

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
COECI - COORDENAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

WILLIAM DE ARAUJO THOMAZ

**ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA TURBIDEZ DA ÁGUA NA
INATIVAÇÃO DE AGENTES PATOGÊNICOS POR RADIAÇÃO
SOLAR**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

TOLEDO
2017

WILLIAM DE ARAUJO THOMAZ

**ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA TURBIDEZ DA ÁGUA NA
INATIVAÇÃO DE AGENTES PATOGENICOS POR RADIAÇÃO
SOLAR**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel, do curso de Engenharia Civil, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientadora: Prof^a. MSc. Silvana da Silva Ramme

Coorientadora: Prof^a. MSc. Michelle Maria Detoni Zanette

TOLEDO

2017



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Câmpus Toledo
Coordenação do Curso de Engenharia Civil



TERMO DE APROVAÇÃO

Título do Trabalho de Conclusão de Curso de Nº 114

Estudo da influência da turbidez da água na inativação de agentes patogênicos por radiação solar

por

William de Araujo Thomaz

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado às 15:00 h do dia **10 de Novembro de 2017** como requisito parcial para a obtenção do título **Bacharel em Engenharia Civil**. Após deliberação da Banca Examinadora, composta pelos professores abaixo assinados, o trabalho foi considerado **APROVADO**.

Profº Dr. Jones Erni Schmitz
(UTFPR – TD)

Mirta Schlindwein Lucas
(SAAE – Marechal Cândido Rondon)

Profª Msc. Silvana da Silva
(UTFPR – TD)
Orientador

Profª Msc. Michelle Maria Detoni Zanette
(UTFPR – TD)
Coorientador

Visto da Coordenação
Profº Dr. Fúlvio Natércio Feiber
Coordenador da COECI

A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pelo dom da vida e pela oportunidade concedida de poder estar nesta jornada terrena, me dando força e auxílio para enxergar o verdadeiro significado da existência e da necessidade contínua da progressão intelecto-moral.

Aos meu pais, Alfredo e Lucimara, pela dedicação, amor e carinho na minha criação e formação humana, sendo os primeiros mestres da minha vida, me mostrando a importância dos valores universais e me apoiando e auxiliando incondicionalmente na minha carreira profissional.

A minha irmã, Thaís, que esteve presente na minha vida desde o dia do meu nascimento me protegendo e me ajudando, através de conselhos, a lidar com as barreiras que a vida nos impõe.

A minha avó, Leoni, pelas orações e pelos conselhos cheios de bondade, ternura e proteção.

Aos meus padrinhos, Beatriz e Elias, que me adotaram como filho e estiveram me auxiliando nos momentos difíceis da vida, dando atenção e colaborando para minha formação universitária.

Ao Carlos Alberto e Liz Patricia pelo apoio e pela confiança depositada em mim, cooperando com a minha formação acadêmica e meu crescimento pessoal.

A Cíntia pelo amparo e pelos bons conselhos sobre a vida, me dando suporte para continuar batalhando e nunca desistir dos meus sonhos.

A professora Lucia (UTFPR) que é um exemplo de amiga, mestre e engenheira, contribuindo significativamente na minha formação pessoal e profissional, oferecendo sempre palavras de consolo e brandura.

Ao professor Cristiano (UFRGS) pelo suporte na concretização dos meus estudos na França e pela parceria acadêmica, me instruindo e trabalhando em conjunto na organização de eventos técnico-científicos no Brasil.

A professora Edna (UNILA) por acreditar no meu potencial para a pesquisa, pela colaboração na realização de projetos científicos e publicações, além de aceitar ser minha orientadora durante toda a formação universitária, me

ensinando não só a importância de se tornar um bom profissional, mas também de nunca esquecer o lado humano e ser humilde acima de tudo.

Ao Centro de Estudos Avançados em Segurança de Barragens e a Fundação Parque Tecnológico Itaipu pelo fomento das pesquisas interinstitucionais e ao Laboratório de Tecnologia do Concreto de Itaipu que por meio dos técnicos e engenheiros me auxiliou na realização de ensaios laboratoriais.

A Ecole Nationale Supérieure d'Ingénieurs de Limoges pela admissão e acolhimento durante um ano na instituição de ensino na França, a professora e orientadora Geneviève Feuillade-Cathalifaud (ENSIL) pela assessoria na pesquisa internacional e a CAPES pelo apoio e auxílio financeiro da graduação sanduíche.

A professora Silvana e Michelle (UTFPR) pela orientação e coorientação deste trabalho, a banca avaliadora pelos conselhos e críticas construtivas e ao também ao Serviço Autônomo de Água e Esgoto – SAAE de Marechal Cândido Rondon que disponibilizou recurso laboratorial para a realização desta pesquisa

Por fim, agradeço também aos meus amigos, familiares e a todos que direta ou indiretamente contribuíram para minha formação e conclusão do curso de Engenharia Civil, me oferecendo apoio e um ombro amigo quando mais precisei.

“Let us strive for the impossible. The great achievements throughout history have been the conquest of what seemed the impossible.”

(Charles Spencer Chaplin)

RESUMO

THOMAZ, William de A. Estudo da influência da turbidez da água na inativação de agentes patogênicos por radiação solar. 2017. 77 f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Toledo, 2017.

A água é um recurso natural e vital para a vida humana. Durante o processo do seu ciclo biogeoquímico, o fluido não se encontra como um composto incolor, inodoro e insípido como é amplamente conhecido e constatado nas redes de distribuição urbana. A água nas bacias hidrográficas é constituída de inúmeras substâncias existentes em solução e/ou em suspensão por conta das suas propriedades físico-químicas que interligam com o âmbito natural e antrópico, ocasionando a adequação de suas potencialidades de utilização e modificando as suas possíveis aplicabilidades de uso. A dificuldade de obtenção da água de boa qualidade para o consumo humano faz com que haja um alto risco de doenças transmitidas por meio de vírus, bactérias, helmintos e protozoários presentes. Para uma melhor provisão de água, métodos e tecnologias vêm sendo criados e discutidos no domínio da remoção de contaminantes biológicos através de processos de desinfecção. Este processo consiste na remoção ou inativação de microrganismos patogênicos presentes na água mediante a destruição de sua estrutura celular. O sol, além de ser uma fonte natural de energia renovável, emite ondas eletromagnéticas que possuem a energia necessária para efeito bactericida. O seu uso vem sendo indicado para sistemas de tratamento de água potável em áreas rurais ou comunidades carentes, possibilitando a desinfecção de águas captadas em poços ou mananciais superficiais. Entretanto, a eficiência na eliminação de microrganismos por meio da radiação solar está condicionada à diversos parâmetros, tais como fatores climáticos e físico-químicos da água. Este trabalho apresenta amostras de água, com variações de turbidez, expostas a radiação solar durante 2, 4 e 6 horas em garrafas PET. Após a realização dos ensaios, verificou-se que é possível a desinfecção total de *Escherichia coli* das amostras com turbidez média de 3 NTU com 4 horas de exposição ao sol. Com aproximadamente 10 NTU, é possível a desinfecção total da bactéria com 6 horas de radiação. As amostras com turbidez entre 20 e 30 NTU demonstraram uma pequena influência no processo de desinfecção dos últimos microrganismos. A partir de 40 NTU, o processo principiou a inviabilidade do método. Além da turbidez, a incidência de nuvens contribui negativamente por filtrar parte dos raios solares. Já a temperatura atingida com a exposição solar não influenciou no processo e os coliformes totais apresentaram menor dificuldade de desinfecção se comparado a *Escherichia coli*.

Palavras-chaves: Tratamento de água. Desinfecção. Radiação solar. Coliformes.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Impurezas contidas na água	20
Figura 2 - Diferença entre os parâmetros cor e turbidez	25
Figura 3 - Esquema de sistema convencional de tratamento de água	30
Figura 4 - Posição da radiação ultravioleta no espectro eletromagnético	33
Figura 5 - Efeito germicida associado ao comprimento de onda da radiação UV	34
Figura 6 - Dimerização fotoquímica de duas bases timina	37
Figura 7 - Fluxograma de etapas metodológicas.....	40
Figura 8 - Localização da captação da água de estudo na cidade de Toledo-PR....	41
Figura 9 - Quantidade de amostras para o ensaio laboratorial.....	44
Figura 10 - Garrafas PET expostas à radiação solar.....	44
Figura 11 - Termômetro digital	46
Figura 12 - pHmetro digital Lucadema®.....	46
Figura 13 - Colorímetro digital AquaColor®.....	46
Figura 14 - Turbidímetro Ms Tecnopon®.....	46
Figura 15 - Exemplo de cartelas utilizadas na avaliação bacteriológica.....	60
Figura 16 - Comparação de amostras com e sem presença de <i>Escherichia coli</i>	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Parâmetros de aceitação da água para consumo humano.....	18
Tabela 2 - Padrão microbiológico de potabilidade da água para consumo humano.	19
Tabela 3 - Diferentes parâmetros de qualidade da água	21
Tabela 4 - Principais doenças de veiculação hídrica	29
Tabela 5 - Principais aplicações de radiação ultravioleta	35
Tabela 6 - Doses de radiação UV para inativação agentes patogênicos	38
Tabela 7 - Dados climáticos do dia 15/09/17 em Marechal Cândido Rondon-PR.....	48
Tabela 8 - Dados iniciais das diluições	49
Tabela 9 - Dados de temperatura das amostras (°C)	50
Tabela 10 - Dados da triplicata: Temperatura (°C)	51
Tabela 11 - Dados de cor aparente das amostras (uC)	52
Tabela 12 - Dados da triplicata: Cor aparente (uC)	53
Tabela 13 - Dados de pH das amostras	54
Tabela 14 - Dados da triplicata: pH.....	54
Tabela 15 - Dados de turbidez das amostras (NTU).....	55
Tabela 16 - Dados da triplicata: Turbidez das amostras (NTU).....	56
Tabela 17 - Dados de coliformes totais (NMP/100mL)	58
Tabela 18 - Dados da triplicata: Coliformes totais (NMP/100mL)	60
Tabela 19 - Dados de <i>Escherichia coli</i> (NMP/100mL)	61
Tabela 20 - Dados da triplicata: <i>Escherichia coli</i> (NMP/100mL)	63
Tabela 21 - Desinfecção da <i>Escherichia coli</i> (%) em relação à turbidez média.....	67

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Relação entre as horas e a temperatura e radiação.....	49
Gráfico 2 - Temperatura média das amostras após a exposição solar	51
Gráfico 3 - Regressão linear e coeficiente de determinação dos dados de cor aparente	53
Gráfico 4 - Aumento do pH conforme a diluição.....	55
Gráfico 5 - Relação da turbidez com a diluição das amostras.....	56
Gráfico 6 - Decaimento da turbidez em função da sedimentação das partículas.....	57
Gráfico 7 - Comparação das amostras com e sem exposição à radiação solar após 6 horas das amostras de coliformes totais	59
Gráfico 8 - Decaimento dos coliformes totais em relação a diluição e o tempo de exposição solar das amostras.....	59
Gráfico 9 - Comparação das amostras de Escherichia coli com e sem exposição à radiação solar após 6 horas	62
Gráfico 10 - Decaimento da Escherichia coli em relação a diluição e o tempo de exposição solar das amostras.....	62
Gráfico 11 - Relação da temperatura com a variação da concentração de Escherichia coli em um intervalo de 6 horas nas amostras que não foram expostas ao sol.....	64
Gráfico 12 - Relação da temperatura com a variação da concentração de Escherichia coli em um intervalo de 6 horas das amostras que foram expostas ao sol	65
Gráfico 13 - Relação entre a radiação solar e o decaimento da bactéria Escherichia coli.....	65
Gráfico 14 - Decaimento de Escherichia coli em relação a turbidez média das amostras.....	66

LISTA DE SIGLAS

CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
Cl	Cloro
CIE	International Commission on Illumination
DNA	Ácido desoxirribonucleico
FUNASA	Fundação Nacional de Saúde
IARC	International Agency for Research on Cancer
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
IUV	Índice Ultravioleta
NTU	Unidade de Turbidez Nefelométrica
OMS	Organização Mundial da Saúde
ONU	Organização das Nações Unidas
pH	Potencial Hidrogeniônico
RNA	Ácido ribonucleico
R-UV	Radiação Ultravioleta
SAAE	Serviço Autônomo de Água e Esgoto
THMs	Trihalometanos
UFC	Unidade de formação de colônias
uH	Unidade Hazen
UNICEF	United Nations Children's Fund
uT	Unidade de Turbidez
VMP	Valor máximo permitido
WHO	World Health Organization
WWAP	World Water Assessment Programme

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 JUSTIFICATIVA	15
1.2 OBJETIVOS	16
1.2.1 Objetivo Geral	16
1.2.2 Objetivos Específicos	16
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1 PADRÕES DE POTABILIDADE DA ÁGUA	17
2.2 CONTROLE DA QUALIDADE DA ÁGUA	19
2.2.1 Parâmetros Físico-Químicos	22
2.2.1.1 Potencial Hidrogeniônico (pH)	22
2.2.1.2 Temperatura	23
2.2.1.3 Cor	23
2.2.1.4 Turbidez	24
2.2.2 Parâmetros Bacteriológicos	25
2.2.2.1 Coliformes Totais	26
2.2.2.2 Coliformes Termotolerantes	27
2.3 DOENÇAS DE VEICULAÇÃO HÍDRICA	28
2.4 SISTEMAS DE TRATAMENTO DE ÁGUA	30
2.4.1 Desinfecção em Sistemas de Tratamento de Água	31
2.5 RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA (R-UV)	32
2.5.1 Mecanismo de Inativação	36
2.5.2 Radiação Solar	39
3 MATERIAIS E MÉTODOS	40
3.1 ENSAIOS PRÉVIOS	41
3.2 CAPTAÇÃO	41
3.3 PREPARO DOS RECIPIENTES	42
3.4 DILUIÇÃO E ENVASE	42
3.5 DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS CLIMÁTICOS	45
3.6 DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS	45
3.7 DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS BACTERIOLÓGICOS	46

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	48
4.1 DADOS DOS PARÂMETROS CLIMÁTICOS	48
4.2 DADOS INICIAIS DAS DILUIÇÕES	49
4.3 DADOS DOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS.....	50
4.4 DADOS DOS PARÂMETROS BACTERIOLÓGICOS	58
4.5 CORRELAÇÃO DE DADOS.....	64
5 CONCLUSÃO	69
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	71

1 INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural, de valor inestimável e imprescindível na manutenção dos ciclos biológicos, geológicos e químicos do planeta. Sua contribuição com o equilíbrio dos ecossistemas e a sua participação efetiva como um recurso estratégico para o desenvolvimento econômico faz com que ela seja classificada como uma substância vital para a vida humana, despertando uma preocupação, a nível global, com relação a quantidade de água doce disponível no planeta para atender a demanda atual.

Contudo, a problemática da água não está condicionada apenas de forma quantitativa, mas também de forma qualitativa. A molécula da água pura é formada por um átomo de oxigênio e dois átomos de hidrogênio. Contudo, no processo do seu ciclo biogeoquímico, o fluido não se encontra como um composto incolor, inodoro e insípido como é amplamente conhecido e constatado nas redes de distribuição urbana (ROSA et al., 2003).

A água nas bacias hidrográficas é constituída de inúmeras substâncias existentes em solução e/ou em suspensão por conta das suas propriedades físico-químicas que interligam com o âmbito natural e antrópico, ocasionando a adequação de suas potencialidades de utilização e modificando as suas possíveis aplicabilidades de uso. Dentre as substâncias vinculadas, tem-se maior seriedade nos elementos prejudiciais à saúde, como metais pesados e agentes patogênicos (GIMENES; TADEU, 2014).

Segundo o relatório publicado pelo Programa Mundial de Avaliação da Água das Nações Unidas, milhões de pessoas não têm acesso atualmente a uma fonte de água potável e ainda há a perspectiva que sua demanda para manufatura aumente em 400% entre 2000 e 2050 em nível global (WWAP, 2015). A dificuldade de obtenção da água de boa qualidade para o consumo humano faz com que haja um alto risco de doenças transmitidas através de vírus, bactérias, helmintos e protozoários presentes na água, colaborando abruptamente a conduzir a uma dramática expansão de epidemias (UNICEF; WHO, 2009).

Para que haja uma melhoria na provisão de água, métodos e tecnologias vêm sendo criados e discutidos no domínio da remoção de contaminantes biológicos através de processos de desinfecção. A desinfecção consiste na remoção ou

inativação de microrganismos patogênicos presentes na água mediante a destruição de sua estrutura celular, deixando as células inativas e impossibilitando a replicação.

Os métodos de desinfecção utilizando composto a base de Cl têm grande eficiência no tratamento de água, mas os processos formam compostos indesejáveis e nocivos ao homem e meio ambiente quando dosados de forma incorreta. Outros métodos dispõem de um custo elevado e nem sempre estão disponíveis para grande parte da população pela difícil aplicabilidade em pequenas comunidades de baixa renda, sendo imprescindível o desenvolvimento de pesquisas sobre procedimentos alternativos e de fácil acesso (AISSE et al, 2003; ZHA et al., 2014).

A radiação ultravioleta é um método simples de tratamento que utiliza as faixas de comprimento de onda para destruir agentes etiológicos. Um dos mecanismos predominantes é a alteração do DNA das células, tornando o organismo incapaz de se reproduzir, atuando na inativação não só da capacidade de proliferação, mas também de transmissão de doenças (GONÇALVES, 2003; PANG et al., 2016).

