRO SANTOS DE VASCONCELOS
REINILZA CARDOSO DOS SANTOS**

**DESINFECÇÃO DE ÁGUA POR RADIAÇÃO SOLAR NO MUNICÍPIO DE
SANTARÉM**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao componente curricular Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Bacharelado Interdisciplinar em Ciências e Tecnologia das Águas, do Instituto de Ciências e Tecnologia das Águas, da Universidade Federal do Oeste do Pará, como requisito parcial para aprovação no componente.

Orientador (a): Dra. Graciene do Socorro Taveira Fernandes

**SANTARÉM – PA
2022**

**Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas – SIBI/ UFOPA**

S237d Santos, Reinilza Cardoso dos
Desinfecção de água por radiação solar no município de Santarém./ Reinilza Cardoso dos Santos e Alessandro Santos de Vasconcelos. – Santarém, 2022.
41 p.: il.
Inclui bibliografias.

Orientadora: Graciene do Socorro Taveira Fernandes.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal do Oeste do Pará, Instituto de Ciências e Tecnologia das Águas, Curso Bacharelado Interdisciplinar em Ciências e Tecnologia das Águas.

1. Desinfecção. 2. Radiação solar. 3. SODIS. I. Vasconcelos, Alessandro Santos de. II. Fernandes, Graciene do Socorro Taveira, *orient.* III. Título.

CDD: 23 ed. 628.166 2

AGRADECIMENTOS

Primeiramente à Deus pela sabedoria, pois foi um elemento importante na construção desse trabalho.

À nossa orientadora Dr^a Graciene do Socorro Taveira Fernandes.

Ao prof. Dr. Nelson Amorim, pela colaboração no fornecimento do coletor colar e acompanhamento para a confecção dos itens para o sistema de desinfecção que nós utilizamos nesta pesquisa.

Ao laboratório LABAC e a discente Ana Célia, pelo suporte nas análises bacteriológicas no decorrer do trabalho.

Aos amigos, em especial a Bruna Shaienny e Alynekesia Feitosa.

Aos familiares, pelo apoio e energias positivas.

RESUMO

A água é um elemento essencial para a manutenção da vida e dependemos dela para sobreviver, seja direta ou indiretamente. Uma das preocupações de órgãos reguladores da água e da saúde é sobre a qualidade da água para o consumo humano e seus diversos usos que segundo a OMS (Organização Mundial da Saúde) cerca de 60% da população mundial recebe a água com a qualidade fora dos padrões estabelecidos. Por conta disso, várias estratégias de desinfecção têm sido testadas para o tratamento da água, para que tenha uma qualidade adequada para consumo, porém, muitos desses processos de desinfecção têm o seu custo alto, com isso, poucas pessoas têm acesso. O objetivo deste trabalho foi avaliar a eficiência da desinfecção da água por meio de radiação solar utilizando um coletor solar com materiais baixo custo e fácil acesso. Para a desinfecção foi utilizada água ambiental, coletada diretamente do rio Tapajós com aferição do pH e temperatura. O ensaio de desinfecção foi em Santarém, região oeste do Estado do Pará, nas dependências da Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA), os experimentos foram feitos em um dia de sol, com início cerca de 10:00 da manhã até 16:00 horas, a temperatura local estava entre 30° e 32°C. A água ambiental foi coletada em recipientes plásticos esterilizados, em seguida foi transferida para um reservatório para que o processo de desinfecção fosse iniciado. No decorrer do experimento foram feitas 4 coletas de água, sendo uma da água em situação ambiente (32 °C) e as demais em diferentes temperaturas (40 °C, 45 °C e 49 °C). Após as análises microbiológicas observou-se que a melhor temperatura foi de 40 °C, apresentando a menor contagem de bactérias heterotróficas, deixando a água no padrão microbiológico que é estabelecido pela portaria nº 2.914/2011 do Ministério da Saúde, com isso, o sistema de desinfecção é tecnicamente viável, pois ocorre a inativação microbiana.

Palavra-chave: Desinfecção. Radiação solar. SODIS. Bactérias.

ABSTRACT

Water is an essential element for the maintenance of life and we depend on it to survive, either directly or indirectly. One of the concerns of water and health regulatory bodies is about the quality of water for human consumption and its various uses that according to the WHO (World Health Organization) about 60% of the world population receives water with quality outside the established standards. Because of this, several disinfection strategies have been tested for the treatment of water, so that it has an adequate quality for consumption, however, many of these disinfection processes have their high cost, with this, few people have access. The objective of this work was to evaluate the efficiency of water disinfection by means of solar radiation using a solar collector with low cost materials and easy access. Environmental water was used for disinfection, collected directly from the Tapajós River with pH and temperature measurement. The disinfection test was carried out in Santarém, western region of the State of Pará, on the premises of the Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA), the experiments were carried out on a sunny day, starting around 10:00 am until 4:00 pm: 00 hours, the local temperature was between 30° and 32°C. Environmental water was collected in sterilized plastic containers, then transferred to the reservoir so that the disinfection process could begin. During the experiment, 4 collections were made, one of the water at ambient conditions (32 °C) and the others at different temperatures (40 °C, 45 °C and 49 °C). After the microbiological analysis, it was observed that the best temperature was 40 °C, presenting the lowest count of heterotrophic bacteria, leaving the water in the microbiological standard that is established by Ordinance No. disinfection is technically feasible, as microbial inactivation occurs.

Keyword: Disinfection. Solar radiation. SODIS. Bacteria.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Padrão de qualidade de água para o consumo humano.....	21
Tabela 2 - Contagem de bactérias heterotróficas (UFC/mL), pH e temperatura da água durante o ensaio de desinfecção.....	31

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Sistema básico de aquecimento convencional.....	24
Figura 2 - Recipientes utilizados para coleta da água ambiental.....	25
Figura 3 - Coleta da água ambiental a ser usada no ensaio de desinfecção pela luz solar.....	26
Figura 4 - Aferição de temperatura e pH, durante a coleta da água para ensaio de desinfecção pela luz solar.....	26
Figura 5 - Estrutura do coletor solar utilizado no ensaio de desinfecção da água...	26
Figura 6 - Estrutura do reservatório para água utilizado no ensaio de desinfecção.....	27
Figura 7 - Estrutura do reservatório com água, ligada ao coletor solar durante o processo de desinfecção pela exposição da luz solar.....	28
Figura 8 - Variação da temperatura em relação ao tempo de exposição à radiação solar durante o ensaio de desinfecção da água.....	29

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	OBJETIVOS.....	14
2.1	Objetivo geral	14
2.2	Objetivos específicos.....	14
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	15
3.1	Abastecimento de água no Brasil	15
3.2	Problema de água potável	16
3.3	Indicadores de qualidade	16
3.3.1	Indicadores físicos da água.....	16
3.3.1.1	Turbidez	16
3.3.1.2	Cor.....	17
3.3.1.3	Temperatura.....	17
3.3.1.4	Sabor e odor.....	17
3.3.2	Indicadores química da água	18
3.3.2.1	Potencial hidrogeniônico (pH)	18
3.3.2.2	Oxigênio dissolvido (OD).....	18
3.3.2.3	Dureza.....	19
3.3.2.4	Demanda bioquímica de oxigênio (DBO)	19
3.3.2.5	Demanda química de oxigênio (DQO).....	19
3.3.3	Indicadores biológicos da água	20
3.3.3.1	Algas	20
3.3.3.2	Coliformes	20
3.4	Qualidade e potabilidade da água.....	21
3.5	Métodos de desinfecção.....	22
3.6	Energia Solar	23
3.7	Coletor Solar	24
4	MATERIAIS E MÉTODOS	25

4.1	Do local, das amostras e a coleta da água	25
4.2	Do coletor solar e do ensaio de desinfecção	26
4.3	Da análise microbiológica	28
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
5.1	Temperatura	29
5.2	Coleta de dados	29
5.3	Análise microbiológica	30
6	CONCLUSÃO	33
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	35

1 INTRODUÇÃO

Ao longo dos anos têm se falado da importância da água como um recurso natural indispensável para a humanidade. No entanto, considerando seu uso inadequado, ocupação do solo em bacias hidrográficas entre outros fatores, muitas são as consequências negativas. O processo de urbanização e o aumento populacional, são fatores que tem contribuído para alterações físicas, químicas e biológicas, devido ao uso irracional dos recursos naturais e à contaminação por despejo de resíduos domésticos e industriais nos corpos hídricos (PAREDES, 2016).