O sol, além de ser uma fonte natural de energia renovável, emite ondas eletromagnéticas que possuem a energia necessária para efeito bactericida. O seu uso vem sendo indicado para sistemas de tratamento de água potável em áreas rurais ou comunidades carentes, possibilitando a desinfecção de águas captadas em poços ou mananciais superficiais, cujas características físicas e químicas são adequadas ao consumo, porém questionáveis no aspecto sanitário (MORGADO, 2008).

A eficiência na eliminação de microrganismos por meio da radiação solar está condicionada à diversos parâmetros, tal como fatores climáticos e à parâmetros físico-químicos da água (MORGADO, 2008). Assim sendo, diante da importância e da necessidade de estudos vinculados à potabilidade e procedimentos de dizimação de doenças de veiculação hídrica, este trabalho tem como proposta apresentar uma análise da influência da turbidez da água na inativação de agentes patogênicos por radiação solar, contribuindo no aprofundamento dos estudos e técnicas já preconcebidas mundialmente sobre tipos de desinfecção no tratamento da água para fins potáveis.

1.1 JUSTIFICATIVA

Para a Organização Mundial da Saúde (OMS) e entidades da Organização das Nações Unidas (ONU), a água é essencial à vida e sua potabilidade é fundamental para a dignidade de todos. No entanto, 884 milhões de pessoas ao redor do mundo ainda não têm acesso a fontes de água de boa qualidade para o consumo (UNITED NATIONS et al., 2010).

Em alguns locais, a carência de sistemas de tratamento faz com que inúmeros microrganismos patogênicos possam ser encontrados na água, constituindo uma das principais fontes de morbidade. Estas bactérias são responsáveis por numerosos casos de enterites, diarreias infantis e doenças epidêmicas, com resultados frequentemente letais. Anualmente, 9 milhões de crianças abaixo de 5 anos morrem no mundo, sendo 1,5 milhões destas causadas pela diarreia (UNICEF; WHO, 2009).

Segundo Brandão (2011), dois mecanismos principais de transmissão de doenças pela água são observados: a transmissão por falta de higiene devido a diminuição da quantidade de água e a ingestão de água contaminada por agentes biológicos. Diante disso, faz-se necessário o monitoramento da concentração de microrganismos como medida fundamental no controle de qualidade da água.

No Brasil, a portaria nº 2914 de 2011 do Ministério da Saúde exige que na água potável devam estar ausentes coliformes totais, coliformes termotolerantes e determina um limite de 500 UFC.mL⁻¹ de bactérias heterotróficas em 20% das amostras mensais analisadas nos sistemas de distribuição de águas destinadas a consumo humano (BRASIL, 2011).

A importância do estudo das bactérias do grupo coliformes está relacionada ao fato destas indicarem a contaminação por fezes e possível presença de organismos causadores de doenças gastrintestinais (CETESB, 1993).

Apesar do cloro ser o agente químico mais utilizado na desinfecção das bactérias patogênicas para produção de água potável, várias pesquisas estão sendo realizadas na consolidação de tecnologias e parâmetros que viabilizem o uso da radiação ultravioleta (R-UV). Isto ocorre pelo fato da radiação ser encontrada na forma de ondas eletromagnéticas oriundas do sol, tornando o método uma

alternativa econômica e sustentável para a sociedade (SOMMER et al., 1997; MONTEIRO; BRANDÃO; SOUZA, 2005)

Estes estudos visam, principalmente, uma maior adequação e otimização do processo para sua utilização pela população rural que não dispõe de um sistema de tratamento de água apropriado ou em países onde o saneamento urbano ainda caminha a passos lentos (WALKLING-RIBEIRO et al., 2008; LOBO; COSTA; WISBECK, 2009; BALOGH et al, 2011).

Diante do exposto, os estudos dos parâmetros de qualidade e desinfecção da água para contribuir com a questão da saúde pública e combater a morbidade mundial através de métodos simples e de baixo custo são de grande importância. Assim, nesse trabalho busca-se responder a seguinte questão: A turbidez presente na água interfere no processo simplificado de desinfecção utilizando radiação solar?

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho foi estudar a influência da turbidez na inativação de agentes patogênicos mediante a utilização de radiação solar como método de desinfecção da água.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Analisar a concentração de coliformes por meio do microrganismo indicador da espécie *Escherichia coli*;
- Averiguar o tempo necessário para a inativação de agentes patogênicos por meio da radiação solar;
- Verificar parâmetros climáticos como fator de influência na desinfecção da água por radiação solar.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 PADRÕES DE POTABILIDADE DA ÁGUA

Para a Organização Mundial da Saúde (WHO, 2006), a água deve ter um fornecimento adequado, seguro e acessível, além de estar disponível para toda a população. Melhorar sua qualidade e a tornar potável pode resultar em benefícios significativos para a saúde pública, como a erradicação de doenças de veiculação hídrica e, conseqüentemente, no combate a morbidade.

De acordo com o Artigo 3 da Portaria nº 2914 de 2011, do Ministério da Saúde, “toda água destinada ao consumo humano, distribuída coletivamente por meio de sistema ou solução alternativa de abastecimento de água, deve ser objeto de controle e vigilância da qualidade (...)”, ou seja, a água potável deve atender aos padrões físico, químicos e biológicos e não proporcionar riscos à saúde, a fim de garantir que a água fornecida à população esteja apta ao consumo (BRASIL, 2011).

Para atender a estes padrões de potabilidade estabelecidos pela legislação, os prestadores de serviços de abastecimentos de água devem manter um monitoramento da eficiência do processo de tratamento. Este controle de qualidade está fundamentado em um conjunto de procedimentos, efetuados de forma contínua, destinados a verificar se a água fornecida à população é potável, assegurando a manutenção desta condição (BRASIL, 2006).

No ano de 1977, o Ministério da Saúde instituiu, pela Portaria nº 46/Bsb, as normas e o padrão de potabilidade da água em todo o território nacional, tornando o controle da qualidade da água para consumo humano uma ação de saúde pública. Contudo, a implementação de um programa de supervisão só ocorreu a partir da criação do Sistema Nacional de Vigilância Ambiental em Saúde em 1999, e da publicação da Portaria nº 1469 de 29 de dezembro em 2000.

Atualmente, a Portaria nº 2.914 de 12 de dezembro 2011, do Ministério da Saúde, dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Os parâmetros fundamentais estão citados na Tabela 1 e devem ser adotados segundo esta Portaria.

Tabela 1 - Parâmetros de aceitação da água para consumo humano

PARÂMETRO	UNIDADE	VMP ¹
Alumínio	mg/L	0,20
Amônia (como NH ₃)	mg/L	1,50
Cloreto	mg/L	250,00
Cor Aparente	uH ²	15,00
1,2 diclorobenzeno	mg/L	0,01
1,4 diclorobenzeno	mg/L	0,03
Dureza total	mg/L	500,00
Etilbenzeno	mg/L	0,20
Ferro	mg/L	0,30
Manganês	mg/L	0,10
Monoclorobenzeno	mg/L	0,12
Gosto e odor ³	Intensidade	6,00
Sódio	mg/L	200,00
Sólidos dissolvidos totais	mg/L	1.000,00
Sulfato	mg/L	250,00
Sulfeto de Hidrogênio	mg/L	0,05
Surfactantes	mg/L	0,50
Tolueno	mg/L	0,17
Turbidez	uT ⁴	5,00
Zinco	mg/L	5,00
Xileno	mg/L	0,30

Notas: ¹ Valor máximo permitido.

² Unidade Hazen (mgPt-Co/L).

³ Intensidade máxima de percepção para qualquer característica de gosto e odor com exceção do cloro livre, nesse caso por ser uma característica desejável em água tratada.

⁴ Unidade de Turbidez

Fonte: Portaria nº 2.914 de 2011 (BRASIL, 2011)

Além disso, o Artigo 27 da Portaria nº 2.914 de 2011 define que a água potável deve estar em conformidade com os padrões microbiológicos. A pesquisa de microrganismos patogênicos na água requer procedimentos complexos e longos, sendo necessária a utilização de organismos indicadores de contaminação fecal para avaliar a qualidade bacteriológica da água.

Os padrões bacteriológicos em nível nacional estão baseados na detecção e enumeração de coliformes totais e *Escherichia coli*, conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 - Padrão microbiológico de potabilidade da água para consumo humano

PARÂMETRO	VMP ¹
Água para consumo humano	
<i>Escherichia coli</i> ²	Ausência em 100ml
Água tratada na saída do tratamento	
Coliformes totais ³	Ausência em 100ml
Água tratada no sistema de distribuição (reservatórios e rede)	
<i>Escherichia coli</i>	Ausência em 100ml
Coliformes totais ⁴	<p><i>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</i></p> <p><i>Sistemas ou soluções alternativas coletivas que abastecem a partir de 20.000 habitantes: Ausência em 100 mL em 95% das amostras examinadas no mês.</i></p>
<p><i>Notas: ¹ Valor máximo permitido.</i></p> <p><i>² Indicador de contaminação fecal.</i></p> <p><i>³ Indicador de eficiência de tratamento.</i></p> <p><i>⁴ Indicador de integridade do sistema de distribuição (reservatório e rede).</i></p>	

Fonte: Portaria nº 2.914 de 2011 (BRASIL, 2011)

2.2 CONTROLE DA QUALIDADE DA ÁGUA

Para que a água chegue aos consumidores atendendo aos padrões de potabilidade estabelecidos pela legislação, os responsáveis pelos serviços de abastecimento de água devem manter um controle da eficiência do processo de tratamento. Este controle consiste na identificação de impurezas presentes na água que podem ocasionar malefícios à saúde e disseminação de doenças.

Comumente, o padrão organoléptico é estabelecido com base em critérios de ordem estética e visa evitar que o consumidor rejeite a água por sua aparência, gosto ou odor, porém uma água insípida, inodora e incolor não é

necessariamente segura do ponto de vista sanitário (PÁDUA; SANTOS, 2012). Diante disso, é indispensável a caracterização da água por meio de métodos laboratoriais nas especificidades físicas, químicas e biológicas para o consumo seguro.

Segundo Sperling (1995), as impurezas enfocadas do ponto de vista físico estão associadas, em sua maior parte, aos sólidos presentes na água que podem estar em suspensão, coloidais ou dissolvidos, dependendo do seu tamanho. As características químicas da água podem ser interpretadas por intermédio de duas classificações: matéria orgânica ou inorgânica. Já as características biológicas são os seres presentes na água podendo ser vivos ou mortos. Dentre os seres vivos, tem-se os pertencentes aos reinos animal e vegetal, além dos protistas.

A Figura 1 demonstra de modo diagramático as interrelações entre as características que compõe os parâmetros de qualidade da água.

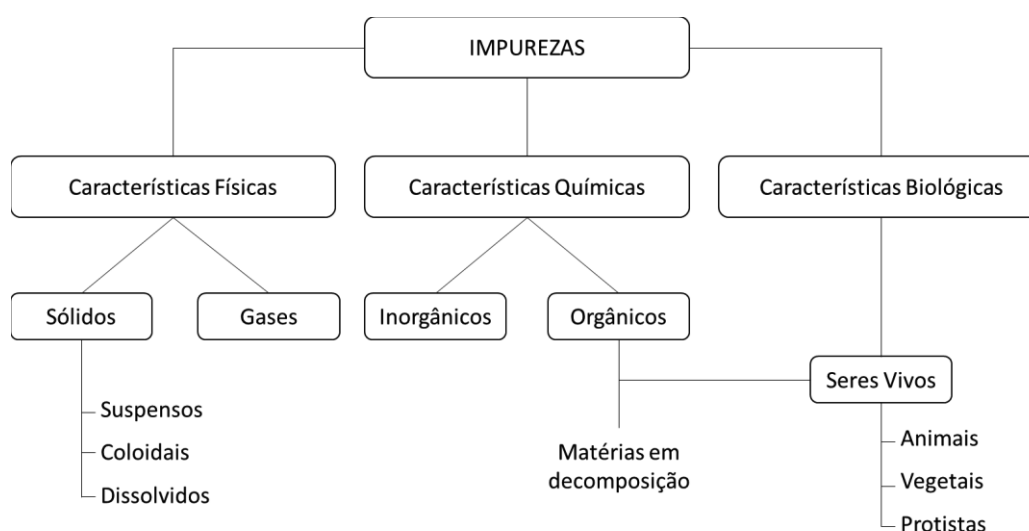


Figura 1 - Impurezas contidas na água
Fonte: Adaptado de Sperling (1995)

Segundo Lee et al. (2012), a “qualidade da água” é um termo genérico utilizado para definir a sua adequação à um propósito específico. Dependendo da sua utilização final é aplicado um conjunto de diferentes critérios a serem avaliados e os parâmetros necessário para obtenção da água de qualidade. Nos casos de corpos d’água com usos múltiplos, a qualidade deve atender aos requisitos dos diversos usos previstos.

A Resolução CONAMA nº 357 (BRASIL, 2005) dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento dos corpos de água

superficiais, sendo que a sua integração em determinada classe se dá em função do uso, aspectos técnicos, econômicos, sociais e políticos. As águas com maior qualidade permitem a existência de usos mais exigentes, como a de recreação e pesca, enquanto águas com pior qualidade permitem apenas os usos menos exigentes, como a navegação. A Tabela 3 reúne diferentes parâmetros que devem ser analisados em um corpo hídrico para determinar a qualidade da água referente ao seu uso.

Tabela 3 - Diferentes parâmetros de qualidade da água

PARÂMETROS FÍSICOS	PARÂMETROS INORGÂNICOS NÃO METÁLICOS	PARÂMETROS ORGÂNICOS	PARÂMETROS BIOLÓGICOS E MICROBIOLÓGICOS	PARÂMETROS METÁLICOS
Cor	Acidez	Demanda bioquímica de oxigênio (DBO)	Plâncton	Alumínio
Condutividade	Alcalinidade	Demanda química de oxigênio (DQO)	Macroinvertebrados	Arsênio
Odor	Boro	Ácidos voláteis orgânicos	Macrófitas	Bário
Sólidos	Dióxido de carbono	Carbono orgânico	Algas	Berílio
Salinidade	Cloreto	Halogênio orgânico	Coliformes totais	Cádmio
Sabor	Cloro (residual)	Metano	Coliformes fecais	Cálcio
Temperatura	Cianeto	Óleo e graxas	Salmonela	Cromo
Turbidez	Flúor	Pesticidas orgânicos	Protozoários	Cobre
	Iodo	Fenóis	Vírus	Ferro
	Nitrogênio	Surfactantes	Bactérias	Chumbo
	Oxigênio dissolvido	Tanino e lignina	Fungos	Lítio
	Ozônio			Magnésio
	pH			Manganês
	Fósforo			Mercúrio
	Sílica			Níquel
	Sulfato			Potássio
	Sulfeto			Selênio
	Sulfito			Prata
				Sódio
				Zinco

Fonte: Hidrometria Aplicada (SANTOS et al., 2001)

2.2.1 Parâmetros Físico-Químicos

Segundo Nunes et al. (2015), os parâmetros físicos estão associados, em sua maior parte, aos sólidos presentes na água. As partículas de pequenas dimensões correspondem aos sólidos em suspensão e a matéria presente na água, não removida por filtração, são os sólidos dissolvidos. Numa faixa intermediária aos sólidos em suspensão e dissolvidos estão os sólidos coloidais.

Já os parâmetros químicos são determinados pelas substâncias químicas presentes na amostra, classificadas em orgânicas ou inorgânicas.

2.2.1.1 Potencial Hidrogeniônico (pH)

Segundo Baird (2004), o pH retrata a concentração de íons hidrogênio (H^+), fornecendo uma indicação de acidez, basicidade e neutralidade da água. Ele é considerado um dos indicativos mais relevantes no controle de recursos hídricos superficiais e subterrâneos.

A alta acidez pode ser um indicativo de contaminações, enquanto o excesso de solubilização de sais pode tornar a água imprópria para consumo por conta da elevada dureza. Neste caso, a Portaria 2.914 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2011) recomenda que o pH para abastecimento público esteja no intervalo de valores entre 6,0 e 9,5 para atender o padrão de potabilidade da água.

Nas estações de tratamento de água, existem várias etapas cujo monitoramento abrange as determinações de potencial hidrogeniônico. Nas etapas de coagulação e floculação, há um estado qualificado como “pH ótimo”, que corresponde à situação em que as partículas coloidais apresentam menor quantidade de carga eletrostática superficial.

Outra etapa no processo de tratamento de água que depende o pH é a desinfecção pelo cloro. Em meio ácido, a dissociação do ácido hipocloroso formando hipoclorito é menor, tornando assim o processo de desinfecção mais eficiente.

Por fim, a própria distribuição da água é afetada pelo pH. Sabe-se que as águas ácidas são corrosivas, ao passo que as alcalinas são incrustantes. Por isso, o

pH da água final deve ser controlado, para que os carbonatos presentes sejam equilibrados e não ocorra nenhum dos dois efeitos indesejados mencionados, o que poderia representar problemas sanitários e econômicos, tal qual explosões em caldeiras de indústrias devido a incrustações ou rompimento de tubulações por corrosão (CETESB, 2009).

2.2.1.2 Temperatura

A temperatura expressa a energia cinética das moléculas de um corpo, sendo seu gradiente o fenômeno responsável pela transferência de calor em um meio, condicionando influência marcante na velocidade das reações químicas, nas atividades metabólicas dos organismos e na solubilidade de substâncias. A sua alteração pode ser causada por fontes naturais - principalmente energia solar - ou antropogênicas, como despejos industriais e águas de resfriamento de máquinas (FUNASA, 2014).

De acordo com Oram (2014), a temperatura, além de ser um parâmetro de qualidade da água, é também um parâmetro ambiental, visto que governa a vida aquática, regula a concentração máxima de oxigênio dissolvido na água e influencia a taxa de reações químicas e biológicas. Em geral, à medida que a temperatura aumenta, de 0 a 30°C, a viscosidade, tensão superficial, compressibilidade, calor específico, constante de ionização e calor latente de vaporização diminuem, enquanto a condutividade térmica e a pressão de vapor aumentam (CETESB, 2009).

2.2.1.3 Cor

Segundo Richter e Netto (2002), a água pura está associada com a inexistência de cor, porém a presença de substâncias dissolvidas ou em suspensão podem alterar significativamente este parâmetro, dependendo da quantidade e da natureza do material associado.

Ainda de acordo com Richter e Netto (2002), quando a água com cor apresenta uma turbidez adicional que pode ser removida por centrifugação, diz-se que a cor é aparente. Removida a turbidez, o residual que se mede é a cor verdadeira, devido a partículas coloidais carregadas negativamente. Em alguns casos de cor extremamente elevada, a remoção pode ser auxiliada ou realizada integralmente através do processo de oxidação química, utilizando-se permanganato de potássio, cloro, ozônio, ou outro oxidante adequado.

Normalmente, a cor na água é devida aos ácidos húmicos e tanino, originados de decomposição de vegetais e, assim, não apresenta risco algum para a saúde. Porém, quando de origem industrial, pode ou não apresentar toxicidade (SPERLING, 1996).

Deste modo, a cor é um parâmetro de aspecto estético de aceitação ou rejeição do produto, e de acordo com a Portaria 2.914/11 do Ministério da Saúde, o valor máximo permissível de cor na água distribuída é de 15,0uH (mg de Pt e Co/L) (BRASIL, 2011).

2.2.1.4 Turbidez

A turbidez é uma característica da água devida à presença de partículas suspensas com tamanho variado. Dependendo do grau de turbulência, elas podem estar classificadas desde coloides a suspensões grosseiras. A presença dessas partículas provoca a dispersão e a absorção da luz, dando a água uma aparência nebulosa, esteticamente indesejável e potencialmente perigosa. Dentre a variedade de materiais, as partículas inorgânicas e a descarga de esgoto doméstico ou industrial são fatores cooperantes para este parâmetro (RICHTTER; NETTO, 2002).

Ainda, segundo a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo - CETESB (2009), a turbidez também poder ser originada por detritos orgânicos como algas, bactérias e plâncton em geral, sua quantidade elevada reduz a fotossíntese de vegetação enraizada submersa e algas. Esse desenvolvimento reduzido de plantas pode, por sua vez, suprimir a produtividade de peixes, influenciando nas comunidades biológicas aquáticas. Além disso, afeta adversamente os usos doméstico, industrial e recreacional de uma água.

A Figura 2 exibe a diferença entre amostras de água com variação de cor e turbidez. A primeira imagem indica a adição de partículas suspensas, enquanto a segunda demonstra o aumento na quantidade de matéria dissolvida na água, sendo diferenciadas principalmente na passagem de luz pelo líquido.

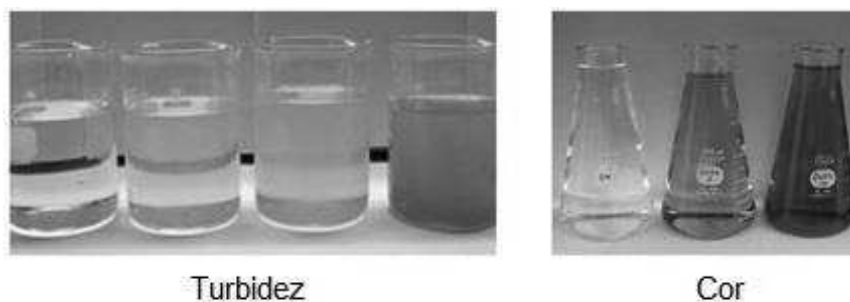


Figura 2 - Diferença entre os parâmetros cor e turbidez
Fonte: University of Alberta (2017)

De acordo com Souza et al. (2000), no caso do uso de radiação ultravioleta como desinfetante bacteriológico, a concentração de turbidez interfere significativamente no processo. Os autores constataram que, para uma concentração inicial da mesma ordem de grandeza, precisam de um tempo menor de exposição daquelas amostras de água em que a concentração de material suspenso é menor.

Dessa maneira, a Portaria nº 2.914 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2011) restringe o valor máximo de turbidez para água no sistema de abastecimento público de 5 uT para atender o padrão organoléptico de potabilidade. Contudo, para melhorar a eficiência dos produtos utilizados na desinfecção, os valores máximos permitidos variam entre 0,5 e 1,0 uT, dependendo do modo de filtração.

2.2.2 Parâmetros Bacteriológicos

A Portaria nº 2.914 de 2011, recomenda a realização de análises de organismos patogênicos como *Cryptosporidium*, *Giardia*, enterovírus e cianobactérias. Estas últimas, podem produzir gosto e odor desagradáveis nas

águas e liberar cianotoxinas¹. Porém, a detecção de agentes patogênicos na água é extremamente difícil em razão de suas baixas concentrações.

Para verificar essa possível contaminação, considera-se a presença de organismos como as bactérias do grupo coliformes. A determinação da sua concentração assume importância como parâmetro indicador da possibilidade da existência de outros microrganismos patogênicos, responsáveis pela transmissão de doenças de veiculação hídrica, e por isso devem ser tratados com prudência.

As bactérias do grupo coliformes são heterogêneas e formadas por microrganismos que englobam alguns gêneros, como: *Klebsiella*, *Escherichia*, *Enterobacter* e *Citrobacter* (SCHURACCHIO, 2010). Geralmente, na sua determinação, realiza-se a diferenciação entre os de origem fecal e não-fecal. Os coliformes não-fecais são encontrados no solo e vegetais, possuindo a capacidade de se multiplicarem na água com relativa facilidade. No entanto, os coliformes de origem fecal não se multiplicam facilmente no ambiente externo e são capazes de sobreviver de modo semelhante às bactérias patogênicas, indicando que a água pode ter sido contaminada por patógenos existente no material fecal (ZULPO et al., 2006).

2.2.2.1 Coliformes Totais

Os coliformes totais são definidos como bastonetes gram-negativos não esporogênicos, aeróbios ou anaeróbios facultativos, capazes de fermentar a lactose com produção de gás, em 24 a 48 horas à temperatura de 35°C (e podem apresentar atividades da enzima β -galactosidase). O grupo inclui cerca de 20 espécies, dentre as quais encontram-se bactérias originárias do trato gastrointestinal de humanos e outros animais homeotérmicos e, também, diversos gêneros e espécies de bactérias não entéricas (FUNDAÇÃO NACIONAL DA SAÚDE, 2013).

Segundo Souza e Perrone (2009), embora os coliformes totais possam ser encontrados no trato gastrointestinal, a sua detecção em amostras de águas não é necessariamente um indicativo de contaminação fecal ou ocorrência de

¹ A contaminação por cianotoxinas em reservatórios usados no abastecimento público pode causar sérios acidentes à saúde humana, da mesma forma que produtos tóxicos, metais pesados e a presença de outros microrganismos patogênicos (JOCHIMSEN et al., 1998).

enteropatógenos, pois também podem ser encontradas no solo e em vegetais, com algumas bactérias apresentando certa capacidade de permanecer e até multiplicar em ambientes úmidos com altos teores de nutrientes orgânicos e inorgânicos.

2.2.2.2 Coliformes Termotolerantes

O outro subgrupo são os coliformes termotolerantes - também denominados de coliformes fecais - que são capazes de fermentar a lactose a 44 - 45°C ($\pm 0,2$) em 24 horas. Tem a produção de indol a partir do triptofano, oxidase negativa, não hidrolisa a ureia e ainda apresenta atividade das enzimas β -galactosidase e β -glucoronidase (FUNDAÇÃO NACIONAL DA SAÚDE, 2013).

Segundo Dias (2008), a presença de coliformes termotolerantes em água potável é o maior indicador de que existe risco a saúde do consumidor. Atualmente sabe-se que o grupo inclui pelo menos três gêneros, *Escherichia*, *Enterobacter* e *Klebsiella* (MOURA; ASSUMPÇÃO; BISCHOFF, 2009).

A *Escherichia coli* é o microrganismo mais estudado em todo o mundo, considerado o principal representante do grupo. A sua ocorrência é considerada um indicador específico de contaminação fecal e a possível presença de patógenos entéricos (GUERRA et al., 2006).

A *Escherichia coli* comensal, que faz parte da microbiota intestinal, não é patogênica e apresenta um importante papel fisiológico para o funcionamento do organismo. Porém, algumas cepas deste microrganismo, com endotoxinas potentes, podem ocasionar a morte através de diarreias moderadas a severas, colite hemorrágica grave e a síndrome hemolítica urêmica (ZIESE et al., 1996).

As categorias patogênicas de *E. coli* que causam infecção intestinal em homens e animais são denominadas de *Escherichia coli* diarreio gênicas e são diferenciadas pela presença de fatores de virulência como adesinas fimbriais e afimbriais, toxinas e invasinas (SOUZA et al., 2016).

2.3 DOENÇAS DE VEICULAÇÃO HÍDRICA

Apesar de ser vital à existência humana, sabe-se que a água é um significativo meio veiculador de doenças originadas por organismos patogênicos e, nas últimas décadas, o assunto surgiu como um dos principais problemas de saúde pública (SMITH et al., 2006).

Mais recentemente, tem-se apontado a água como meio responsável pela transmissão de doenças como dengue, febre Chikungunya, febre amarela e Zika vírus. Embora estas doenças não sejam transmitidas pelo contato direto com a água, ela é o meio onde o vetor, especialmente o *Aedes aegypti*, consegue se reproduzir e depositar seus ovos (SILVA; NOBRE, 2016).

Os corpos d'água propiciam essa veiculação por conter substâncias nutritivas em quantidades suficientes para garantir a presença, embora em pequenos números, de grupos especializados de agentes nocivos. A presença de microrganismos neste meio indica sua contaminação a partir do solo, por descargas intencionais de esgoto ou liberados de matéria orgânica de animais em decomposição (FUNASA, 2014).

Segundo Cairncross e Feachem (1990), quanto a especificidade de transmissão, as moléstias relacionadas à água dividem-se em quatro grupos. As doenças de veiculação hídrica, propriamente ditas, constituem o grupo no qual o agente patogênico é ingerido junto com a água. Os outros grupos estão relacionados com as doenças passíveis de transmissão durante as atividades de higiene pessoal, no contato com água contaminada e as moléstias cujo vetores apresentam parte de seu ciclo desenvolvido no ambiente aquático.

De acordo com Daniel (2001), a perspectiva de transmissão de doenças de veiculação hídrica relaciona-se, em sua maior relevância, com as características físicas, químicas e biológicas das águas naturais. Deste modo, um sistema de tratamento de água e esgoto, além de fornecer água de qualidade a população e realizar o descarte correto nos mananciais, auxilia no combate a erradicação de algumas epidemias. Na Tabela 4 são apresentadas as principais doenças de veiculação hídrica e os respectivos agentes etiológicos, sintomas usuais e fontes de contaminação.

Tabela 4 - Principais doenças de veiculação hídrica

DOENÇA	AGENTE ETIOLÓGICO	SINTOMAS	FONTES DE CONTAMINAÇÃO
Febres tifóide e paratifoide	<i>Salmonella typhi</i> , <i>Salmonella paratyphi</i> A e B	Febre elevada, diarreia	Fezes humanas
Disenteria baciliar	<i>Shigella dysenteriae</i>	Diarreia	Fezes humanas
Disenteria amebiana	<i>Entamoeba histolytica</i>	Diarreia, abscessos no fígado e intestino delgado	Fezes humanas
Cólera	<i>Vibrio cholerae</i>	Diarreia e desidratação	Fezes humanas e águas costeiras
Giardiase	<i>Giardia lamblia</i>	Diarreia, náusea, indigestão, flatulência	Fezes humanas e de animais
Hepatite A e B	Vírus da hepatite A e B	Febre, icterícia	Fezes humanas
Poliomielite	Vírus da poliomielite	Paralisia	Fezes humanas
Criptosporidiose	<i>Cryptosporidium parvum</i> , <i>Cryptosporidium muris</i>	Diarreia, anorexia, dor intestinal, náusea, indigestão, flatulência	Fezes humanas e de animais
Gastroenterite	<i>Escherichia coli</i> , <i>Campylobacter jejuni</i> , <i>Yersinia enterocolitica</i> , <i>Aeromonas hydrophila</i> , Rotavírus e outros vírus entéricos	Diarréia	Fezes humanas

Fonte: Neves (1988), Sperling (1995), Cohn et al. (1999) apud Daniel (2001)

As bactérias patogênicas encontradas na água constituem uma das principais fontes de morbidade no meio humano. Elas são as responsáveis pelos numerosos casos de enterites, diarreias infantis e doenças epidêmicas, com resultados frequentemente letais. Anualmente, 9 milhões de crianças abaixo de 5 anos morrem no mundo, sendo 1,5 milhões destas causadas pela diarreia (UNICEF; WHO, 2009).

O difícil controle e erradicação das diversas doenças de veiculação hídrica estão interligados pelo fato de estarem presentes na natureza e no reino animal de forma abrangente, explicando parcialmente a extensiva disseminação das mesmas no planeta. Contudo, são os indivíduos assintomáticos - portadores que não apresentam sintomas da moléstia - que constituem os principais contaminadores das águas naturais (DANIEL, 2001).

2.4 SISTEMAS DE TRATAMENTO DE ÁGUA

A maioria das comunidades urbanas captam as águas para o consumo humano em um rio ou aquífero subterrâneo, dentro de uma bacia hidrográfica. A menos que seja considerada de alta qualidade, a água captada passará por vários processos de tratamento que removerão quaisquer substâncias químicas, orgânicas ou organismos que possam ser prejudiciais à saúde humana. Depois deste processo, a água é então entregue à comunidade através de um sistema de distribuição constituído por tubulações e alguns acessórios (COOPERATIVE RESEARCH CENTRE FOR WATER QUALITY AND TREATMENT, 2008).

Segundo Botero (2009), o processo convencional de tratamento de água é compreendido pelas seguintes operações unitárias: coagulação, floculação, decantação, e filtração para a clarificação da água, seguida da correção do pH, desinfecção e fluoretação. A Figura 3 demonstra esquematicamente um sistema convencional de água.

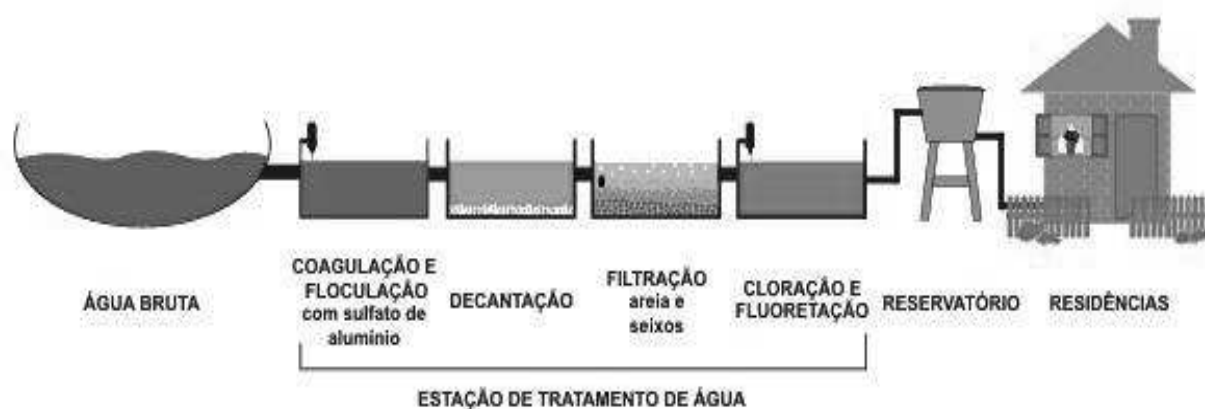


Figura 3 - Esquema de sistema convencional de tratamento de água
Fonte: SANEP (2017)

Os variados processos de tratamento da água visam, além de suprir a demanda de consumo humano, auxiliar no controle de incidência de doenças de veiculação hídrica por meio do processo de desinfecção, contribuindo de forma direta na diminuição da morbidade da população.

2.4.1 Desinfecção em Sistemas de Tratamento de Água

Segundo Rossin (1987), a desinfecção é um processo por meio do qual pretende-se destruir ou inativar os agentes patogênicos e outros microrganismos indesejados. No Brasil, estudos retratam que existiu um decaimento do coeficiente de mortalidade por febre tifoide observado no município de São Paulo durante o ano de 1926, logo após a implantação da cloração das águas da capital paulista, retratando o uso da técnica desde o início do século XX como processo desinfetante (OLIVEIRA, 1976).

Em função de circunstâncias específicas de sua utilização, cada agente desinfetante possui vantagens e desvantagens. É necessário averiguar a otimização dos efeitos da qualidade da água a ser desinfetada e das exigências de projeto, operação e manutenção das unidades. Sendo assim, não há um desinfetante padrão que atenda a todos os requisitos, sendo necessário a seleção da tecnologia de desinfecção apropriada a cada realidade, levando em conta esses aspectos e outros fatores que influenciam na confiabilidade, continuidade e eficiência do sistema (OLIVEIRA, 2009)

Contudo, para o processo ser usado no tratamento de água de abastecimento de maneira eficiente, alguns critérios necessitam ser alcançados. Segundo Reiff e Witt (1995), além de ser necessário inativar as classes e números de organismos patógenos presentes na água dentro de um tempo limitado; o método não pode ser tóxico ao ser humano ou produzir substâncias tóxicas acima dos limites permitidos na legislação, como também não pode alterar a aceitabilidade da água pelo consumidor; é necessário produzir residuais resistentes para evitar a recontaminação da água no sistema de distribuição; a determinação de sua concentração deve ser precisa, rápida, fácil, e passível de ser executada, tanto em campo como no laboratório; o custo do produto, dos equipamentos, instalação e manutenção devem ser razoáveis; deve ser aplicável dentro da ampla faixa de condições apresentadas pelas águas; e deve ser razoavelmente seguro e fácil de manejar e aplicar.