Sendo assim, torna-se imprescindível controlar e exigir qualidade para água, por meio de regulamentos técnicos específicos e legislações que garantam saúde e bem-estar à população humana e animal (MORAIS *et al.* 2016). Este controle é realizado por intermédio de análises que investiga a qualidade da água, tanto por ensaios físico-químicos (cor, turbidez, condutividade elétrica, temperatura, pH, alcalinidade, dureza total, ferro, cloretos, oxigênio dissolvido, oxigênio consumido, cloro residual livre, sólidos totais, amônia), quanto por métodos microbiológicos (coliformes totais e termotolerantes e bactérias mesófilas aeróbias), conforme às Resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama), a de números 430/2011 (BRASIL, 2011a) e 396/2008 (BRASIL, 2008) e a portaria do Ministério da Saúde nº 2914/2011 (BRASIL, 2011b).

Conforme Hornink (2016) a água além do frequente uso para as atividades básicas do cotidiano humano, apresenta propriedades químicas importantes para o desenvolvimento de todas as formas de vida no planeta necessário para a subsistência do homem. A água viabiliza inúmeras reações que ocorrem nos organismos, permitindo que a vida que conhecemos seja possível. Sua presença e maior ou menor quantidade e sua distribuição diferencial ao longo do tempo e espaço constituem um dos principais fatores para caracterização do ambiente (HORNINK, 2016).

De muitas formas a água pode afetar a saúde do homem, através da ingestão direta, na preparação de alimentos, na higiene pessoal, na agricultura, na higiene

do ambiente, nos processos industriais ou nas atividades de lazer. Desta forma, alguns fatores podem promover a presença de organismos parasitários e ou patogênicos que podem causar doenças através do uso da água contaminada.

Conforme Paredes (2016) o despejo final e inadequado de resíduos sólidos urbanos de efluentes líquidos, representam fontes de contaminação das águas, por substâncias orgânicas e inorgânicas, assim como, organismos patogênicos. Aproximadamente 80% de todas as doenças humanas estão relacionadas à água não tratada, ao saneamento precário e a falta de conhecimento básico de higiene e do desconhecimento dos mecanismos básicos das doenças. Percebe-se, portanto, a necessidade da aplicação de métodos de tratamento das águas de consumo e efluentes (RODRIGUES et al. 1993).

Os principais agentes biológicos presentes nas águas contaminadas são as bactérias patogênicas, os vírus e os parasitas. As bactérias patogênicas presentes na água e alimentos constituem uma das principais fontes de morbidade para o homem. Estes microrganismos são responsáveis por numerosos casos de enterites, diarreias infantis e doenças epidêmicas como a febre tifóide, com resultados frequentemente letais. Entre os vírus mais comumente encontrados nas águas contaminadas por dejetos humanos, estão os da poliomielite e da hepatite infecciosa. Dentre os protozoários parasitas destaque se dá para *Entamoeba histolytica*, causadora da amebíase que pode levar a complicações, inclusive para o sistema hepático. Este protozoário é frequentemente encontrado, em países de clima tropical e em locais onde existem más condições sanitárias (WHO, 1996).

As bactérias heterotróficas são definidas como microrganismos que requerem carbono orgânico como fonte de nutrientes para seu crescimento e para a síntese de material celular. Concentrações muito elevadas dessas bactérias podem deteriorar a qualidade da água, provocando odores e sabores desagradáveis (BRASIL, 2013). Embora a maioria das bactérias patogênicas sejam heterotróficas a contagem total desse grupo bacteriano não diferencia espécies em patógenos e não patógenos. Desta forma, é importante que a população de bactérias seja mantida sob controle, pois o aumento da população deste microrganismo na água pode indicar riscos à saúde do consumidor (WHO, 2010).

Uma forma eficiente de fazer o controle de populações bacterianas em água é a desinfecção. Esse processo consiste na destruição ou inativação de parte da população de microrganismos patogênicos e não patogênicos, e é usualmente conseguida com o uso de agentes químicos e físicos, entre eles está a radiação, e por meios mecânicos (CHERNICHARO *et al.* 2001).

O sistema de desinfecção solar consiste na exposição da água ao sol em recipientes que possibilitem a passagem da radiação, geralmente, garrafas PET (Polietileno Tereftalato). Tanto a radiação UVA (Ultravioleta A) quanto a radiação infravermelha são responsáveis pela desinfecção da água.

Esta alternativa tem a vantagem de utilizar matérias descartáveis com garrafas PET, de acordo com a metodologia proposta pelo projeto SODIS (2003). Este método consiste em tratar a água através do efeito sinérgico da radiação solar e temperatura, eliminando microrganismos que podem ser causadores de doenças (SODIS, Notas técnicas Nº 9, 2003).

Este processo vem sendo estudado desde a década de 70 no Líbano e os resultados concluem que a exposição ao calor e as radiações ultravioletas, provenientes da radiação solar é um eficiente método de desinfecção com comprovada a capacidade de eliminação de patógenos (WEGELIN *et al.*, 1994) e sem nenhuma alteração nas características químicas e sensoriais da água.

De acordo com o guia de aplicações do SODIS EAWAG & SANDEC (2002) a água a uma temperatura de 30°C, necessita de 555 w.h/m⁻² (radiações solares de comprimento de onda entre 350 - 450 nm, por 6 horas de meia-latidade do sol de verão de meio-dia) para alcançar uma redução de 3 log de coliformes fecais. Abaixo desta temperatura, somente a radiação uva terá efeito. Se a temperatura da água chegar a 50°C, há a combinação da radiação uva e temperatura, e para a redução de 3 log de coliformes fecais são necessários apenas 140 w.h/m², equivalente a um tempo de exposição de uma hora. Sabendo que diferentes quantidades de radiação são emitidas no globo terrestre, é necessário avaliar as eficiências de inativação do sistema SODIS de forma específica a cada região, e ainda, observar as variações decorrentes dos períodos do dia e das estações do ano, respeitando as peculiaridades climáticas da região.

Desta forma, este trabalho tem como objetivo avaliar a a eficiência da desinfecção da água por meio de radiação o solar utilizando um coletor solar com materiais baixo custo e fácil acesso.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar a eficiência da desinfecção da água por meio de radiação solar utilizando um coletor solar com materiais baixo custo e fácil acesso.

2.2 Objetivos específicos

- Quantificar as bactérias mesófilas totais imediatamente após a coleta da água antes de ser exposta a radiação solar;
- Quantificar as bactérias heterotróficas totais nas temperaturas de 40° C, 45 °C e 49 °C;
- Comparar a quantidade de bactérias nas amostras analisadas, de acordo com o tempo e temperatura;
- Acompanhar a temperatura ao longo do tempo de ensaio máxima de exposição a luz solar.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Abastecimento de água no Brasil

O Brasil é considerado um dos países com maior disponibilidade de água do planeta, no entanto, grande parte da água disponível está concentra em uma área geográfica com densidade populacional baixa. Nos grandes centros urbanos, com crescente demanda por água, é comum a ocorrência de escassez. Até início do século XX para avaliação de qualidade e controle, eram consideradas as seguintes características para água: límpidas, ausência de cheiro e gosto agradável (COSTA, 2010).

A água está entre os recursos naturais que mais preocupam pesquisadores da área, se não houverem mudanças efetivas para seu uso, pelo grande risco de crise que o planeta pode vir a passar (BOTELHO *et al.* 2012). A gestão dos recursos hídricos no Brasil sofreu grandes mudanças depois da aprovação da Lei nº 9.433, em janeiro de 1997, que irá tratar da Política Nacional de Recursos Hídricos, criando o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (BRASIL, 1997).

O Brasil, detém cerca de 12% da água doce disponível no planeta. Mesmo com a disponibilidade e com os avanços que aconteceram nas últimas décadas, existe ainda, uma significativa parcela da população sem acesso a água tratada (CARMO *et al.* 2013). Para que esteja em condições próprias para o consumo, a água deve estar isenta de contaminantes químicos e biológicos, sejam eles vírus, bactérias, protozoários, pois a presença destes agentes, pode ocasionar inúmeras doenças e a depender do paciente pode levar a óbito (BERNARDES *et al.* 2010; DE MELO, 2019).

O aumento populacional que na maioria das cidades ocorreu nas últimas décadas, exerceu uma pressão sobre a demanda per capita da água, e o consumo médio per capita para cidades de 5 mil até > 100 mil habitantes, pode variar de 100 a 300 litros de água por dia, respectivamente (DE SOUSA GUEDES *et al.* 2016). O que torna cada vez mais importante monitorar e gerenciar os recursos naturais, bem como criar estratégias menos custosas e mais acessíveis as populações.

3.2 Problema de água potável

O problema da escassez de água no mundo é agravado pela desigualdade social, acelerado crescimento da população, falta de manejo e o uso incorreto dos recursos naturais. Em regiões como as do continente africano, a situação da falta de água tem sido um problema recorrente.

Ainda que seja um fator limitante para a manutenção da vida, as diversas práticas humanas têm levado a uma deterioração da sua qualidade e quantidade, influenciando diretamente a disponibilidade de água potável para o consumo humano (GAIO, 2016). A utilização da água vai além do consumo direto, participa do cotidiano das pessoas, no preparo de alimentos, na limpeza de utensílios domésticos, no banho e outros usos não menos importantes (PONTES, 2003).

Os países desenvolvidos conseguem, na maioria das vezes, atender as necessidades da sua população quanto a distribuição de água, por meio de um sistema coletivo, porém, isso não é o que ocorre com outros países que apresentam problemas significativos quando se fala no acesso a água potável (PONTES; SCHRAMM, 2004). Nesses últimos, há um aumento considerável de impacto na saúde da população visto que a qualidade da água fica comprometida, colocando em risco especialmente crianças menores de 5 anos e idosos, mais susceptíveis a infecções.

3.3 Indicadores de qualidade

Segundo GIRÃO *et al* (2007) a necessidade de um controle mais eficiente com relação a qualidade da água, fez com que fossem criadas agências e órgãos regulamentadores, para o monitoramento dos padrões indicadores da água.

Para que haja a caracterização da água, são determinados diversos parâmetros indicadores da qualidade, entre eles estão as características físicas, químicas e biológicas, que ser afetadas por uma série de processos que ocorrem em um corpo hídrico.

3.3.1 Indicadores físicos da água

3.3.1.1 Turbidez

A turbidez é a presença de partículas em suspensão na água, podendo partícula orgânica ou inorgânica, que são finamente divididos, de fonte natural ou não, e não traz inconvenientes sanitários diretos (HENNING *et al.* 2014). O comportamento dessas partículas no meio dispersante está intimamente ligado às suas dimensões, se tornando diferente conforme soluções, dispersões coloidais ou suspensões (DI BERNARDO, 2004).

3.3.1.2 *Cor*

A cor da água, é provocada por compostos orgânicos de origem vegetal que por ação de microrganismos e resíduos de atividades humanas, e com a decomposição da matéria orgânica natural, que resultam na formação de substâncias húmicas são classificadas de acordo com a solubilidade em diferentes condições (PAVANELLI, 2001).

A coloração da água, pode estar diretamente associada ao grau de redução de intensidade que a luz sofre ao atravessar, pela presença de sólidos dissolvidos, e sua alteração pode ser um dos sinais de contaminação quando houver presença de bactérias ou possíveis reações químicas que liberam substâncias (SAMPAIO *et al.* 2019).

3.3.1.3 *Temperatura*

A temperatura da água tem sua unidade usual o °C (grau Celsius) é considerada um dos parâmetros que influencia variáveis físicas, químicas e biológicas, além de ser capaz de alterar as propriedades naturais do líquido, (VIEIRA, 2019). Nesse caso, tal alteração caracterizada água em situação de poluição térmica (PERCEBON *et al.* 2005).

3.3.1.4 *Sabor e odor*

As características de sabor e odor da água podem ser consideradas em conjunto, pois através da sensação de sabor se origina o odor, tendo uma difícil avaliação por se tratar de sensações subjetivas. De modo geral, tais características

podem ser causadas por impurezas dissolvidas, de natureza orgânica, resíduos industriais, gases dissolvidos e outros (RICHTER; DE AZEVEDO NETTO, 1991). O sabor e odor estão associados a presença de substâncias químicas ou gases dissolvidos, por conta da atuação também, de microrganismos (SOARES *et al.* 2017). Segundo VAN SPERLING (2005), o padrão de potabilidade exige que a água seja 100% inodora para o consumo humano.

3.3.2 Indicadores química da água

3.3.2.1 *Potencial hidrogeniônico (pH)*

O pH é considerado um parâmetro operacional que tem por finalidade classificar, com isso, não tem relação com qualidade ou potabilidade da água. A variável química pH, pode ter como origem fonte natural ou antropogênica, e sua identificação se dá por meio de substâncias que aderem à água (DA COSTA RENOVATO *et al.* 2013).

A variação do pH ocorre entre 0 a 14, indicando a intensidade da acidez ($\text{pH} < 7,0$), a sua neutralidade ($\text{pH} = 7,0$) ou alcalinidade ($\text{pH} > 7,0$), sendo uma das ferramentas mais importantes e frequentes quando se faz a análise da água (PARRON *et al.* 2011).

3.3.2.2 *Oxigênio dissolvido (OD)*

A concentração de oxigênio dissolvido (OD) que da água, é uma variável importante para a vida aquática. Em um corpo d'água, o OD pode ser controlado por diversos fatores, entre eles estão a solubilidade do oxigênio em água, que seria a capacidade máxima de dissolução do gás (FIORUCCI; FILHO, 2005).

A origem do OD na água pode se dar em decorrência da fotossíntese da biota aquática ou no processo de difusão, que ocorre na interface que conhecemos como ar-água, com possibilidade de variação em sua concentração em virtude da temperatura, salinidade e pressão (FERREIRA *et al.* 2004).

3.3.2.3 Dureza

A dureza é uma medida que considera a presença de sais de metais alcalinos terrosos, onde predominam cátions de cálcio e de magnésio ou de outros metais como bário, ferro, manganês e entre outros (APDA, 2012).

Em termos de dureza em carbonato de cálcio (CaCO_3) a água pode ser classificada em água mole ($< 50\text{mg/l}$), água com dureza moderada ($50 - 150\text{mg/l}$), água dura ($150 - 300\text{mg/l}$) e água muito dura ($> 300\text{mg/l}$), segundo COSTA & FONSECA (2016).

3.3.2.4 Demanda bioquímica de oxigênio (DBO)

A quantidade de oxigênio necessário para que ocorra a oxidação (perda de elétrons) da matéria orgânica que se decompõe naturalmente sob condições aeróbicas corresponde a Demanda Bioquímica de oxigênio (DBO). Para o monitoramento e dimensionamento de sistemas de tratamentos biológicos, a análise da DBO é uma medida necessária, sendo referencial para a legislação e até mesmo para a verificação de impacto ambiental (DE MATOS *et al.* 2013).

3.3.2.5 Demanda química de oxigênio (DQO)

A Demanda Química de Oxigênio (DQO) reflete a quantidade de oxigênio que é consumida por materiais e substâncias orgânicas e minerais presentes na água, é um parâmetro utilizado como indicador da concentração de matéria orgânica tanto em águas residuais como superficiais, usado também no monitoramento de estações de tratamento para avaliar a contaminação e ou potencial poluidor de efluentes industriais (GRANER *et al.* 1998). A DQO é um parâmetro global, que é utilizado como indicador do conteúdo orgânico de águas residuárias e superficiais, sendo bastante utilizado no monitoramento de estações de tratamento de efluentes líquidos (AQUINO *et al.* 2006).

3.3.3 Indicadores biológicos da água

3.3.3.1 *Algas*

São organismos capazes de ocupar ambientes com luz e umidade, as algas podem ser encontradas em águas doces e salgadas (MARQUES; PINHEIRO, 2017). Algumas comunidades de algas respondem bem aos impactos de origem antrópicas, como o excesso de nutrientes e substâncias consideradas tóxicas, com isso, são bons indicadores de mudança na qualidade da água, ou mesmo como ferramentas de biorremediação (OSPINA ALVAREZ; PEÑA, 2004).

3.3.3.2. *Coliformes*

As bactérias pertencentes ao grupo coliformes são o indicador de contaminação fecal mais utilizado, sendo aplicada como parâmetro bacteriológico básico para definir padrões de monitoramento da qualidade das águas para uso humano (HARDOIM *et al.* 2005). Os coliformes podem ser subdivididos em coliformes totais ou ambientais e coliformes termotolerantes.

As bactérias coliformes totais ou ambientais, são bacilos Gram negativos, aeróbico ou anaeróbico facultativos, não esporulado, citocromo oxidase negativo, fermentadores de lactose com produção de gás a $35,0 \pm 0,5$ °C em um período que varia entre 24 e 48 horas. Esses coliformes fazem parte da microbiota residente do trato gastrointestinal de humanos e alguns outros animais (CONTE *et al.* 2004).