De acordo com Aisse et al (2003), o método mais comum de desinfecção de água realizada nas estações de tratamento em todo o mundo, inclusive no Brasil, é feito adicionando um agente desinfetante, geralmente a base de cloro. Contudo,

um assunto que vem preocupando os pesquisadores e técnicos vinculados ao tratamento de água, é o da formação de subprodutos da desinfecção química, principalmente pela possibilidade de formação de substâncias cancerígenas. Os subprodutos mais conhecidos hoje são os compostos nitrogenados e os trihalometanos, que se formam a partir da cloração de águas que contém matéria orgânica natural proveniente dos mananciais de superfície (SANTOS et al., 2013).

A Organização Mundial da Saúde (WHO, 2005) considera que quatro compostos do grupo dos trihalometanos são de interesse: o bromofórmio ou tribromoetano (CHBr_3), o dibromoclorometano (CHClBr_2), o bromodiclorometano (CHCl_2Br) e o clorofórmio ou triclorometano (CHCl_3), que é o de ocorrência mais comum. Os dois primeiros foram classificados pela Agência Internacional para Pesquisa do Câncer (IARC) como sendo do grupo 3, quando o agente não é classificável pelo seu potencial carcinógeno para seres humanos, contudo os dois últimos foram classificados no grupo 2B como agente possivelmente cancerígeno para seres humanos.

Diante disso, novos estudos e métodos alternativos começaram a ser desenvolvidos com a finalidade de substituir a cloração e, conseqüentemente, minimizar a formação de precursores de THMs e outros subprodutos (DANIEL, 2001).

Um desses métodos de destaque é a desinfecção a partir da radiação ultravioleta. Antagônico de outros desinfetantes que têm sua ação na desinfecção química, a radiação ultravioleta (R-UV) atua por intermédio físico, atingindo os ácidos nucléicos dos vírus e bactérias e promovendo sua inativação. Este tipo de desinfecção tem crescente emprego como alternativa aos agentes químicos tradicionais nas técnicas de tratamento de água de abastecimento, principalmente por poder utilizar a luz solar como fonte de energia em locais de difícil acesso ou com escassez de recursos (GONÇALVES, 2003; BALOGH et al., 2011).

2.5 RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA (R-UV)

Segundo Koller (1952 apud DANIEL, 2001), a radiação ultravioleta está relacionada ao espectro eletromagnético e está posicionada na faixa de 40 a 400 nm

de comprimento de onda, entre os raios X e a luz visível. A Figura 4 demonstra a subdivisão da faixa de radiação ultravioleta entre os vários valores de comprimento de onda.

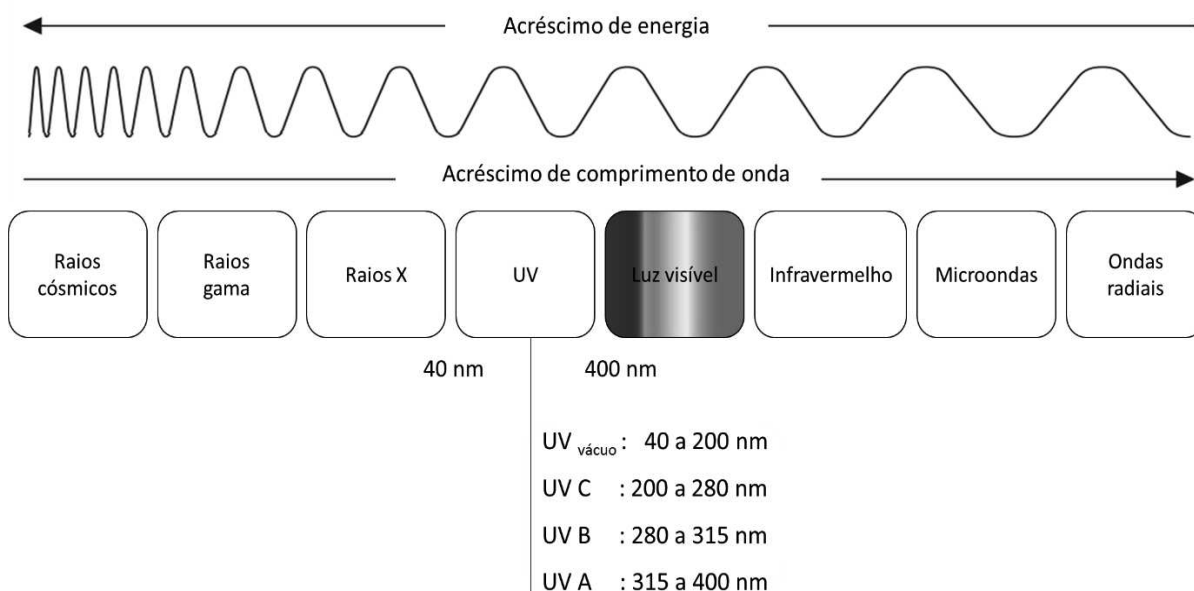


Figura 4 - Posição da radiação ultravioleta no espectro eletromagnético
Fonte: Adaptado de Ryer (1997) e Daniel (2001)

Segundo Ryer (1997), a luz ultravioleta pode ser dividida em três categorias segundo seus efeitos sobre os seres vivos:

- UV-A: sua radiação possui comprimento de onda entre 315nm (90,8kcal/einstein²) e 400nm (71,5 kcal/einstein) e é considerada a menos perigosa para os seres humanos devido sua baixa energia.
- UV-B: possui comprimento de onda de 280 (102 kcal/einstein) e 315nm (90,8 kcal/einstein). Trata-se da mais destrutiva forma de luz UV, pois tem energia bastante para gerar danos em tecidos biológicos e em quantidade mínima para não ser completamente absorvida na atmosfera. É a forma de radiação UV identificada como causadora do câncer de pele.
- UV-C: possui comprimento de onda variando de 200 (143 kcal/einstein) a 280nm (102 kcal/einstein), sendo a forma de

² A unidade "einstein" corresponde à quantidade de energia concentrada em cada mol de fótons envolvido em determinada reação fotoquímica. O efeito de um fóton sobre determinada molécula depende, evidentemente, da quantidade de energia que ele concentra (GONÇALVES, 2003).

radiação aplicada como germicida. Os fótons de luz nessa faixa concentram quantidades significativas de energia que, na colisão com o oxigênio, resultam na formação de ozônio e são absorvidos em poucas centenas de metros.

O efeito germicida desse tipo de energia foi reportado pela primeira vez por Downs & Blunt, em 1878 e, de acordo com Bolton (1999) e Gonçalves (2003), o comprimento de onda de maior ação bactericida é o de 254nm (112,6 kcal/einstein), conforme indicado na Figura 5. No entanto, a absorção máxima de radiação ultravioleta ocorre em 260nm (HARM, 1980).

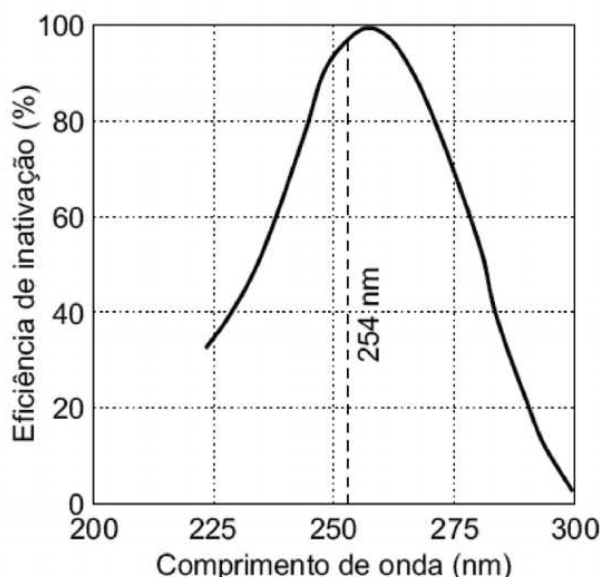


Figura 5 - Efeito germicida associado ao comprimento de onda da radiação UV
Fonte: Gonçalves (2003)

A radiação ultravioleta utilizada para a inativação de microrganismos, usualmente, é obtida por meio de lâmpadas especiais. A grande maioria é composta por lâmpadas de vapor de mercúrio ionizado, de baixa e média pressão e com diversos valores de potência. Contudo, a radiação solar também está condicionada ao efeito por conta do seu espectro contínuo de radiação eletromagnética.

De acordo com Gonçalves (2003), algumas das principais aplicações da desinfecção com radiação ultravioleta registradas atualmente estão contidas na Tabela 5.

Tabela 5 - Principais aplicações de radiação ultravioleta

Desinfecção de água para abastecimento	Municipal, hospitais, escolas, quartéis, centros comunitários, hotéis e residências.
Desinfecção de efluentes	Esgotos sanitários de condomínios, residências e indústrias.
Comercial	Aquicultura, hidroponia, laboratórios, aquários, restaurantes e padarias.
Industrial	Farmacêutica, bebidas, eletrônica, alimentícia, têxtil, cosméticos, gráficas, etc.
Proteção para outras tecnologias de tratamento de água	Membranas (osmose reversa e ultrafiltração), resinas de deionização, filtros de carvão ativado.
Aplicações de UV no ar	Exaustão de tanques, ar comprimido estéril e dutos de ar condicionado.

Fonte: Adaptado de Gonçalves (2003)

Segundo Usepa (1999), a desinfecção com R-UV é um processo que elimina a necessidade de geração, manuseio, transporte ou estocagem de produtos químicos tóxicos e não gera efeitos residuais prejudiciais ao ser humano ou a vida aquática. Além de ser facilmente controlada pelos operadores, a desinfecção ocorre com um tempo de contato menor quando comparada a outros agentes desinfetantes, contribuindo na efetiva inativação de agentes patogênicos.

Embora haja uma variedade de vantagens, o processo detém de alguns malefícios. As baixas dosagens podem interferir na efetividade e os microrganismos podem, ocasionalmente, reparar e reverter os efeitos destrutivos por meio dos mecanismos de reativação³, além de que os custos são competitivos quando comparados com cloração-descloração. É necessário, também, um programa preventivo para controle da formação de biofilmes nos tubos (reator de contato) e sua eficiência está vinculada a turbidez e sólidos suspensos totais no fluído (USEPA, 1999)

³ Os mecanismos de reativação são conhecidos, também, como fotorreativação. Na ausência de luz, são conhecidos como “recuperação no escuro” (USEPA, 1999)

2.5.1 Mecanismo de Inativação

De acordo com Weber e Posselt (1972, apud MONTEIRO; BRANDÃO; SOUZA, 2005), o mecanismo de inativação ou destruição de bactérias, vírus ou outros organismos patogênicos na desinfecção depende, principalmente, da natureza do agente desinfetante e da característica do microrganismo presente na água. Entretanto, estes mecanismos por meio dos quais o processo acontece não são bem prescritos (BRYANT; FULTON; BUDD, 1992).

Bryant, Fulton e Budd (1992), ainda citam algumas teorias sobre o efeito desinfetante das várias formas de cloro sobre bactérias e demonstram não haver um único mecanismo de ação. Dentre elas, a que apresenta maior aceitação, é a de que o cloro interfere com certas enzimas essenciais para a vida destes agentes. Porém, distintivamente das bactérias, os vírus não configuram a serem predispostos à inativação através da ação sobre enzimas específicas, estando a ação do cloro livre exposta por outras formas de atuação.

Quanto ao ozônio, Bryant, Fulton e Budd (1992) creem que o mecanismo de inativação preponderante está relacionado a forte capacidade oxidante deste composto, que tem a função de interromper a atividade da membrana celular das bactérias e de atacar a camada de proteção dos vírus.

No que se refere ao mecanismo de inativação da R-UV sobre os microrganismos, ele é distinto dos agentes desinfetantes químicos. De acordo com Gonçalves (2003), a desinfecção por radiação ultravioleta dá-se devido à absorção da radiação pelas proteínas e pelos ácidos nucleicos RNA e DNA. A absorção de altas doses de R-UV pelas proteínas presentes nas membranas celulares leva ao rompimento dessas membranas e, conseqüentemente, à morte da célula. Contudo, a absorção de pequenas doses de radiação ultravioleta pelo DNA pode apenas interromper a habilidade do microrganismo de se reproduzir, impedindo-o de contaminar o meio.

Os raios ultravioletas são rapidamente absorvidos por algumas moléculas presentes no DNA, como as purinas e as pirimidinas, que se tornam mais reativas. As moléculas de DNA dos organismos a serem inativados absorvem radiações com comprimento de onda entre 200 e 300nm, em especial aquelas em torno de 260nm, que alteram sua composição e comprometem sua funcionalidade (Chang, 1977).

A radiação UV atravessa a parede celular e é absorvida pelos ácidos nucléicos e, em menor extensão, pelas proteínas e por outras moléculas biologicamente importantes (DANIEL; CAMPOS, 1992).

A energia absorvida rompe as ligações não saturadas, principalmente as bases nitrogenadas pirimídicas, provocando a dimerização de pirimidinas adjacentes de um mesmo fio de cromossomo do DNA (WHITE et al., 1986). Os dímeros formados em consequência das alterações provocadas pela radiação podem resultar em citosina-citosina, adenina-adenina e timina-timina.

De acordo com (DANIEL, 2001), a timina, por ter a estrutura mais simples das bases nitrogenadas, é a que apresenta maior formação de dímeros. Essas moléculas pirimídicas resultantes, uma vez unidas, deformam a estrutura helicoidal do DNA e dificultam a replicação do ácido nucléico. Caso a replicação ocorra, as novas células serão mutantes descendentes incapazes de se duplicar.

A Figura 6 representa o mecanismo da desinfecção ultravioleta com a dimerização fotoquímica de duas bases timina.

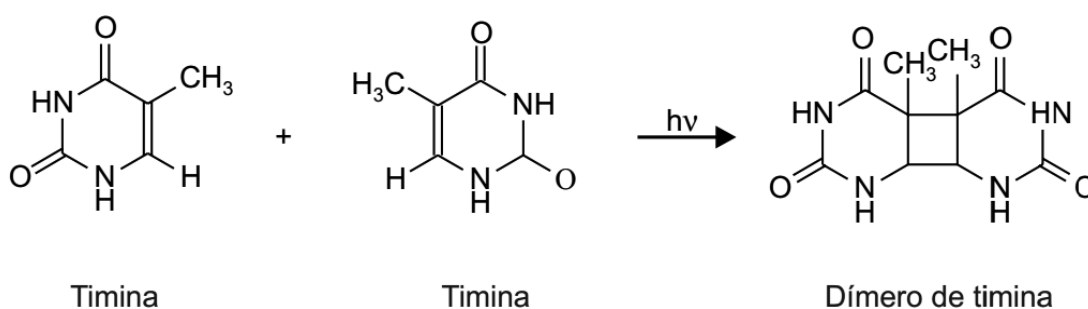


Figura 6 - Dimerização fotoquímica de duas bases timina
Fonte: Daniel (2001)

No dimensionamento dos reatores ultravioleta para o processo de desinfecção, um dos principais parâmetros é a resistência à inativação dos diversos organismos patogênicos de acordo com as espécies.

A Tabela 6 apresenta uma compilação das doses necessárias de R-UV para inativação de bactérias, vírus, algas, protozoários, helmintos e leveduras.

Tabela 6 - Doses de radiação UV para inativação agentes patogênicos

BACTÉRIA	DOSE R-UV (mW/cm ²)	VÍRUS	DOSE R-UV (mW/cm ²)
<i>Agrobacterium lumefaciens</i>	8,5	Adenovírus Tipo III	4,5
<i>Bacillus anthracis</i>	8,7	Bacteriófagos	66
<i>Bacillus anthracis</i> (esporos de Antrax)	46,2	Coxsackie	6,3
<i>Bacillus paratyphosus</i>	6,1	Hepatite A	3,7
<i>Bacillus subtilis</i>	11	Hepatite infecciosa	8
<i>Clostridium tetani</i>	23,1	Influenza	6,6
<i>Corynebacterium diphtheriae</i>	6,5	Mosaico do tabaco	440
<i>Dysentery bacilli</i>	4,2	Poliovírus	7,5
<i>Eberthella typhosa</i>	4,1	Rotavírus	24
<i>Escherichia coli</i>	6,6	Rotavírus SA – 11	9,9
Espécies de <i>Salmonella</i>	15,2		
Esporos de <i>Bacillus subtilis</i>	22	PROTOZOÁRIOS E HELMINTOS	
<i>Legionella bozemanii</i>	3,5	Cistos de <i>Giardia lamblia</i>	100
<i>Legionella pneumophila</i> (doença dos legionários)	12,3	<i>E. histolytica</i>	84
<i>Leptospira interrogans</i>	6	Ovos de nematodos	40
<i>Micrococcus candidus</i>	12,3		
<i>Mycobacterium tuberculosis</i>	10	ALGAS	
<i>Pseudomonas aeruginosa</i> (cepas ambientais)	10,5	<i>Chlorella vulgaris</i>	22
<i>Pseudomonas aeruginosa</i> (cepas laboratoriais)	3,9	Alga azul-verde	420
<i>Salmonella enteritidis</i>	7,6		
<i>Salmonella paratyphi</i> (febre entérica)	6,1	FUNGOS	
<i>Salmonella typhi</i> (febre tifoide)	7	<i>Aspergillus amstelodami</i>	77
<i>Salmonella typhimurium</i>	15,2	<i>Aspergillus glaucus</i>	
<i>Sarcina lutea</i>	26,4	<i>Aspergillus niger</i>	330
<i>Shigella dysenteriae</i> – disenteria	4,2	<i>Penicillium digitatum</i>	88
<i>Shigella flexneri</i> – disenteria	3,4	<i>Penicillium expansum</i>	22
<i>Shigella paradysenteriae</i>	3,4	<i>Rhizopus nigricans</i>	220
<i>Staphylococcus aureus</i>	6,6		
<i>Staphylococcus epidermidis</i>	5,8	LEVEDURAS	
<i>Streptococcus faecaila</i>	10	Levedura do pão	8,8
<i>Streptococcus hemolyticus</i>	5,5	Levedura de cerveja	6,6
<i>Vibrio cholerae</i>	6,5	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	13,2
<i>Vibrio comma</i> (cólera)	6,5	<i>Saccharomyces ellipsoideus</i>	13,2

Fonte: Gonçalves (2003)

2.5.2 Radiação Solar

Embora usualmente o método de desinfecção com radiação ultravioleta utiliza a energia elétrica a fim de gerar radiação para a inativação de microrganismos, a radiação solar pode ser um sistema de desinfecção efetivo e de baixo custo para o uso em regiões afastadas e menos favorecidas.

O sol é a principal fonte de energia primária, responsável pelo desencadeamento de todos os processos físicos, químicos e biológicos que ocorrem na superfície terrestre. Essa energia derivada de reações nucleares associadas às altíssimas temperaturas é capaz de transformar átomos de hidrogênio em átomos de hélio. As reações de fusão de núcleos de hidrogênio em núcleos de hélio, com consequente redução de massa solar nuclear é compensada por meio da emissão de energia que é irradiada pelo sol (MOREIRA, 2005).

De acordo com Assunção (2003), este fluxo de energia radiante oriundo do sol é nominado de constante solar da Terra. A energia liberada sob forma de radiações, ou emissões de partículas, se propaga no vácuo, como ondas eletromagnéticas, com velocidade constante de 300.000 km/s e frequência e comprimento de onda variáveis.

Este espectro contínuo de radiação eletromagnética proveniente do sol, segundo Balogh et al (2011), exprime o intervalo de comprimento de onda (λ) na radiação ultravioleta, luz visível e infravermelho. Tais intervalos irradiam a superfície da Terra e apresentam-se distribuídos com 56% de infravermelho, 39% de luz visível e 5% de radiação ultravioleta. Esta última contribui com região restrita do espectro da radiação eletromagnética e é subdividida em UVC, UVB e UVA.

O meio de absorção da radiação solar pela atmosfera ocorre por meio da dissociação, fotoionização, vibração e transição rotacional de moléculas na alta atmosfera. Essa energia absorvida pode modificar a temperatura, composições químicas e inúmeras outras propriedades da partícula (BROHEDE, 2004).

No processo de espalhamento da radiação solar, ocorre a obstrução da radiação solar por partículas presentes na atmosfera terrestre. A direção e intensidade do espalhamento dependerão do tamanho da partícula e do comprimento de onda eletromagnética incidente. Quanto menor o comprimento de onda, mais fortemente será espalhado (KIRCHORF, 1995; ASSUNÇÃO, 2003).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Os experimentos foram realizados no Laboratório de Saneamento do curso de Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná Campus Toledo e no Laboratório de Análises Físico-Químicas e Bacteriológicas do Serviço Autônomo de Água e Esgoto – SAAE da cidade de Marechal Cândido Rondon.

Dias antes de dar início aos ensaios laboratoriais, foi realizada consulta ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) para verificar a previsão climática com o propósito das análises serem realizadas em condições apropriadas, sem precipitações de chuva e sem grandes quantidades de nuvens.

A Figura 7 representa o fluxograma das etapas metodológicas do trabalho realizado.

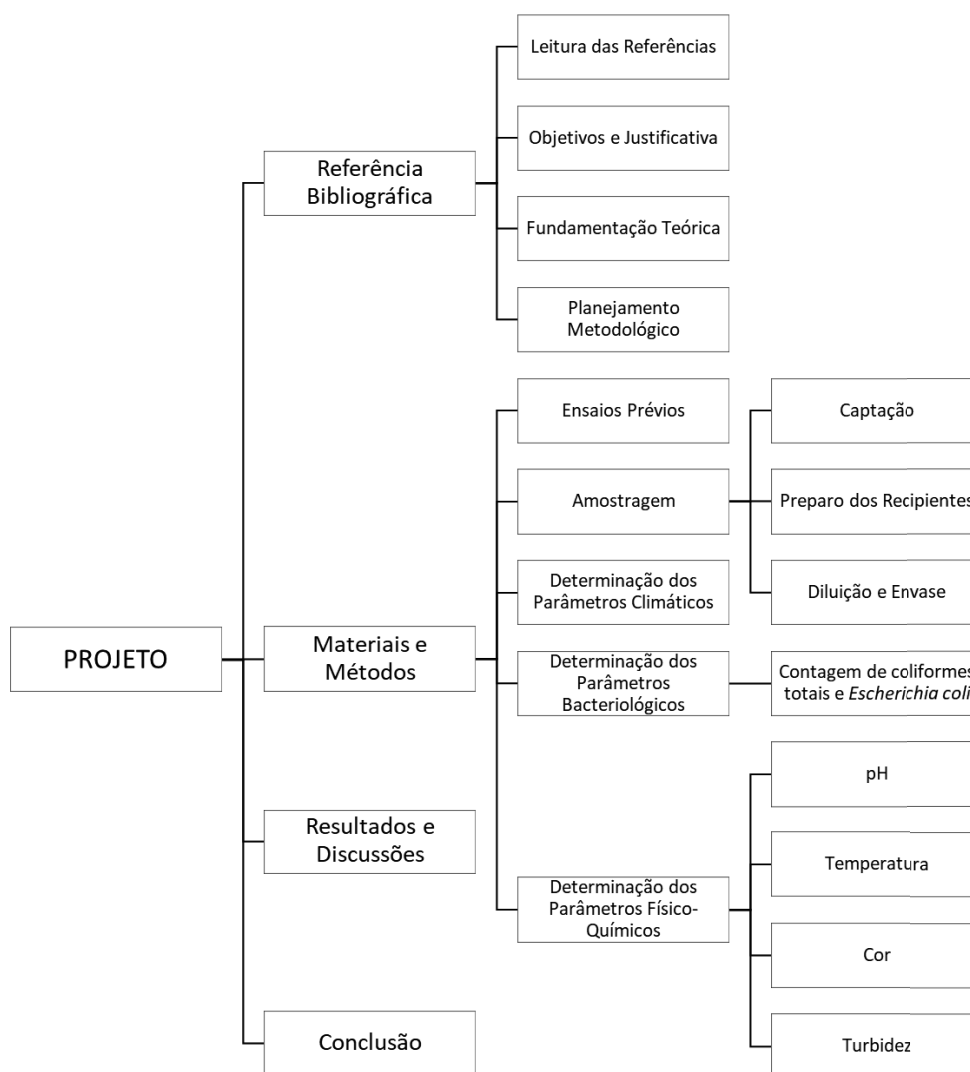


Figura 7 - Fluxograma de etapas metodológicas
 Fonte: Autor (2017)

3.1 ENSAIOS PRÉVIOS

Com o intuito de definir os parâmetros experimentais do trabalho, foram realizados ensaios prévios de turbidez com concentrações variadas afim de averiguar as porcentagens de diluição necessária para obtermos uma boa representatividade nos resultados.

Ainda, com o objetivo definir o melhor tipo de água a ser utilizado, foi realizada a captação da água do afluente com e sem sedimentos afim de estudar o tempo da deposição das partículas suspensas e sua variação da turbidez.

3.2 CAPTAÇÃO

O córrego utilizado para a captação da água foi o Arroio Marreco com extensão de 38,3 km e com a nascente no bairro Jardim Gisella na cidade de Toledo-PR. O local definido para a coleta foi um ponto de fácil acesso e com a possibilidade da existência de coliformes totais e *Escherichia coli* e está localizado $24^{\circ}41'20.4''S$ e $53^{\circ}46'33.9''W$ como mostra a indicação vermelha na Figura 8.

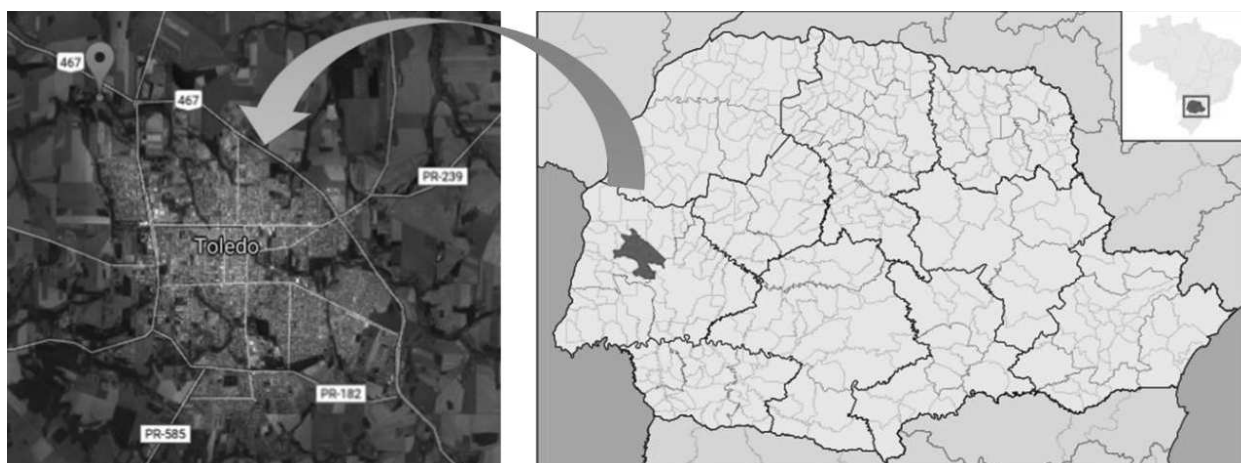


Figura 8 - Localização da captação da água de estudo na cidade de Toledo-PR
Fonte: Adaptado de Google Maps e Wikipédia

Após os resultados dos ensaios prévios, chegou-se à conclusão que a água com sedimentos era menos propícia ao estudo por ter uma rápida sedimentação das partículas, ou seja, variando a turbidez de forma expressiva em um intervalo de 6h. Sendo assim, para a coleta foi utilizado um balde, tendo o cuidado em preservar a deposição do fundo do córrego e preencher somente com o líquido da água corrente. Com a ajuda de um funil, foram preenchidos 3 galões de 20 litros.

A coleta ocorreu às 17 horas do dia anterior ao experimento para que a água não perdesse suas características conforme regem as normas de armazenamento de águas de corpos hídricos, estando dentro do limite de 24 horas.

3.3 PREPARO DOS RECIPIENTES

Para fazer a exposição das amostras à radiação solar, foram utilizadas 35 garrafas de refrigerante de polietileno tereftalato (PET) transparente com capacidade de 2 litros e doados pela comunidade. Os recipientes foram previamente higienizados com água clorada, sabão líquido e álcool etílico e caracterizados com um número de identificação individual, horas de exposição solar e concentração da amostra.

3.4 DILUIÇÃO E ENVASE

O procedimento de diluição e envase ocorreu no Laboratório de Saneamento da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Toledo. Foi definido o intervalo de 10%, 40%, 60%, 70% e 100% de diluição das amostras com água destilada após a verificação dos ensaios prévios. Estes valores foram assim definidos após observar que seriam números representativos em Unidades Nefelométricas de Turbidez referente as características do arroio de estudo.

A água captada do córrego foi depositada em uma bombona de 50L e homogeneizada. Uma segunda bombona de 50L foi utilizada para fazer as diluições necessárias.

A fim de padronizar as amostras, os recipientes foram preenchidos com as respectivas diluições por meio de provetas de 2 litros e foram colocadas em refrigeração. Na manhã do dia seguinte, foram levadas à cidade de Marechal Cândido Rondon - PR para a realização do experimento com a exposição solar e verificação dos resultados laboratoriais.

3.5 EXPOSIÇÃO À RADIAÇÃO SOLAR

Com o propósito de avaliarmos se a radiação solar era realmente a responsável pela redução dos parâmetros microbiológicos, as 35 garrafas PET foram divididas em 2 subgrupos: 21 garrafas com exposição solar e 14 garrafas sem exposição solar.

No subgrupo das amostras expostas ao sol, o tempo foi variado em 6 horas de estudos, obtendo 7 dados a cada 2 horas de exposição solar. Já no subgrupo das amostras que não foram expostas ao sol, 7 garrafas foram o tempo inicial 0, sendo a partir destas os dados iniciais do procedimento, e as outras 7 garrafas ficaram em um local fechado durante 6 horas, o mesmo tempo que seria retirado as últimas amostras do sol.

O procedimento ocorreu das 10 horas às 16 horas do dia 15 de setembro de 2017 no SAAE de Marechal Cândido Rondon – PR. Com o objetivo de impedir de forma expressiva a decantação das partículas sedimentáveis, as garrafas expostas ao sol foram agitadas esporadicamente conforme havia tempo nos intervalos entre ensaios laboratoriais.

A Figura 9 demonstra de forma esquemática o número de amostras em função dos parâmetros apresentados e a Figura 10 apresenta as garrafas expostas ao sol em uma região onde havia contato com a luz sol durante o tempo do estudo.

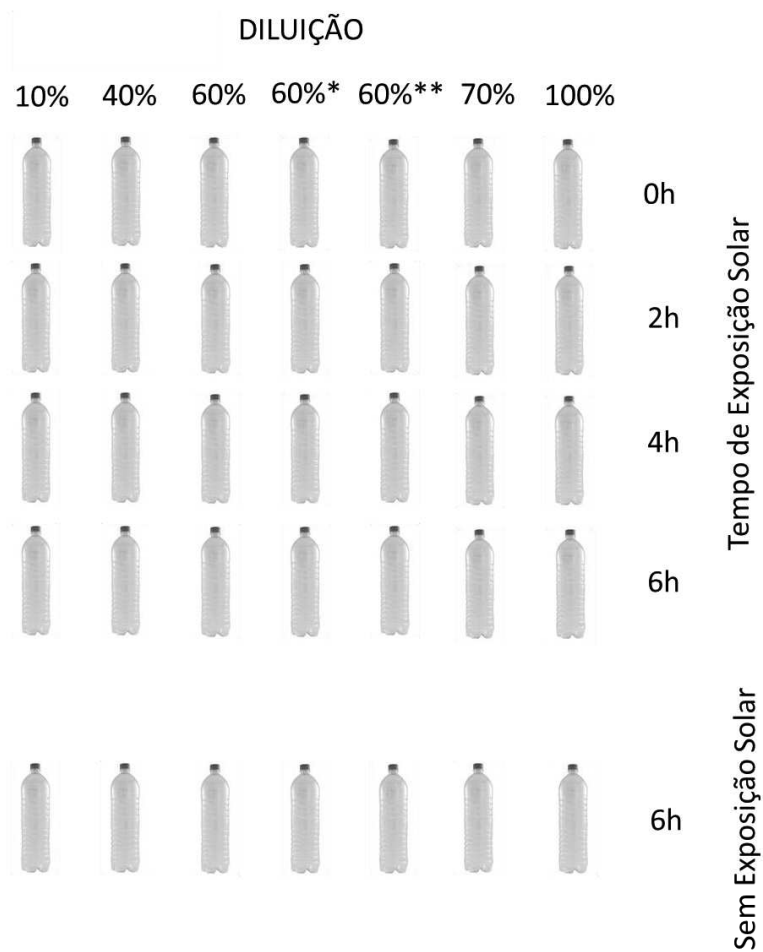


Figura 9 - Quantidade de amostras para o ensaio laboratorial
Fonte: Autor (2017).



Figura 10 - Garrafas PET expostas à radiação solar.
Fonte: Autor (2017)

3.5 DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS CLIMÁTICOS

A determinação dos parâmetros climáticos deu-se por meio de relatórios da estação automática Marechal Cândido Rondon-A820, código OMM 86916, do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET. As informações coletadas a cada 1 hora foram de temperatura, umidade, ponto de orvalho, pressão, vento, radiação e chuva.

3.6 DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS

As determinações dos parâmetros físico-químicos ocorreram no Laboratório de Análises Físico-Químicas do Serviço Autônomo de Água e Esgoto – SAAE da cidade de Marechal Cândido Rondon.

A temperatura de superfície foi medida com um termômetro digital de mira à laser (Figura 11) com precisão de $\pm 2\%$, emissividade de 0,95 e resolução de $0,1^{\circ}\text{C}$ no momento que as amostras foram retiradas do local da exposição.

O pH das amostras foi medido através do pHmetro digital de bancada da marca Lucadema® (Figura 12). O equipamento tem resolução de 0,01 e exatidão de $\pm 0,01$. As amostras foram adicionadas em um béquer e realizada a medição através de um eletrodo de vidro.

A medição da cor aparente ocorreu por meio do colorímetro microprocessado de bancada da marca AquaColor® (Figura 13) com sistema de leitura em RGB, entre 400 a 700 nm e com resultados expressos na faixa de 0,0 a 500 uC⁴.