Os coliformes termotolerantes, são bactérias Gram negativas, resistentes ao calor, têm a mesma definição de bactérias coliformes totais, pois são capazes de fermentar lactose com produção de gás em 24 horas a temperatura ótima varia de 44,5 a 45,5 °C. As bactérias que pertencem a esse grupo pertencem a família Enterobacteriaceae, os principais gêneros são *Escherichia*, *Enterobacter*, *Citrobacter* e *Klebsiella*, encontrados comumente nas fezes, vegetação e solo, exceto *Escherichia coli*, que é encontrada apenas no intestino de humanos e animais de sangue quente (SALES *et al.* 2015)

A *Escherichia coli* é um dos microrganismos mais comuns que se encontra no corpo humano, principalmente no trato digestivo. *E. coli* não é um patógeno comum, porém algumas cepas produzem enterotoxinas que causam diarreia (DE

OLIVEIRA *et al.* 2015). A presença deste microrganismo na água a ser usada para consumo humano, oferece risco a saúde da população consumidora, o monitoramento de *E. coli* é um parâmetro mais restritivo por estar presente principalmente em corpos hídricos contaminados por fezes humanas.

3.4 Qualidade e potabilidade da água

Vários componentes são encontrados na água, que provêm do ambiente natural ou de alguma maneira foram introduzidos por atividade humana e ou animal. A água como um dos elementos essenciais para a manutenção da vida na Terra, pode ser encontrada em vários locais como rios, mares, oceanos, geleiras e outros.

Um dos grandes motivos para a população consumir a água proveniente de fontes minerais, é a preocupação com a qualidade, criando uma percepção de que ingerir água envasada e de remeter à um estilo de vida mais saudável (CUNHA *et al.* 2012).

Segundo MORAIS *et al.* (2016), vigora no país, a Portaria do Ministério da Saúde nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011, que dispõem sobre procedimentos de controle e vigilância referente a qualidade da água para o consumo humano e seu padrão de potabilidade. O documento estabelece que as partes envolvidas no controle e tratamento da água devem atuar de forma conjunta, fornecendo água à população, sempre dentro das qualidades higiênico-sanitária adequadas. Na Tabela 1 é mostrado o padrão de aceitação da água para o consumo humano.

Tabela 1 - Padrão de qualidade da água para o consumo humano

PARAMETRO	UNIDADE	VMP (VALORES MÁXIMOS POSSÍVEIS)
Alumínio	mg/L	0.2
Cloreto	mg/L	250
Cor Aparente	mg/L	15
Dureza	mg/L	500
Ferro	mg/L	0.3
Odor	mg/L	Não objetável
Gosto	mg/L	Não objetável

Fonte: (BRASIL, 2004).

3.5 Métodos de desinfecção

A oferta de água de qualidade adequada para o consumo humano, deve passar por diversas etapas, desde a captação (fontes) até a distribuição (residências ou ponto de consumo). Como um dos principais veículos de transmissão de agentes patogênicos, capazes de causar doenças como a febre tifoide, cólera e algumas verminoses, os cuidados com água consumida ou ofertada devem ser bem observados e monitorados os parâmetros da água (LOBO *et al.* 2009).

Como forma de evitar os riscos de infecções por patógenos a partir da ingestão da água, a desinfecção tem sido a técnica adotada como política pública desde o início do século XX, se tornando importante estratégia de promoção de saúde pública, demonstrada na teoria e na prática (BERTHOLINI; BELO, 2011). Segundo Felix (2010), a desinfecção é um processo de inativação e destruição de organismos patogênicos e demais microrganismos.

Em regiões onde não há água tratada, são adotadas alternativas para tratamento, preferencialmente a custo reduzido quanto a implantação e operação para oferecer uma condição de saneamento satisfatória (FLEURY *et al.* 2005).

Alguns métodos de desinfecção de água, aplica processos de tratamentos como barreiras químicas, filtração, processos químicos como a cloração e ionização, e têm trazido importantes contribuições para diminuir a mortalidade mundial por doenças veiculadas pela água (BRITO *et al.* 2015). Além destes, há diversos agentes desinfetantes utilizados com mesmo objetivo, como o cloro (hipoclorito de cálcio, cloreto de cal, hipoclorito de sódio, água sanitária), o ozônio e a radiação ultravioleta (UV), artificial ou natural (FELIX, 2010).

O processo de desinfecção utilizando a radiação UV já mostrou ser eficiente em efluentes, salas de laboratórios, alimentos, bebidas, piscinas, no reuso de água, na agricultura e outros (BARROSO; WOLFF, 2009). E vem sendo amplamente experimentado como alternativa para comunidade carentes e que não tem acesso ou que tem dificuldade em acessar a água potável.

3.6 Energia Solar

A energia solar, é a energia proveniente do sol, pode ser captada por diversas fontes tecnológicas como painéis fotovoltaicos, usinas heliotérmicas e aquecedores solares. Algumas fontes de energia, entre elas a eólica, energia dos oceanos e outras podem ser consideradas formas indiretas de energia solar, além disso, a radiação solar pode ser utilizada também como fonte de energia térmica, para aquecer fluidos e para a geração de potência mecânica ou elétrica, podendo ser ainda convertida em energia elétrica, por meio de determinados materiais, destacando o termoelétrico e o fotovoltaico (DA CUNHA KEMIRICH *et al.* 2016).

A distribuição da energia proveniente do sol sofre efeitos espaciais e sazonais, a região apropriada para o uso dessa tecnologia é entre a faixa de latitude 15°S e 35°N, em regiões semiáridas principalmente, por que em regiões chuvosas, entre latitudes 15°S e 15°N, o tempo de insolação diminui drasticamente (FELIX, 2010). Para a desinfecção de águas, a energia solar vem sendo utilizada em áreas rurais de países desenvolvidos, possibilitando a desinfecção da água captadas em mananciais e poços (PATERNIANI; SILVA, 2005).

A capacidade de desinfecção da radiação solar, pode ser influenciada pela qualidade da água e por alguns fatores como turbidez, temperatura, tempo de contato entre o agente desinfetante entre outros (FELIX, 2010; MONTEIRO *et al.* 2005).

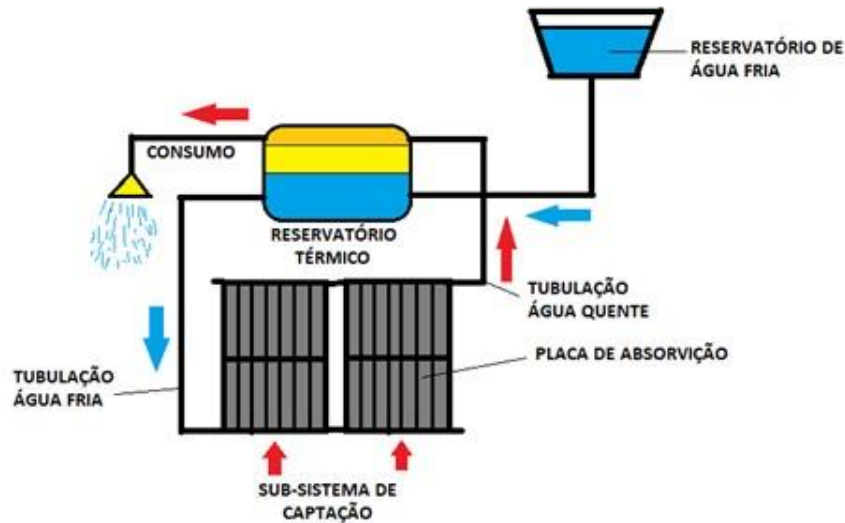
A turbidez é a redução que a luz irá sofrer ao atravessar a água, por conta da presença de partículas e substanciais, provocada principalmente por conta de ação de chuvas, que através de seus caminhos de escoamento no solo, carregam partículas de areia e argila (PAVANELLI, 2001). Águas com baixa turbidez permitem a penetração da luz solar até grandes profundidades, fazendo com que organismos fotossintetizadores possam crescer e produzir oxigênio (CEBALLOS, 1990).

A temperatura é considerada o fator que pode influenciar processos físicos, químicos e biológico que ocorrem na água (VIEIRA, 2019).

3.7 Coletor Solar

O coletor solar é o sistema responsável por captar e absorver a luz do sol, fundamental para aquecimento da água através de energia térmica. A Figura 1 ilustra o sistema básico de aquecimento solar convencional.

Figura 1 - Sistema básico de aquecimento convencional.



Fonte: Autores.

Vários modelos de coletores solares de baixo custo têm se destacado, utilizando garrafas PET e outros materiais mais acessíveis e menos custosos, como tubos e conexões de PVC. Para obter maior quantidade de calor, este sistema, deve ser pintado de preto, caixa de isopor substitui a caixa metálica, painel de absorção térmica e o vidro utilizado no sistema convencional (COIMBRA *et al.* 2008).

A Desinfecção Solar (SODIS), é um método de desinfecção de água que tem vantagem por ser de baixo custo, pela simplicidade do projeto, por ser uma solução eficaz, que inativa e reduz a carga microbiana, diminuindo as chances de contaminação e impactos negativos na saúde da população. Desta forma este trabalho consiste em testar a eficiência do sistema de desinfecção de água extraída diretamente do rio Tapajós, pela luz solar, utilizando um sistema construído com

materiais de fácil acesso, com possibilidade de ser oferecido as populações carentes de água potável e de qualidade aceitável para o consumo humano.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Do local, das amostras e da coleta da água

O experimento foi realizado nas dependências da Universidade Federal do Oeste do Pará no município de Santarém, do Estado do Pará, com latitude -2.43944 e longitude -54.6987. Segundo Uchôa (2011), a temperatura do ar média compensada da cidade de Santarém (temperatura máxima e mínima), apresenta valores que oscilam entre 25,9 e 26°C, sendo os valores médios das temperaturas extremas, variando entre 21,6 e 22°C (mínima) e 31,1 e 31,2°C (máxima), tendo uma umidade relativa anual considerada elevada, com valores entre 84,1 e 86% e insolação total anual em horas com valores entre 1900 e 2000 W/m².

Para a coleta da água ambiental foram esterilizados 3 recipientes plásticos (Figura 2) com álcool 70° por 30 minutos e depois lavados com água destilada estéril. A água utilizada no sistema de desinfecção, foi coletada no rio Tapajós, na praia da Sudam, no horário da manhã às 9 horas, no contra fluxo da corrente e a uma profundidade de 30 cm da lâmina d'água. Foi coletado um volume total de 60 litros e levados até o local onde foi instalado o ensaio para a realização do experimento (Figura 3). Durante a coleta foram aferidos medidas de pH e temperatura da água, com equipamento multiparâmetro portátil (Figura 4).

Figura 2 – Recipientes utilizados para coleta da água ambiental.



Fonte: Autores.

Figura 3 - Coleta da água ambiental a ser usado no ensaio de desinfecção pela luz solar.



Fonte: Autores.

Figura 4 - Aferição de temperatura e pH, durante a coleta da água para o ensaio de desinfecção pela luz solar.



Fonte: Autores.

4.2 Do coletor solar e do ensaio de desinfecção

O coletor solar utilizado para realização do trabalho foi construído com os seguintes componentes, garrafas PET, tubos e conexões de PVC e caixa isotérmica (isopor), materiais recicláveis, com uma estrutura total de 110 cm de comprimento e 45 cm de largura. As garrafas PET selecionadas tem o mesmo tamanho e circunferência para que a estrutura ficasse nivelada e recebesse a mesma quantidade de radiação em sua estrutura. O interior das garrafas é revestido com tetra pak pintados de preto, para que recebesse maior radiação. A Figura 5 mostra a estrutura do coletor solar.

Figura 5 - Estrutura do coletor solar utilizado no ensaio de desinfecção da água.



Fonte: Autores.

Para servir como reservatório para a água em desinfecção, foi utilizado uma caixa de isopor de 50 L, com um tamanho de 48 cm de comprimento e 38 cm de largura. Foi utilizado um multímetro da marca MINIPA (ET-1110-A), onde um termopar do tipo K foi usado para monitorar a temperatura da água quente que retorna para o reservatório (isopor) após aquecimento através do coletor solar. No reservatório foram feitas 4 conexões em sua estrutura, são elas: Conexão 1: Saída da água para o aquecedor solar; Conexão 2: Retorno da água quente após ser aquecida no aquecedor solar; Conexão 3: Saída para coleta de água quente; Conexão 4: Saída para coleta de água fria. A Figura 6 mostra a estrutura do reservatório térmico, que após desinfecção com álcool 70° e água destilada estéril, foi transferido cerca de 48l da água ambiental coletada do rio para realização do teste de desinfecção com luz solar. A Figura 7 mostra a estrutura do reservatório com água, ligada ao coletor solar durante o processo de desinfecção pela exposição da luz solar.

Figura 6 - Estrutura do reservatório para água utilizado no ensaio de desinfecção



Fonte: Autores.

Figura 7 - Estrutura do reservatório com água, ligada ao coletor solar durante o processo de desinfecção pela exposição da luz solar.



Fonte: Autores.

4.3 Da análise microbiológica

Para a análise microbiológica foi realizada a Contagem de bactérias heterotróficas totais, cerca de 48L foi introduzido e foi coletado 100mL de água, nomeadas como ambiente Am0 (água ambiental, antes de iniciar a exposição a luz solar), Am1 (temperatura 1), Am2 (temperatura 2) e Am3 (temperatura 3), esta última temperatura foi a máxima alcançada no ensaio.

A contagem da densidade total de bactérias heterotróficas cultiváveis foi realizada de maneira que 1mL de cada amostra de água foi dispensada em tubo de ensaio com 9ml de água peptonada estéril que corresponde a diluição 10^{-1} após a homogeneização em tubo de ensaio, foi transferido 1mL para outro tubo contendo água peptonada estéril onde se obteve a diluição 10^{-2} e assim sucessivamente até a diluição 10^{-5} . A inoculação foi feita em placa de petri utilizando a técnica de *pour plate* em duplicatas no meio de cultura Plate Count Agar (PCA-Kasvi®). Após a inoculação, as placas foram incubadas a temperatura de 35 °C por 24-48h, seguindo-se a contagem total das colônias formadas onde são contadas (CETESB, 2006). Os valores das contagens foram expressos em Unidades Formadoras de

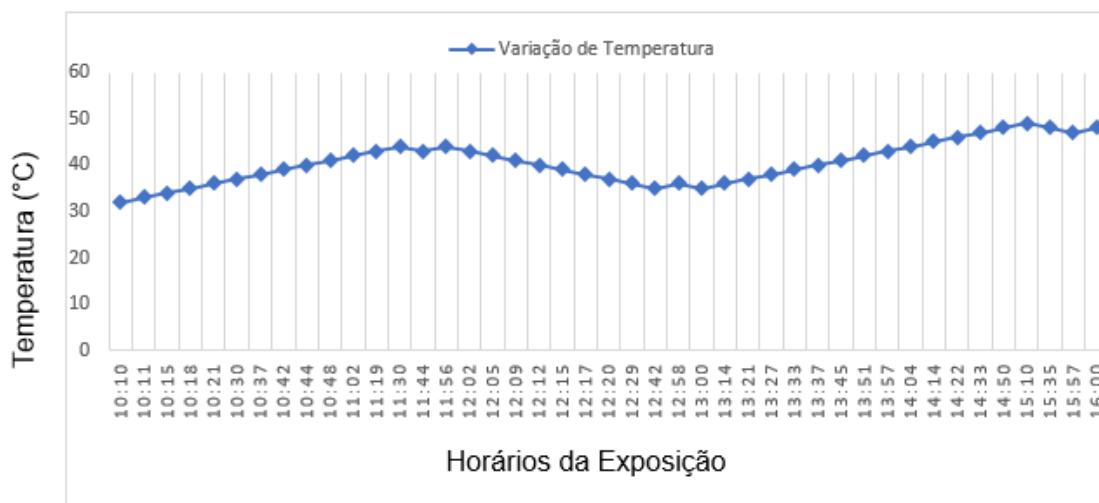
Colônias (UFC) por mL.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Temperatura

No dia do experimento, a temperatura na cidade de Santarém variou entre 29° a 32°C, sendo acompanhada em um aplicativo de previsão do tempo. Dentro do reservatório houve oscilações na temperatura da água durante as 6 horas do ensaio de desinfecção. A figura 8 apresenta a flutuação da temperatura no reservatório exposto a radiação solar em relação ao tempo.

Figura 8 – Variação da temperatura em relação ao tempo de exposição à radiação solar durante o ensaio de desinfecção da água



Fonte: Autores

5.2. Coleta de dados

Foi observado que nas primeiras horas do experimento houve um aumento significativo na temperatura da água dentro do reservatório, chegando a atingir, as 11 horas e 30 minutos, 44 °C. Em seguida, das 12 horas e 2 minutos até as 12 horas e 42 minutos, a temperatura teve uma queda chegando a 35 °C. Nesse intervalo de tempo, observou-se uma mudança na direção e força do vento no local, o que

possivelmente influenciou na queda da temperatura da água no reservatório. A partir das 12 horas e 58 minutos a temperatura começou a subir novamente, alcançando uma temperatura máxima de 49 °C as 15 horas e 10 minutos. A partir do horário que foi registrado o pico máximo, a temperatura da água sofreu oscilação entre 48 °C e 47 °C até as 16:00h, quando o experimento foi encerrado.