A medida de turbidez deu-se com o turbidímetro da marca Ms Tecnopon® e modelo TB-1000 (Figura 14) com faixa de trabalho de 0 a 1000 NTU, resolução de 1 NTU, reprodutibilidade menor que 0,05% e com detectores fotovoltaicos de silício dispostos a 90° e 180° .

⁴ Unidades: 1 uC = 1 mg/L de Pt = 1 uH



Figura 11 - Termômetro digital
Fonte: Autor (2017)



Figura 12 - pHmetro digital Lucadema®
Fonte: Autor (2017)



Figura 13 - Colorímetro digital AquaColor®
Fonte: Autor (2017)



Figura 14 - Turbidímetro Ms TecnoPON®
Fonte: Autor (2017)

3.7 DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS BACTERIOLÓGICOS

A contagem microbiológica se deu por meio do método Colilert® por ser considerado um método de grande aplicabilidade posto a sua praticidade e rapidez da execução e utilização na SAAE de Marechal Cândido Rondon – PR.

Para a contagem dos coliformes totais e *Escherichia coli* presente na água, foi coletado 100 mL das amostras, colocados em embalagens de plástico específicos de coleta de água com pastilha de tiosulfato de sódio, adicionado o reagente Colilert®, agitado e refrigerados até o horário de incubação.

Foi transferido os 100 ml para uma cartela Colilert® estéril e então selada. As cartelas foram mantidas em uma incubadora a $35^{\circ} \pm 2^{\circ}\text{C}$ por 24h. Após dado o horário previsto, elas foram retiradas e foi anotado os valores positivos que obtiveram coloração amarela nos quadrados grandes e pequenos⁵ para identificação dos coliformes totais.

O mesmo procedimento foi realizado observando-se as cartelas em um equipamento de luz UV, de modo que os quadrados e pequenos a serem anotados foram os que desenvolverem uma luminescência azul característica, identificando a *Escherichia coli*.

Os resultados foram obtidos a partir da cartela padrão do método que correlaciona os valores observados nos quadrados grandes com aqueles observados nos quadrados pequenos. Após a correlação, os resultados foram expressos em Número Mais Provável de bactéria por 100 mL de amostra de água (NMP/100mL).

⁵ A cartela é composta de 49 quadros grandes e 48 quadros pequenos, totalizando 97 identificadores. Neste local está distribuído os 100 mL de cada amostra.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 DADOS DOS PARÂMETROS CLIMÁTICOS

A partir dos dados disponibilizados pelo INMET, pode-se observar que não houve ocorrência de chuva, entretanto, verificou-se uma incidência de nuvens e ventos de baixa velocidade, principalmente no período das 14 às 16 horas, fazendo com que parte dos raios solares fossem parcialmente bloqueados.

Foi constatado que a temperatura as 10 horas, no início do experimento, era de 19,7°C. Já as 16 horas, final do experimento, obteve-se 31,3°C, acarretando uma variação da temperatura de aproximadamente 11,4°C durante a exposição das amostras.

A radiação solar teve um acréscimo significativo durante o decorrer do dia, tendo seu primeiro valor positivo verificado às 10 horas, 1,685 kJ/m², e com o valor de pico de 2952 kJ/m² as 16 horas.

A Tabela 7 mostra um resumo dos resultados climáticos com variação de 1 hora entre 8 e 18 horas do dia 15 de setembro de 2017 na cidade de Marechal Cândido Rondon-PR. É possível também observar no Gráfico 1 que o intervalo de horário das 10 às 16 horas teve a maior acentuação nas temperaturas e radiação se comparado com os valores mensurados das 8 às 18 horas.

Tabela 7 - Dados climáticos do dia 15/09/17 em Marechal Cândido Rondon-PR

Hora (UTC)	Temperatura (°C)	Umidade (%)	Pressão (hPA)	Vento (m/s)	Radiação (kJ/m ²)	Chuva (mm)
08	19,5	80	968,7	0,4	-3,4	0,0
09	19,8	89	969,8	4,7	-3,5	0,0
10	19,7	93	970,5	5,0	1,7	0,0
11	20,8	89	971,2	1,4	249,9	0,0
12	22,7	81	972,4	3,9	735,5	0,0
13	24,0	72	972,9	6,6	1704,0	0,0
14	26,5	63	972,8	6,4	2087,0	0,0
15	29,0	49	972,2	5,8	2723,0	0,0
16	31,1	41	971,5	4,5	2952,0	0,0
17	31,7	38	970,7	5,5	2710,0	0,0
18	32,2	36	970,2	5,3	2607,0	0,0

Fonte: INMET (2017)

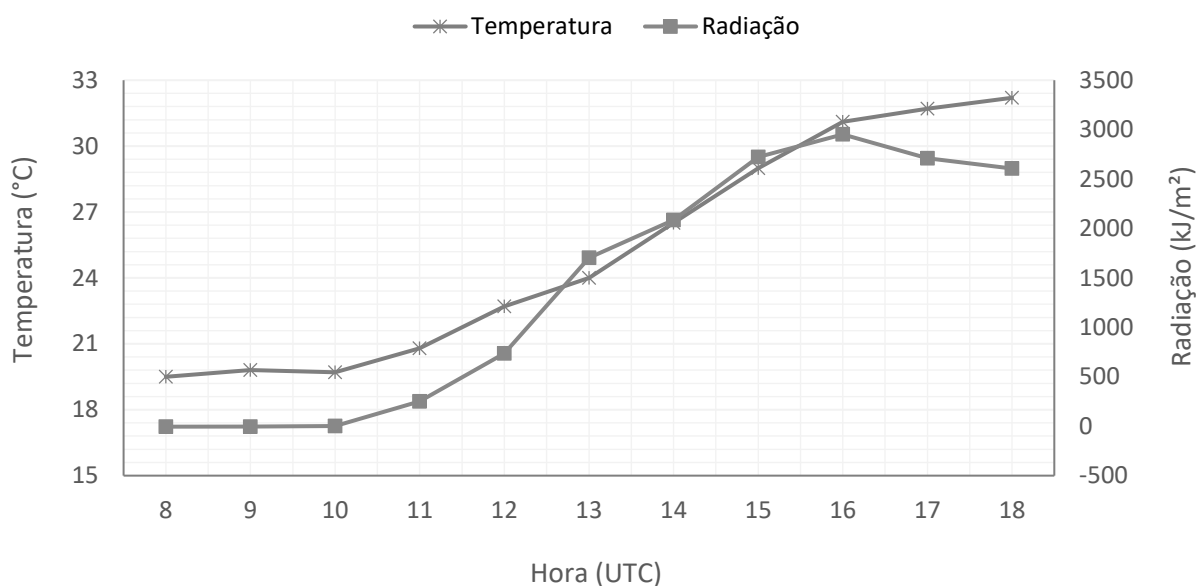


Gráfico 1 - Relação entre as horas e a temperatura e radiação
 Fonte: Autor (2017)

4.2 DADOS INICIAIS DAS DILUIÇÕES

No início do experimento, foram constatados os valores iniciais dos ensaios físico-químicos e bacteriológico de cada diluição, conforme apresentado na Tabela 8. A partir destes dados, foram realizadas as análises concernente à metodologia proposta.

Tabela 8 - Dados iniciais das diluições

Ensaio	Diluição				
	10%	40%	60%	70%	100%
Temperatura (°C)	24,8	24,5	24,0	23,2	23,2
Cor Aparente (uC)	12,4	30,2	42,9	49,9	73,8
pH	6,1	6,2	6,3	6,5	6,7
Turbidez (NTU)	3,1	10,9	23,7	34,0	51,0
Coliformes Totais (NMP/100mL)	<2419,2 ⁶	<2419,2	<2419,2	<2419,2	<2419,2
<i>Escherichia coli</i> (NMP/100mL)	29,8	86,0	182,1	201,4	275,5

Fonte: Autor (2017)

⁶ Valor máximo que o método de contagem é capaz de mensurar.

4.3 DADOS DOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS

Durante a exposição solar, foi registrado um aumento da temperatura das amostras até às 14 horas. Contudo, a partir deste horário, houve um pequeno declínio por conta da incidência de nuvens no local, contribuindo para que os raios solares não atingissem as garrafas expostas. A Tabela 9 apresenta de forma geral os dados coletados.

Tabela 9 - Dados de temperatura das amostras (°C)

Hora (UTC)	Tempo	Diluição					Estatística	
		10%	40%	60%	70%	100%	Média	Desvio padrão
Com Exposição Solar								
10h	0h	24,8	24,5	24,0	23,2	23,2	23,9	0,797
12h	2h	35,8	36,1	35,7	36,3	36,8	36,1	0,734
14h	4h	40,0	40,2	41,1	41,1	42,8	41,0	0,932
16h	6h	37,9	38,3	39,9	39,9	40,9	39,5	1,081
Sem Exposição Solar								
16h	6h	23,1	22,8	22,5	22,4	22,8	22,7	0,288

Fonte: Autor (2017)

As garrafas que não foram expostas ao sol, ficaram em uma sala fechada e climatizada à 23°C por um período de 6 horas. Isso justifica o fato de seus resultados terem valores muito próximos entre si, como também apresentarem os menores valores registrados de temperatura das amostras. Já a máxima temperatura averiguada foi de 42°C da amostra com diluição de 100% que ficou exposta ao sol durante 4 horas.

Em um aspecto geral, pode-se observar que os valores dos parâmetros mensurados no mesmo intervalo de tempo foram bem próximos, conforme representado pelo cálculo do desvio padrão. Os resultados obtidos da triplicata da diluição 60% não obtiveram variações significativas de possíveis erros, obtendo um desvio padrão máximo de 1,044 conforme apresentado na Tabela 10.

Tabela 10 - Dados da triplicata: Temperatura (°C)

Horas (UTC)	Tempo	Diluição			Estatística	
		60%	60*%	60**%	Média	Desvio Padrão
Com exposição solar						
10h	0h	23,4	24,9	23,6	24,0	0,814
12h	2h	36,9	35,0	35,2	35,7	1,044
14h	4h	41,5	41,0	40,7	41,1	0,404
16h	6h	40,1	40,2	39,3	39,9	0,493
Sem exposição solar						
16h	6h	22,7	22,3	22,4	22,5	0,208

Fonte: Autor (2017)

Diante do exposto, foi traçado o Gráfico 2 referente a variação de temperatura entre as 10 e 16 horas das garrafas que foram expostas ao sol. É possível averiguar o decaimento da temperatura das amostras nas últimas horas por conta das nuvens presentes no local, uma vez que a radiação solar teve um aumento neste período segundo o INMET (2017).

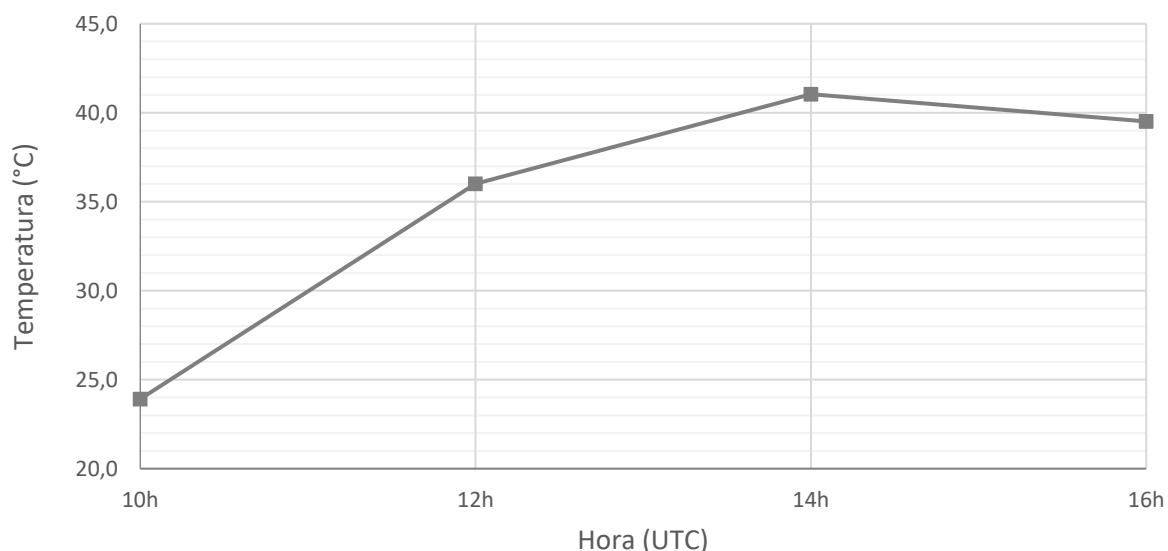


Gráfico 2 - Temperatura média das amostras após a exposição solar

Fonte: Autor (2017)

A cor aparente manteve uma nítida progressão conforme o aumento da concentração das amostras. Isso ocorre devido a existência de substâncias dissolvidas, na maioria dos casos de natureza orgânica. Como as amostras não

foram filtradas, o resultado obtido leva também em consideração a presença de substâncias em suspensão.

Isso pode ser notado com a diferença encontrada nas garrafas expostas ao sol que foram agitadas esporadicamente e com as amostras que não tiveram exposição solar e ficaram em repouso. Embora tenha sido notado visualmente um decaimento de sedimentos conforme o passar do tempo, no momento em que as amostras foram retiradas do local e levadas até o laboratório para a realização dos ensaios, foi o suficiente para uma parte das partículas ficarem novamente em suspensão, fazendo com que houvesse uma variação nos resultados intermediários.

O maior valor encontrado refere-se à diluição de 100% com o valor de 74,9 uC. Já o menor valor de cor aparente foi observado na amostra de diluição de 10% com um valor de 6,3 uC.

A Tabela 11 apresenta os dados coletados, junto com a média e o desvio padrão dos resultados obtidos.

Tabela 11 - Dados de cor aparente das amostras (uC)

Hora (UTC)	Tempo	Diluição				
		10%	40%	60%	70%	100%
Com Exposição Solar						
10h	0h	12,4	30,2	42,9	49,9	73,8
12h	2h	10,0	36,0	42,5	49,2	74,9
14h	4h	10,8	37,3	44,7	52,9	69,9
16h	6h	6,4	31,8	42,1	51,2	70,1
Média		9,9	33,8	43,0	50,8	72,2
Desvio padrão		2,538	3,369	1,170	1,627	2,553
Sem Exposição Solar						
16h	6h	6,3	32,7	42,4	48,8	70,3

Fonte: Autor (2017)

Os valores obtidos das amostras da triplicata da diluição 60% não demonstraram variações significativas, apresentando um máximo desvio padrão de 4,822, conforme exibido na Tabela 12.

Tabela 12 - Dados da triplicata: Cor aparente (uC)

Horas (UTC)	Tempo	Diluição			Estatística	
		60%	60*%	60**%	Média	Desvio Padrão
Com exposição solar						
10h	0h	39,7	42,6	46,3	42,9	3,308
12h	2h	40,2	45,1	42,1	42,5	2,470
14h	4h	43,7	47,2	43,3	44,7	2,146
16h	6h	44,1	36,6	45,6	42,1	4,822
Sem exposição solar						
16h	6h	41,6	41,1	44,6	42,4	1,893

Fonte: Autor (2017)

A fim de avaliar a regressão linear e o ajuste do modelo estatístico em relação aos valores observados, traçou-se o Gráfico 3 com a média dos resultados obtidos na Tabela 11 e com a interpolação das diluições faltantes. Foi constatado no resultado um coeficiente de determinação - R^2 de 0,9947. Ou seja, 99,47% da variável dependente consegue ser explicada pelos regressores presentes no modelo, tendo um ótimo ajuste as amostras.

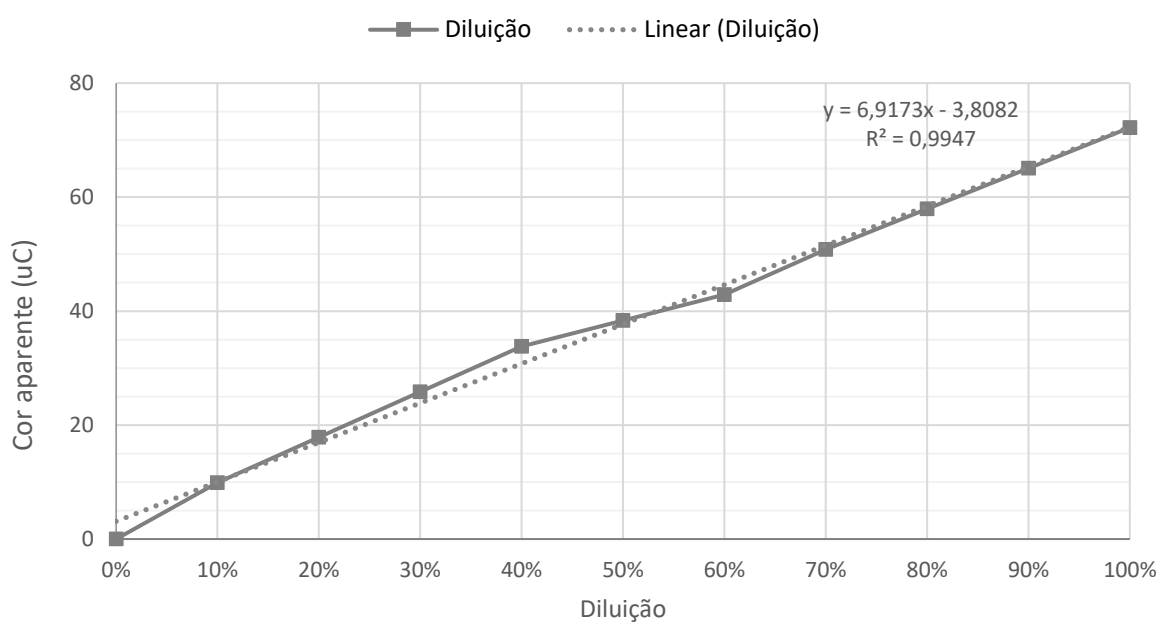


Gráfico 3 - Regressão linear e coeficiente de determinação dos dados de cor aparente
Fonte: Autor (2017)

O pH não sofreu variações significativas durante o processo de exposição solar conforme demonstrado os valores de desvio padrão das amostras na Tabela 13.