Embora o método de desinfecção SODIS mostre eficiência, ainda existem limitações, como presença de nuvens e latitude, o medo de lixiviação em garrafas plásticas ou PET, turbidez da água e aceitação da comunidade (BORDE *et. al.* 2016)

O tempo de exposição da garrafa PET depende da localização e das condições climáticas, mas áreas entre 30 graus de latitude Norte e Sul são mais de 1,3 x mais altas que o limite requerido para SODIS (LUZI *et. al.* 2016). Esse é um parâmetro que precisa ainda ser definido para a região de Santarém. O autor cita também que, condições favoráveis, com clima quente e com uma forte irradiação, pode fazer com que a desinfecção completa seja alcançada mais rapidamente, em menos de 6 horas, que é o tempo de exposição recomendado. No estudo de Cavalline *et. al.* (2018) a partir de duas horas de exposição, foi possível observar após as análises, que houve inativação significativa de microrganismos.

5.3. Análise microbiológica

A primeira amostra foi da água em situação natural (água ambiental), antes de iniciar o ensaio de desinfecção, apresentou um número incontável de bactérias heterotróficas. Após 35 minutos de exposição, com temperatura de 40 °C a amostra de água apresentou 140 UFC/mL, a menor contagem entre as amostras analisadas. Na marca de 45 °C de temperatura, após 4 horas de exposição, a água apresentou 350 UFC/mL. Segundo a portaria nº 2.914/2011 do Ministério da Saúde, a contagem de bactérias heterotróficas não deve exceder 500 unidades formadoras de colônia por 1 mL de amostra (500 UFC/mL). A Tabela 2 mostra a contagem das amostras em relação a temperatura. Na temperatura máxima obtida para o dia do ensaio de desinfecção, que foi de 49 °C, após 6 horas, a amostra de água apresentou

contagem de 430 UFC/mL, sendo a maior contagem entre as quatro amostras analisadas.

Tabela 2 - Contagem de bactérias heterotróficas (UFC/mL), pH e temperatura da água durante o ensaio de desinfecção.

Temperatura	pH	Bactérias heterotróficas (UFC/mL)
32 °C	8,7	Incontáveis
40 °C	8,8	140
45 °C	8,3	350
49 °C	7,9	430

Fonte: Autores.

Com os resultados obtidos na Tabela 2, foi possível observar que após o início da exposição à radiação solar, a contagem das bactérias heterotróficas não excedeu 500 UFC/mL (Unidade Formadora de Colônias), como recomenda a portaria nº 2.914/2011 do Ministério da Saúde. Considerando que a água que entrou no sistema de desinfecção, após o cultivo apresentou um número incontável de bactérias, podemos observar que a melhor temperatura para redução da população de bactérias foi 40 °C.

O pH da água variou entre 8,7 e 7,9 isso é possível observar (Tabela 2), pois a medida que a temperatura aumenta, ocorre uma ligeira acidificação e aumento na contagem de bactérias. Tanto a mínima quanto a máxima medida de pH, enquadra a água em conformidade com a legislação brasileira vigente. A relação entre a quantidade de bactérias e as variáveis físico-químicas da água, são estreitas. Segundo Andrade et al (2016) aumento entre o pH e temperatura afeta diretamente a quantidade de colônias de bactérias na água.

Em relação à temperatura, este parâmetro pode ter grande influência no crescimento de microrganismos. Segundo Monteiro (2003) grande parte dos microrganismos têm uma temperatura ótima de crescimento, significando que a uma determinada temperatura, a velocidade de duplicação dos microrganismos é considerada maior, no entanto, nem todos os microrganismos crescem na mesma faixa de temperatura. Segundo ALCÂNTARA (2007) & ARAÚJO (2011), o pH é

considerado um parâmetro muito importante, pois pode influenciar muitas reações químicas e bioquímicas, afetando várias populações de microrganismos. Cada microrganismo possui uma faixa específica de pH onde o seu crescimento é favorável, havendo um valor considerado ótimo, no qual a taxa de crescimento é máxima (ARAÚJO, *et al.*, 2015).

O mecanismo funciona danificando as proteínas e o DNA dos organismos, induzida por radiação na faixa UVB, UVA e menor faixa visível. A radiação UVA não afeta diretamente o RNA ou DNA dos microrganismos, mas causa falhas que danificam o DNA ou as proteínas dos microrganismos. Por outro lado a radiação UVB inativa o microrganismo por degradação do DNA ou RNA.

O calor que o sistema recebe danifica a estrutura molecular, é conhecido como inativação térmica ou pasteurização, processo que é bastante utilizado na indústria de alimentos e bebidas. No estudo de Paterniani *et al.* (2005), utilizando um concentrador solar, aqueceu a água em até 70 °C, chegando a pasteurização solar, inativando 100 % das bactérias. No sistema de desinfecção que tem como coletor solar a garrafa PET, é sabido que as mesmas absorvem a maior parte da radiação (LUZI *et al.* 2016).

Depois das análises feitas e das contagens das bactérias heterotróficas realizadas, foi possível observar que houve a presença de bactérias em todas as amostras analisadas, porém, quando comparamos a primeira amostra, da água em situação ambiente, com as demais, com temperatura acima de 40°C, observou-se uma diminuição significativa no número de bactérias heterotróficas.

As bactérias heterotróficas são todas aquelas bactérias que usam nutrientes orgânicos para o crescimento. Pois essas bactérias estão presentes em diversos tipos de ambientes inclusive na água. Além disso, para elas apresentarem risco à saúde, devem estar presentes em grande quantidade.

Levando em consideração o tempo de exposição, a amostra de água com temperatura de 40 °C apresentou uma contagem de 140 UFC/mL, a menor contagem entre as amostras que foram analisadas, ficando dentro dos padrões estabelecidos pela portaria nº 2.914/2011 do Ministério da Saúde, não excedendo 500 UFC/mL, tendo uma baixa significativa no número de bactérias quando

comparada ao resultado da amostra de água ambiental, que apresentou um número incontável de bactérias heterotróficas, excedendo os 500 UFC/mL.

Segundo LUZI *et al.* (2016) a água em temperaturas acima de 45 - 50°C, ocorre a inativação térmica e a radiação UVA, tanto uma quanto a outra aumentam a taxa de inativação, entretanto, nossos resultados não corroboraram os apresentados pelos autores. Segundo estes autores, por haver uma irradiação contínua, proteínas estruturais e enzimas sofrem danos, levando à inativação e morte celular, bem evidenciado para bactérias, mais que para vírus e protozoários (LUZI *et al.* 2016)

6 CONCLUSÕES

- Durante as análises da contagem das bactérias, foi possível observar que a radiação solar, presença de nuvens e vento tiveram influência na desinfecção da água;

- O sistema de desinfecção de água por energia solar é tecnicamente viável, uma vez que ocorre a inativação microbiana, porém outras análises são necessárias com monitoramento de parâmetros como nuvens, vento, entre outros;

- A temperatura de 40 °C foi para este ensaio a melhor temperatura quando se observa a contagem de bactérias heterotróficas, deixando a água no padrão para esta variável estabelecido pela portaria nº 2.914/2011 do Ministério da Saúde.

- As amostras com temperaturas de 45 °C e 49 °C apresentaram uma alta nas contagens, sendo 350 UFC/mL na amostra de (45 °C) e 430 UFC/mL na de (49 °C), porém não excedendo os 500 UFC/mL como preconizado limite máximo pela legislação brasileira.

- O aumento de bactérias heterotróficas observado pelas contagens, tem relação com temperatura e oferta de nutrientes, e com expressiva competição de alguns de bactérias ambientais que fazem parte da comunidade.

Embora o método SODIS seja comprovadamente eficaz em comunidades de baixa renda como estratégia que promove melhoria na qualidade de vida, ainda existem preocupações, atribuídas à eficácia deste método. Nesse sentido, são importantes a observação de variáveis como presença de nuvens e latitude, o receio da população quanto a lixiviação em garrafas plásticas, turbidez da água que entra no sistema e aceitação da comunidade. Outros métodos de tratamento de água direcionados para comunidades de baixa renda incluem cloração, filtração lenta de areia e filtros cerâmicos.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AQUINO, Sérgio F. de; SILVA, Silvana de Queiroz; CHERNICHARO, Carlos AL. **Considerações práticas sobre o teste de demanda química de oxigênio (DQO) aplicado a análise de efluentes anaeróbios.** Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 11, p. 295-304, 2006.