Tabela 13 - Dados de pH das amostras

Hora (UTC)	Tempo	Diluição					Estatística	
		10%	40%	60%	70%	100%	Média	Desvio padrão
Com Exposição Solar								
10h	0h	6,1	6,2	6,3	6,5	6,7	6,3	0,797
12h	2h	6,2	6,5	6,5	6,7	6,7	6,5	0,734
14h	4h	6,3	6,6	6,6	6,6	6,7	6,5	0,932
16h	6h	6,4	6,6	6,6	6,5	6,6	6,5	1,081
Sem Exposição Solar								
16h	6h	6,0	6,2	6,2	6,4	6,7		

Fonte: Autor (2017)

Da mesma forma, os resultados da triplicata estiveram muito próximos do resultado da diluição de 60%, averiguando desvios padrões bem baixos, conforme demonstrado na Tabela 14.

Tabela 14 - Dados da triplicata: pH

Horas (UTC)	Tempo	Diluição			Estatística	
		60%	60*%	60***%	Média	Desvio Padrão
Com exposição solar						
10h	0h	6,3	6,3	6,4	6,3	0,066
12h	2h	6,6	6,4	6,6	6,5	0,089
14h	4h	6,6	6,6	6,5	6,6	0,081
16h	6h	6,6	6,7	6,6	6,6	0,038
Sem exposição solar						
16h	6h	6,2	6,2	6,3	6,2	0,012

Fonte: Autor (2017)

No Gráfico 4, é possível verificar uma pequena ascendência do pH tanto nas amostras expostas ao sol quanto nas amostras sem exposição. Isso ocorreu em referência a quantidade de água destilada utilizada na diluição, quanto mais diluída era a amostra, menor o pH averiguado.

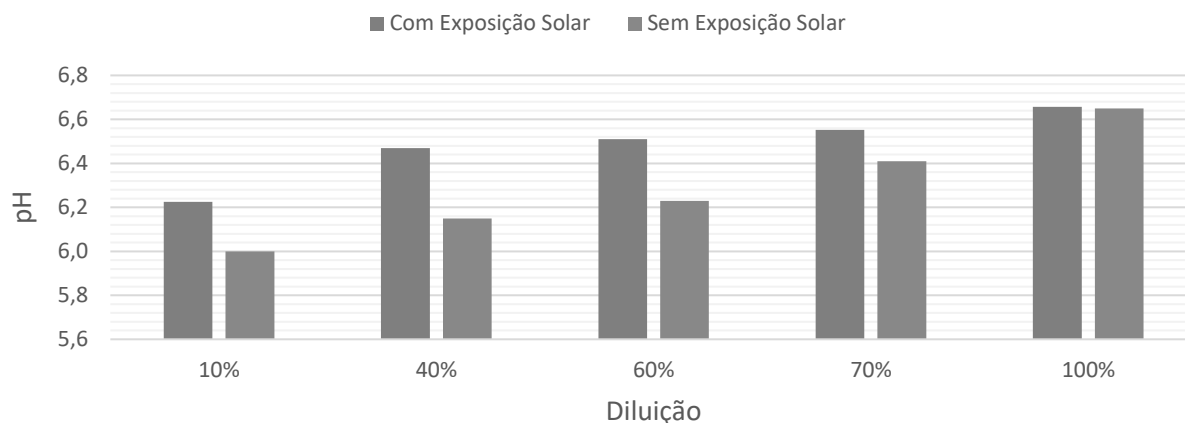


Gráfico 4 - Aumento do pH conforme a diluição
Fonte: Autor (2017)

Por fim, a turbidez apresentou variações de acordo com a diluição realizada. Conforme apresentado na Tabela 15, quanto menos diluída era a amostra, maior era a concentração de materiais em suspensão e, conseqüentemente, mais turva.

Tabela 15 - Dados de turbidez das amostras (NTU)

Hora (UTC)	Tempo	Diluição				
		10%	40%	60%	70%	100%
Com Exposição Solar						
10h	0h	3,1	10,9	23,7	34	51
12h	2h	3,9	8,5	20,3	30	46
14h	4h	3,4	8,3	17,7	30	45
16h	6h	2,6	7,1	15,5	25	44
	Média	3,3	8,7	19,3	29,8	46,5
	Desvio padrão	0,545	1,592	3,523	3,686	3,109
Sem Exposição Solar						
16h	6h	2,2	7	16,3	22	40

Fonte: Autor (2017)

Os valores obtidos das amostras da triplicata da diluição 60% não demonstraram variações significativas, apresentando um máximo desvio padrão de 3,786, conforme exibido na Tabela 16.

Tabela 16 - Dados da triplicata: Turbidez das amostras (NTU)

Horas (UTC)	Tempo	Diluição			Estatística	
		60%	60*%	60**%	Média	Desvio Padrão
Com exposição solar						
10h	0h	25,0	22,0	24,0	23,7	1,528
12h	2h	23,0	16,0	22,0	20,3	3,786
14h	4h	19,2	16,7	17,1	17,7	1,343
16h	6h	15,7	15,5	15,3	15,5	0,200
Sem exposição solar						
16h	6h	16,0	15,2	17,6	16,3	1,222

Fonte: Autor (2017)

Para uma melhor apresentação, foi traçado o Gráfico 5 com a média das amostras de cada diluição e interpolado os dados das diluições faltantes. Na verificação do ajuste dos resultados, a regressão polinomial de segundo grau foi a que obteve uma resposta mais satisfatória com um coeficiente de determinação - R^2 de 0,9861.

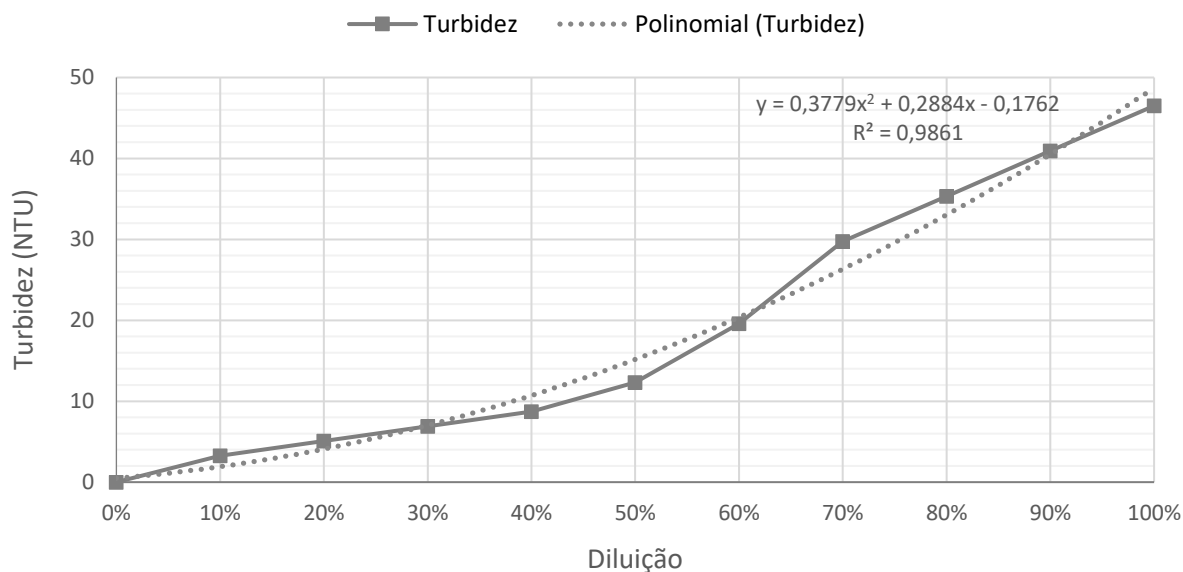


Gráfico 5 - Relação da turbidez com a diluição das amostras

Fonte: Autor (2017)

Outro ponto observado foi quanto a diminuição da turbidez referente ao tempo de exposição solar. Embora as garrafas expostas ao sol tenham sido agitadas esporadicamente, não foi o suficiente para que ela permanecesse com a turbidez inicial. Já as garrafas que ficaram sem exposição solar não foram agitadas, fazendo com que obtivessem os menores números de turbidez dentre os resultados analisados.

Esse fenômeno ocorre, pois, em fluidos em movimento, como é o caso da água de estudo que foi captada de um córrego, a maior parte da turvação é devida a presença de sólidos suspensos de dimensão apreciável que em condições de menor dinamismo sedimentam rapidamente. A outra parte é composta de partículas coloidais que tendem a sedimentar mais lentamente.

Analisando o desvio padrão das amostras, pode-se perceber que há um acréscimo no valor conforme o aumento da concentração da água. As amostras com diluição de 10% e 40% obtiveram uma pequena variação se comparado com as diluições de 60%, 70% e 100%.

Isso se deve pelo fato de haver uma maior quantidade de partículas grosseiras nas amostras mais concentradas, fazendo com que a sedimentação ocorra com maior velocidade, ocasionando uma maior variação de turbidez. Já nas amostras mais diluídas existem menos partículas, fazendo com que ocorra uma menor variação entre os resultados.

O Gráfico 6 demonstra o decaimento da turbidez em função da sedimentação das partículas das amostras de cada diluição.

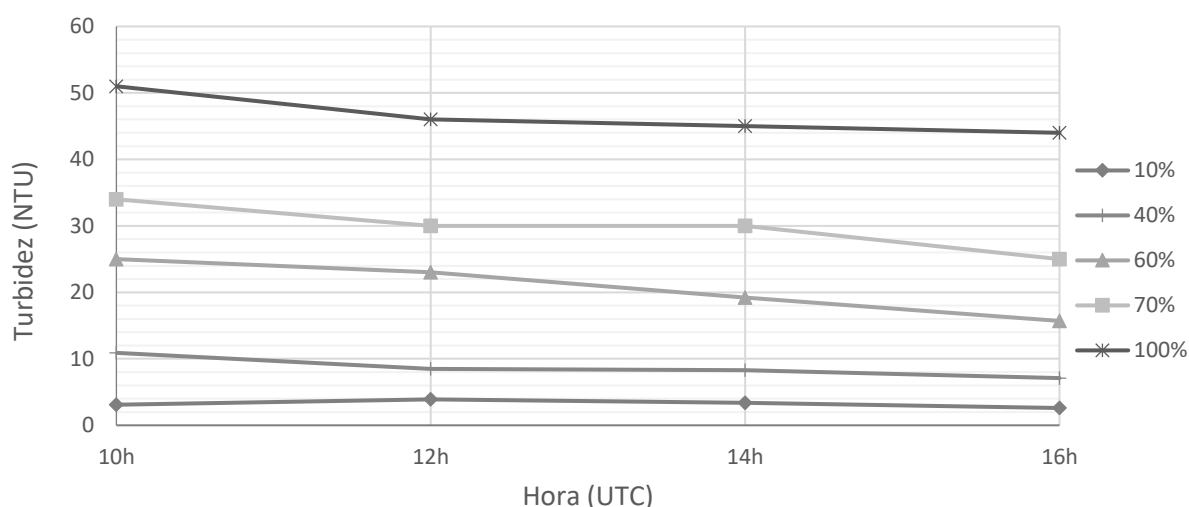


Gráfico 6 - Decaimento da turbidez em função da sedimentação das partículas
Fonte: Autor (2017)

4.4 DADOS DOS PARÂMETROS BACTERIOLÓGICOS

Devido ao método utilizado de contagem bacteriológica apresentar um limite na quantificação de coliformes (2419,2 NMP/100mL), não foi possível averiguar de forma analítica o decaimento do grupo dos coliformes totais, já que a água utilizada extrapolou este limite. A Tabela 17 apresenta os resultados observados.

Tabela 17 - Dados de coliformes totais (NMP/100mL)

Hora (UTC)	Tempo	Diluição				
		10%	40%	60%	70%	100%
Com Exposição Solar						
10h	0h	>2419,2	>2419,2	>2419,2	>2419,2	>2419,2
12h	2h	>2419,2	>2419,2	>2419,2	>2419,2	>2419,2
14h	4h	770,1	>2419,2	>2419,2	>2419,2	>2419,2
16h	6h	124,6	387,3	1078,6	1203,31	1782,87
Sem Exposição Solar						
16h	6h	>2419,2	>2419,2	>2419,2	>2419,2	>2419,2

Fonte: Autor (2017)

É possível observar que o primeiro decaimento aparente, nas amostras que ficaram expostas ao sol, ocorreu às 14 horas na diluição de 10%. Já às 16 horas, é possível averiguar que em todas as diluições houve a redução aparente, sendo esta redução menor nas amostras mais concentradas, com uma variação de 1658,27 NMP/100mL entre a amostra de 10% e de 100%.

As garrafas que não tiveram exposição solar obtiveram o valor limite do aparelho registrado, ou seja, não é possível afirmar caso houve algum decaimento ou proliferação das bactérias, mas pode-se reconhecer que, se comparado com as amostras expostas ao sol, a utilização da radiação solar contribui de forma mais eficaz na redução de coliformes totais.

O Gráfico 7 apresenta a comparação das amostras que foram e não foram expostas a radiação solar após 6 horas. Já o Gráfico 8 apresenta o

decaimento dos coliformes totais em relação a diluição e o tempo de exposição solar das amostras.

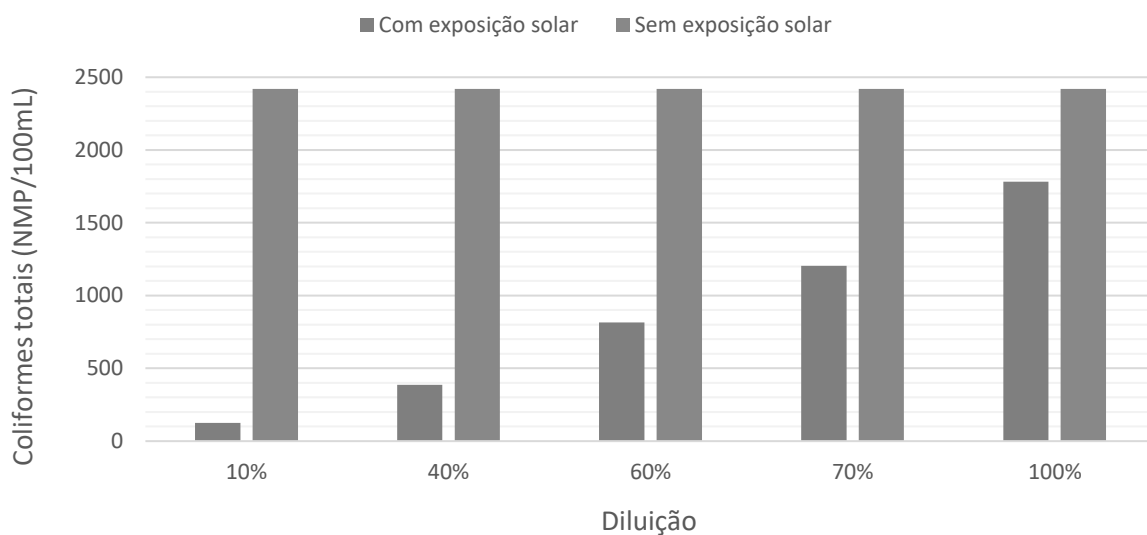


Gráfico 7 - Comparação das amostras com e sem exposição à radiação solar após 6 horas das amostras de coliformes totais
Fonte: Autor (2017)

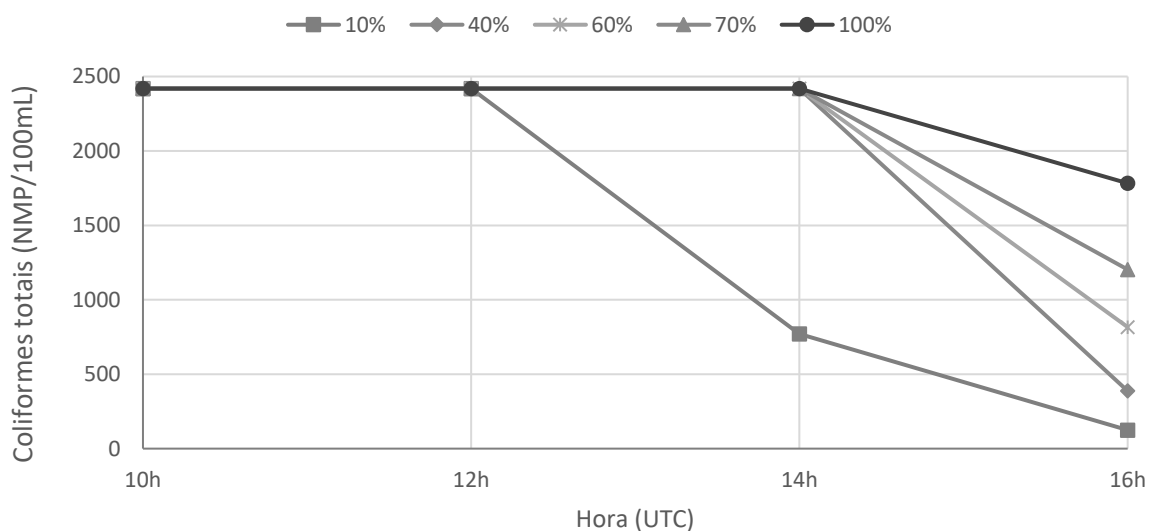


Gráfico 8 - Decaimento dos coliformes totais em relação a diluição e o tempo de exposição solar das amostras
Fonte: Autor (2017)

Duas diluições de 60% tiveram pouca variação nos resultados as 16 horas, enquanto a outra obteve um resultado discrepante, conforme pode ser verificado na Tabela 18.