ALCÂNTARA, P. B. **Avaliação da Influência da Composição de Resíduos Sólidos Urbanos no Comportamento de Aterros Simulados.** 2007. 366 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife

APDA. **Dureza da água.** 2012. Disponível em: < <https://www.apda.pt/site/upload/FT-QI-10-%20Dureza%20total.pdf> >. Acesso em: 14 de dezembro de 2021.

ARAÚJO, Elaine Patrícia et al. **III-610-INFLUÊNCIA DO PH NO CRESCIMENTO DE BACTÉRIAS AERÓBIAS TOTAIS EM BIORREACTORES DE BANCADA.** 28^o Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. 2015.

ARAÚJO, E. P. **Estudo do Comportamento de Bactérias Aeróbias e Anaeróbias Totais na Biodegradabilidade de Resíduos Sólidos Urbanos da Cidade de Campina Grande-PB.** 2011. 116 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental). Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.

BARROSO, Lidiane Bittencourt; WOLFF, Delmira Beatriz. **Radiação ultravioleta para desinfecção de água.** Disciplinarum Scientia| Naturais e Tecnológicas, v. 10, n. 1, p. 1-13, 2009.

BERNARDES, Maria Beatriz; NEHME, Valéria; FLORÊNCIO, Beatriz Aparecida. **A contribuição da Educação Ambiental como instrumento para o controle das doenças de veiculação hídrica.** Enciclopédia Biosfera, v. 6, n. 09, 2010.

BERTHOLINI, Thargus Martins; BELLO, Adriana Xavier da Silva. **Desinfecção de água para consumo humano através do método sódis:** Estudo de caso em localidade rural do município de cuiabá-mt. In: II Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental. 2011.

BORDE, Preeti et al. **Community challenges when using large plastic bottles for Solar Energy Disinfection of Water (SODIS).** BMC public health, v. 16, n. 1, p. 1-8, 2016.

BOTELHO, Douglas Oliveira; DA SILVA, Sabrina Soares; LEITE, Eduardo Teixeira. **Influência de diferentes perspectivas ambientais sobre a política de cobrança pelo uso da água no Brasil.** Revista Alcance, v. 19, n. 3, 2012.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de Janeiro de 1997. **Da Política Nacional de Recursos Hídricos**. Brasília. 8 de Janeiro de 1997.

BRASIL. **Ministério da Saúde**. Portaria nº 518, de 25 de março de 2004. Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância em Saúde, Coordenação Geral de Vigilância em Saúde Ambiental. Brasília, DF: Editora do Ministério da Saúde, 2005.

BRASIL. **Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA)**. Resolução nº 430. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil. Brasília, DF, 16 mai. 2011(a).

BRASIL. **Ministério da Saúde (MS)**. Portaria 2.914. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil. Brasília, DF, 14 dez. 2011(b).

BRASIL. Fundação Nacional de Saúde. **Manual prático de análise de água**./ 4. ed. Brasília, 2013, 150p.

BRASIL. **Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA)**. Resolução nº 396. Diário Oficial [da] República Federal do Brasil. Brasília, DF, 03 abr. 2008.

BRITO, Chrystiane N.; DE ARAÚJO, Eliane G.; MARTÍNEZ-HUITLE, Carlos Alberto. **Aplicação de Métodos Oxidativos Avançados para a Desinfecção de Água**. Revista Virtual de Química, v. 7, n. 5, p., 2015.

CARMO, RL do et al. **População e consumo urbano de água no Brasil: interfaces e desafios**. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS. Anais... Bento Gonçalves, 2013.

CAVALLINI, Grasielle Soares; DA SILVA ARAUJO, Dayane Lira Barros; LIMA, Jordan Gabriel Freitas. **Desinfecção de água de poço por radiação solar (SODIS)**. DESAFIOS-Revista Interdisciplinar Da Universidade Federal Do Tocantins, v. 5, n. Especial. 2018.

Ceramic Filtration. **Centers for Disease Control and Prevention**. Disponível em: <https://www.cdc.gov/safewater/ceramic-filtration.html>. Acesso em: 02 de fevereiro de 2022.

CETESB, Companhia de Tecnologia de Saneamento. AMBIENTAL.(2001). **Manual de Orientação para a Elaboração de Estudos de Análise de Riscos** (Orientation Manual for the Elaboration of Risk Studies and Analysis), 2006.

CEBALLOS, B. S. O. de. (1990) . Microbiologia Sanitária • In : **Lagoas de Estabilização e Aeradas Mecanicamente: Novos Conceitos** . (Ed. Sérgio Rolim Mendonça). João Pessoa. Editora Universitária. UFPB.

CHERNICHARO, C.A.L.; DANIEL, L. A.; SENS, M.; CORAUCCI FILHO, B. **Pós-tratamento de efluentes anaeróbicos por sistemas de desinfecção**. In:

CHERNICHARO, C.A.L (Coord.) Pós-tratamento de Efluentes de Reatores Anaeróbios. PROSAB, 2011.

COIMBRA, Núbia et al. **Eficiência Térmica de Coletor Solar de Baixo Custo. Trabalho de conclusão de Medições Térmicas** - Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

CONTE, Vania Dariva et al. **Qualidade microbiológica de águas tratadas e não tratadas na região nordeste do Rio Grande do Sul.** Infarma, v. 16, n. 11, 2004.

COSTA, M.J.S; FONSECA, J.A.C. **Avaliação da dureza de águas, proveniente de poços tubulares da cidade de São João do Rio do Peixe – PB, para uso como fonte alternativa.** 2016. 2º Simpósio Nordestino de Química.

COSTA, Patricia Isabel Baião. **Plano de segurança da água.** Caso de estudo: Sistema de abastecimento público de água de Castro Verde. 2010. Tese de Doutorado.

CUNHA, Helenilza Ferreira Albuquerque et al. **Qualidade físico-química e microbiológica de água mineral e padrões da legislação.** Revista Ambiente & Água, v. 7, 2012.

DA COSTA RENOVARO, Danilo Cesar. **Análise de parâmetros físico-químicos das águas da barragem pública da cidade de pau dos ferros (rn)–ph, cor, turbidez, acidez, alcalinidade, condutividade, cloreto e salinidade.** In: IX Congresso de iniciação científica do IFRN. 2013.

DA CUNHA KEMERICH, Pedro Daniel et al. **Paradigmas da energia solar no Brasil e no mundo.** Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental, v. 20, n. 1., 2016.

DA SILVA BATISTA, Mayara Priscilla Alves; DE MELO, Milena Bandeira. **Análise do sistema hidráulico da estação de tratamento de água do Pratagy em Maceió-AL.** Caderno de Graduação-Ciências Exatas e Tecnológicas-UNIT-ALAGOAS, v. 5, n. 1, 2018.

DE MATOS, Mateus Pimentel et al. Nota técnica: **Demanda bioquímica de oxigênio em diferentes tempos de incubação das amostras.** Revista Engenharia na Agricultura-Reveng, v. 21, n. 3. 2013.

DE MELO, Marly de Fátima. **DOENÇAS DE VEICULAÇÃO HÍDRICA.** 2019.

DE OLIVEIRA, Alexandre José et al. **Coliformes Termotolerantes: Bioindicadores da qualidade da água destinada ao consumo humano.** Atas de Saúde Ambiental-ASA (ISSN 2357-7614), v. 3, n. 2, p, 2016.

DE SOUZA GUEDES, Natália; JÚNIOR, Gilson Barbosa Athayde; CHAVES, Glauce Lene Rufino. **Análise do consumo per capita de água em municípios do nordeste do Brasil.** 2016.

DI BERNARDO, Angela Silva. **Desempenho de sistemas de dupla filtração no tratamento de água com turbidez elevada.** 2004. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

EAWAG (Instituto Federal Suíço de Ciência e Tecnologia da Água) / SANDEC (Departamento de água e saneamento para países em desenvolvimento). **Desinfecção Solar da água: Guia de aplicações do SODIS.** 2002.

FELIX, Lorna Falcão. **Desinfecção solar de água para comunidades de baixa renda.** 2010. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

FERREIRA, Luiz Henrique; ABREU, Daniela Gonsalves de; IAMAMOTO, Yassuko; ANDRADE, Jose Fernando de. 2004. **Experimentação em sala de aula e Meio Ambiente: Determinação simples de oxigênio dissolvido em água.** Disponível em: < <http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc19/a10.pdf> >. Acesso em: 14 de dezembro de 2021.

FIORICCI, Antônio Rogerio; FILHO, Edemar Benedetti. **A importância do oxigênio dissolvido em ecossistemas aquáticos.** 2005. Disponível em:< <http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc22/a02.pdf> > . Acesso em: 14 de dezembro de 2021.

FLEURY, Giovana Carla Elias et al. **Avaliação do uso combinado da radiação solar com a temperatura para desinfecção de água de abastecimento.** In: Congresso de Pesquisa, Ensino e Extensão da UFG–CONPEEX.

GAIO, Susana Sofia Marques. **Produção de água potável por dessalinização: Tecnologias, mercado e análise de viabilidade econômica.** 2016. Tese de Doutorado.

GIRÃO, Enio Giuliano et al. **Seleção dos indicadores da qualidade de água no Rio Jaibas pelo emprego da análise da componente principal.** Revista Ciência Agronômica, v. 38, n. 1. 2007.

GRANER, Celso Augusto Fessel; ZUCCARI, Maria Lúcia; PINHO, Sheila Zambello de. **Determinação da demanda química de oxigênio em águas por espectrofotometria simultânea dos íons crômio (III) e dicromato.** Eclética Química, v. 23, 1998.

HAIDER, H., ALI, W., HAYDAR, S., TEFAMARIAM, S., e SADIQ, R.. **Modeling exposure period for solar disinfection (SODIS) under varying turbidity and**

cloud cover conditions. Clean Technologies and Environmental Policy, v. 16, n. 5, 2014.

HENNING, Elisa et al. **Um estudo para a aplicação de gráficos de controle estatístico de processo em indicadores de qualidade da água potável.** Sistemas & Gestão, v. 9, n. 1, p. 2-13, 2014.

Household Water Treatment - **Solar Disinfection.** Centers for Disease Control and Prevention. Disponível em: <https://www.cdc.gov/safewater/solardisinfection.ml#:~:text=Lab%20Effectiveness%2C%20Field%20Effectiveness%2C%20and%20Health%20Impact&text=In%20four%20randomized%2C%20controlled%20trials,ranging%20from%209%2D86%25>. Acesso em: 02 de fevereiro de 2022.

HORNINK, Gabriel Gerber; HENRIQUE, Andre; HORNINK, Erica Nicacio. **H₂O: o ciclo da vida.** Alfenas – MG: Gabriel Gerber Hornink, 2016.

LOBO, Cimara Gomes; DA COSTA, Bruno Passos; WISBECK, Elisabeth. **Avaliação da desinfecção de água por reator utilizando radiação ultravioleta.** Revista de Ciências ambientais, v. 3, n. 1., 2009.

LUZI, S., TOBLER, M., SUTER, F., e MEIERHOFER, R. **SODIS manual: Guidance on solar water disinfection.** SANDEC, Department of Sanitation, Water and Solid Waste for Development: Eawag, Switzerland, 2016.

MARQUES, Sâmia Momesso; AMÉRICO-PINHEIRO, Juliana Heloisa Pinê. **Algas como bioindicadores da qualidade da água.** Revista Científica ANAP Brasil, v. 10, n. 19, 2017.

Ministério da Saúde (Brasil). Portaria no. 2.914, de 12 de dezembro de 2011. **Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.** Diário Oficial da União 16 dez 2011; seção 1.

MONTEIRO, Patricia Campos Gomes; BRANDÃO, Cristina Celia Silveira; SOUZA, MAA. **Viabilidade do uso da radiação solar na desinfecção da água.** Brasília. Disponível em: <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/tratagua/peru/braapa120.pdf>. Acesso em: 15 de novembro de 2021., v. 27, 2005.

MONTEIRO, V. E. D. **Análises físicas, químicas e biológicas no estudo do comportamento do Aterro da Muribeca.** Recife, 2003. Tese de doutorado-Centro de Tecnologia e Geociências. Universidade Federal de Pernambuco, 2003.

MORAIS, Wilker Alves et al. **Qualidade sanitária da água distribuída para abastecimento público em Rio Verde, Goiás, Brasil.** Cadernos Saúde Coletiva, v. 24, p., 2016.

MORAIS, W. A., et al. **Qualidade sanitária da água distribuída para abastecimento público em Rio Verde, Goiás, Brasil.** Caderno de Saúde Coletiva, n. 24, v. 3, p. 361-367, 2016. Disponível em: Acesso em: 10 mar. 2017.

OSPINA ALVAREZ, Natalia; PENA, Enrique J. **Alternativas de monitoreo de calidad de aguas: Algas como bioindicadores.** Acta Nova, v. 2, n. 4, p. 513-517, 2004.

PAREDES, Brenda Melise Pinheiro Morbach. **Avaliação da Qualidade da Água Superficial do Canal São Joaquim.** Belém. Universidade Federal do Pará Instituto de Tecnologia Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2016. Disponível em: < <https://ppgec.prosp.ufpa.br/ARQUIVOS/dissertacoes/2016/brenda.pdf>> Acesso: 30 de abril de 2021.

PAREDES, Brenda Melise Pinheiro Morbach. **Avaliação da Qualidade da Água Superficial do Canal São Joaquim.** Belém. Universidade Federal do Pará Instituto de Tecnologia Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2016. Disponível em: < <https://ppgec.prosp.ufpa.br/ARQUIVOS/dissertacoes/2016/brenda.pdf>> Acesso: 30 de abril de 2021.

PARRON, Lucilia Maria; MUNIZ, H. de F.; PEREIRA, Claudia Mara. **Manual de procedimentos de amostragem e análise físico-química de água.** Embrapa Florestas-Documents (INFOTECA-E), 2011.

PATERNIANI, José Euclides Stipp; SILVA, Marcelo Jacomini Moreira da. **Desinfecção de efluentes com tratamento terciário utilizando energia solar (SODIS): avaliação do uso do dispositivo para concentração dos raios solares.** Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 10., 2005.

PAVANELLI, Gerson. **Eficiência de diferentes tipos de coagulantes na coagulação, floculação e sedimentação de água com cor ou turbidez elevada.** 2001. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

PERCEBON, Claudete Massuchin; BITTENCOURT, André Virmond Lima; DA ROSA FILHO, Ernani F. **Diagnóstico da temperatura das águas dos principais rios de Blumenau, SC.** Boletim Paranaense de Geociências, v. 56, 2005.

PONTES, Carlos Antonio Alves et al. **Urbe água vida: Ética da proteção aplicada ao estudo de implicações morais no acesso desigual à água potável.** 2003. Tese de Doutorado.

PONTES, Carlos Antonio Alves; SCHRAMM, Fermin Roland. **Bioética da proteção e papel do Estado: problemas morais no acesso desigual à água potável.** Cadernos de Saúde Pública, v. 20, 2004.

RICHTER, Carlos A.; DE AZEVEDO NETTO, José Martiniano. **Tratamento de água: tecnologia atualizada.** Editora Blucher, 1991.

SALES, Willian Barbosa et al. **Ocorrência de Coliformes Totais e Termotolerantes em pastéis fritos vendidos em bares no centro de Curitiba-PR.** Demetra: alimentação, nutrição & saúde, v. 10, n. 1, p. 2015.

SAMPAIO, Carlos Augusto de Paiva et al. **Análise técnica de água de fontes rurais.** Engenharia Sanitaria e Ambiental. v. 24. 2019.

SOARES, Elisa Mercês; FERREIRA, Rafael Lopes. **Avaliação da qualidade da água e a importância do saneamento básico no Brasil.** Revista Meio Ambiente e Sustentabilidade, v. 13, n. 6, 2017.

SODIS. **Materials:** Plastic versus Glass Bottles, Technical Note #2. 2003. <http://www.sodis.ch>, março de 2006 (b).

SODIS. **Efficiency:** The Process, Technical Note #9. 2003. <http://www.sodis.ch>, março de 2006 (i).

UCHÔA, Paulo Wilson de Sousa et al. **Estudo de variações termo-higrométricas de cidade equatorial devido ao processo de urbanização: o caso de Santarém-PA.** 2011. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Oeste do Pará.

VIEIRA, Maurrem Ramon. **Os principais parâmetros monitorados pelas sondas multiparâmetros são:** pH, condutividade, temperatura, turbidez, clorofila ou cianobactérias e oxigênio dissolvido. Agência Nacional das Águas-ANA-2015, 2019.

VON SPERLING, M. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias - Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** 3. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - UFMG, 2005.

WEGELIN, M.; CANONICA, S.; MECHSNER, K.; FLEISCHMANN, T.; PESARO, F.; METZLER, A., **Solar water disinfection: Scope of the process and analysis of radiation experiments, Journal of Water Supply: Research and Technology - Aqua,** 43(4), 154-169, 1994.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Guidelines for drinking-water quality.** 4. ed. v. 1, 2010.