Tabela 18 - Dados da triplicata: Coliformes totais (NMP/100mL)

Horas (UTC)	Tempo experimental	Diluição			Estatística	
		60%	60*%	60***%	Média	Desvio Padrão
Com exposição solar						
10h	0h	>2419,2	>2419,2	>2419,2	>2419,2	0,000
12h	2h	>2419,2	>2419,2	>2419,2	>2419,2	0,000
14h	4h	>2419,2	>2419,2	>2419,2	>2419,2	0,000
16h	6h	816,4	1553,07	866,4	1078,6	411,643
Sem exposição solar						
16h	6h	>2419,2	>2419,2	>2419,2	>2419,2	0,000

Fonte: Autor (2017)

Essa diferença deve-se ao fato, supostamente, a um erro de leitura das cartelas de contagem, já que em algumas situações é um pouco incerto a compreensão da cor por conta da sua tenuidade entre o transparente e a pigmentação fraca da cor amarela.

A Figura 15 mostra um exemplo dessas cartelas utilizadas na avaliação e com alguns casos de variação de intensidade de cores nos quadriculados.

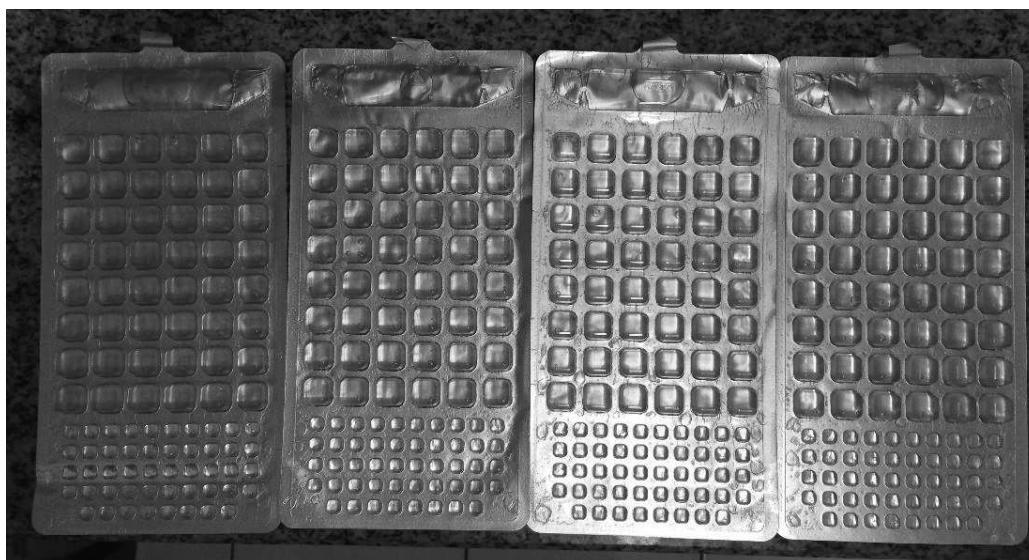


Figura 15 - Exemplo de cartelas utilizadas na avaliação bacteriológica
Fonte: Autor (2017)

Outro fator que pode ter sido determinante, é a contaminação da amostra, já que o procedimento bacteriológico requer bastante atenção e cuidado. Os ensaios da triplicata ocorreram logo após os ensaios da amostra de diluição 100%, ou seja, a

amostra que tem o maior nível bacteriológico. Para utilizarmos os 100 mL necessários para o ensaio, foi utilizado um béquer como recipiente e, embora tenha havido precaução com o procedimento de desinfecção antes de ser colocada a nova amostra, pode ter ocorrido uma pequena contaminação.

Diferente dos coliformes totais, a *Escherichia coli* teve a maior concentração observada no tempo 0h e na diluição 100% com o valor de 275,5 NMP/100mL, ou seja, abaixo do limite do aparelho, podendo ser averiguado de forma analítica o comportamento bacteriológico referente ao tempo de exposição solar de todas as amostras.

Na Tabela 19, pode-se observar o decaimento do número de *Escherichia coli* conforme a exposição solar. É possível averiguar às 14 horas da diluição de 10% e às 16 horas da diluição de 40% que houve a desinfecção total da bactéria. Nesta mesma hora, as diluições de 60% e 70% estiveram bem próximas de ter a desinfecção por completa. Já a diluição de 100% houve ainda 26,9 NMP/100mL de bactérias para ser desinfetada totalmente.

Tabela 19 - Dados de *Escherichia coli* (NMP/100mL)

Hora (UTC)	Tempo	Diluição				
		10%	40%	60%	70%	100%
Com Exposição Solar						
10h	0h	29,8	86	182,1	201,4	275,5
12h	2h	13,4	34,1	78,4	98,5	151,5
14h	4h	<1	6,3	15,6	28,5	35,4
16h	6h	<1	<1	4,1	3,1	26,9
Sem Exposição Solar						
16h	6h	30,9	117,8	136,6	159,7	275,5

Fonte: Autor (2017)

As amostras que não foram expostas ao sol não tiveram uma variação bacteriológica significativa se comparado ao tempo 0h. Houve um pequeno aumento nas diluições de 10%, 40% e 60% e um declínio na 70%. A diluição de 100% teve o mesmo resultado apresentado após 6 horas. Essas variações podem ter múltiplas causas, como por exemplo, proliferação bacteriana, deposição de bactérias junto a

sedimentação do material suspenso e interpretação pessoal na leitura dos resultados.

O Gráfico 9 apresenta a comparação das amostras que foram e não foram expostas a radiação solar após 6 horas. Já o Gráfico 10 apresenta o decaimento dos coliformes totais em relação a diluição e o tempo de exposição solar das amostras.

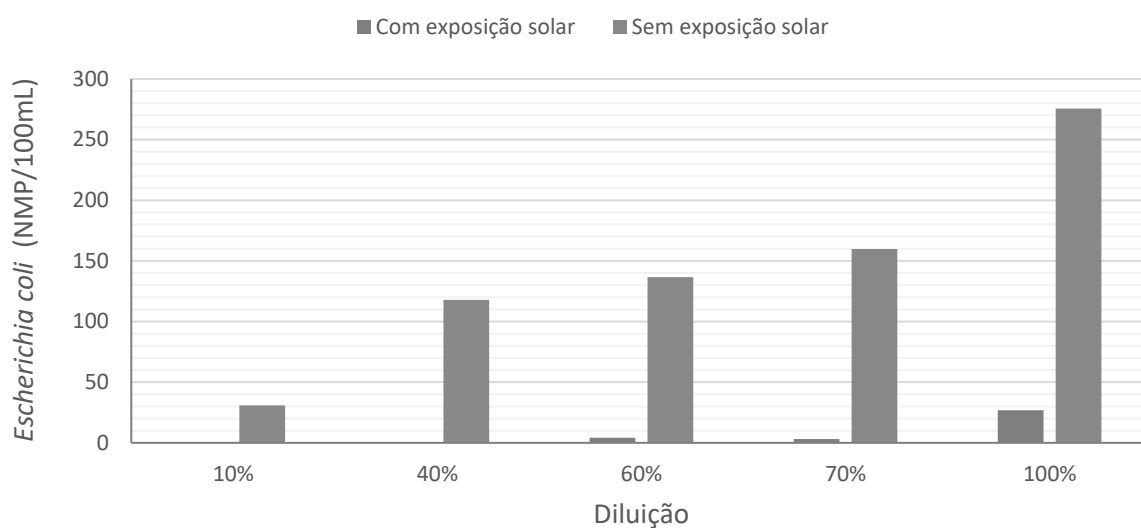


Gráfico 9 - Comparação das amostras de *Escherichia coli* com e sem exposição à radiação solar após 6 horas

Fonte: Autor (2017)

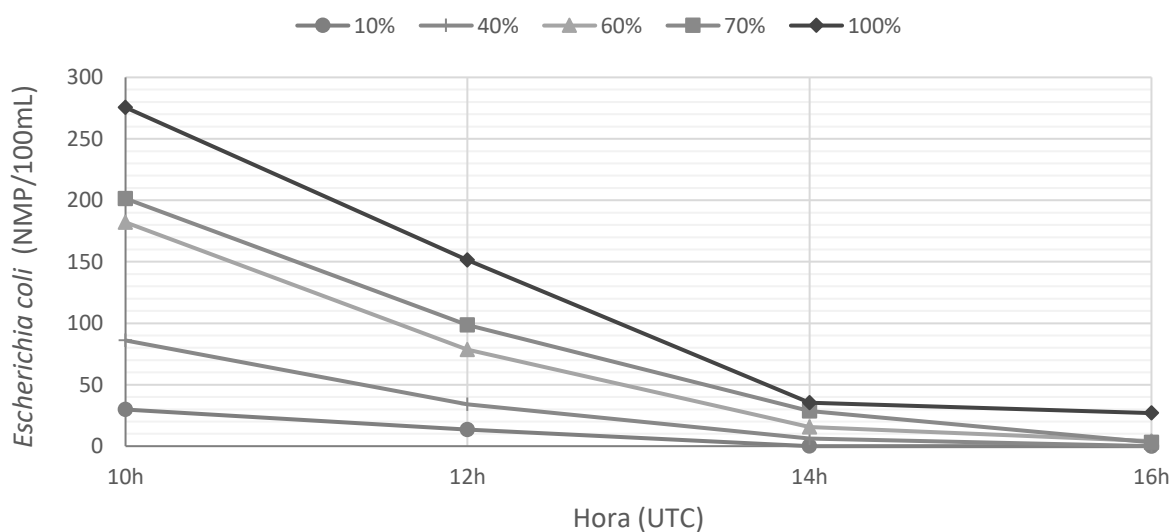


Gráfico 10 - Decaimento da *Escherichia coli* em relação a diluição e o tempo de exposição solar das amostras

Fonte: Autor (2017)

A triplicata teve valores discrepantes significativos somente no tempo experimental 0, conforme pode ser notado na Tabela 20. Isso pode ter ocorrido pelos motivos já citados anteriormente para os coliformes totais.

Tabela 20 - Dados da triplicata: *Escherichia coli* (NMP/100mL)

Horas (UTC)	Tempo experimental	Diluição			Estatística	
		60%	60**%	60***%	Média	Desvio Padrão
Com exposição solar						
10h	0	116,9	224,7	204,6	182,1	57,324
12h	2	63,1	76,3	95,9	78,4	16,504
14h	4	14,3	13,1	19,3	15,6	3,288
16h	6	3	6,3	3,1	4,1	1,877
Sem exposição solar						
16h	6	121,1	133,4	155,3	136,6	17,323

Fonte: Autor (2017)

Para traçar os resultados, a contagem deu-se nas mesmas cartelas já apresentadas, contudo expostas à luz ultravioleta. A coloração dos quadrados contaminados tinha uma luminescência azul característica, conforme apresentado na comparação da Figura 16.



a) Cartela sem presença de *E. coli*



b) Cartela com presença de *E. coli*

Figura 16 - Comparação de amostras com e sem presença de *Escherichia coli*

Fonte: Autor (2017)

4.5 CORRELAÇÃO DE DADOS

A menor e maior temperatura averiguada no estudo foi de 22,4°C e 42,8°C das amostras com diluição 60% e 100%, respectivamente. A *Escherichia coli* está vinculada no grupo das bactérias mesófilas, o qual seu desenvolvimento e crescimento ocorre em condições de temperatura moderada, entre os 15°C e 40°C. Nas amostras que não foram submetidas a radiação solar, foi possível averiguar somente uma pequena variação em sua quantidade com uma temperatura média de 22,6°C. O Gráfico 11 representa a relação da temperatura com a variação da concentração de *Escherichia coli* em um intervalo de 6 horas nas amostras que não foram expostas ao sol.

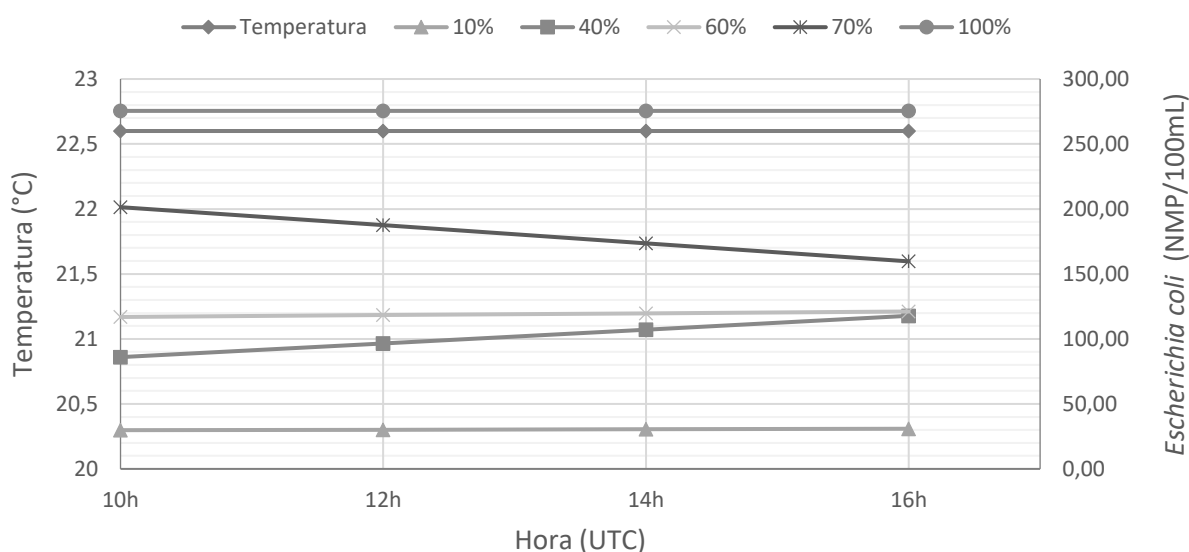


Gráfico 11 - Relação da temperatura com a variação da concentração de *Escherichia coli* em um intervalo de 6 horas nas amostras que não foram expostas ao sol

Fonte: Autor (2017)

Nas amostras que foram expostas ao sol, houve um aumento médio de 17,1°C da temperatura, chegando a uma temperatura média registrada de 41°C. Mesmo enquadrado dentro do intervalo de desenvolvimento das bactérias, as amostras tiveram um decaimento significativo da quantidade de coliformes com o decorrer do tempo. O Gráfico 12 representa a relação da temperatura com a variação da concentração de *Escherichia coli* em um intervalo de 6 horas das amostras que foram expostas ao sol.

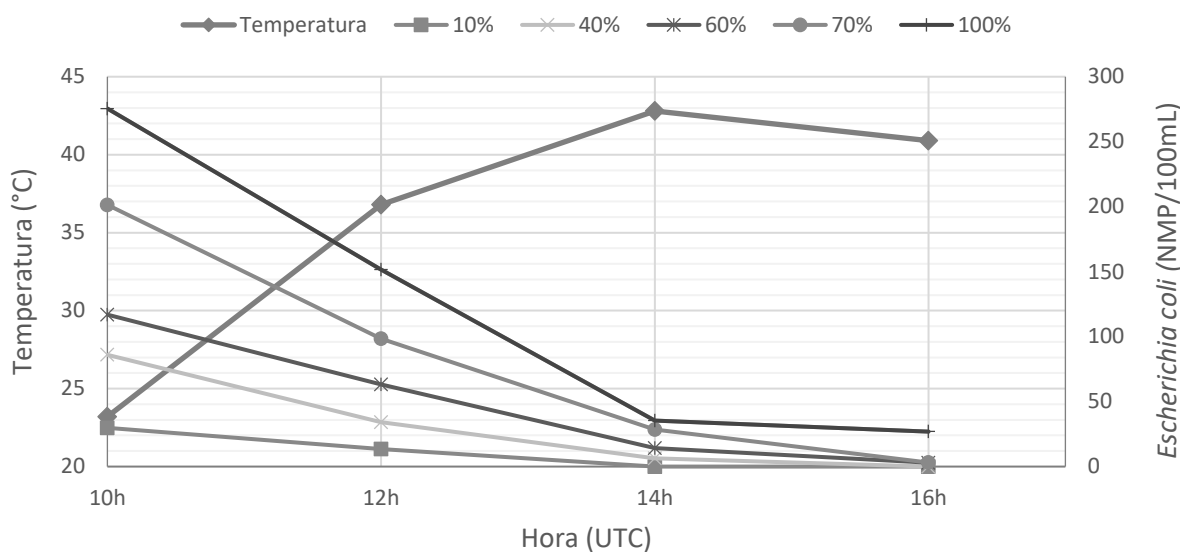


Gráfico 12 - Relação da temperatura com a variação da concentração de *Escherichia coli* em um intervalo de 6 horas das amostras que foram expostas ao sol
 Fonte: Autor (2017)

Embora as garrafas não tiveram uma temperatura suficiente para causar o processo de pasteurização, foi possível verificar que ocorreu o processo de desinfecção. Como pode ser observado no Gráfico 13, a potência solar teve um aumento significativo de radiação até as 16 horas, tendo a dose necessária de $6,6 \text{ mW/cm}^2$ para contribuir com a desinfecção da *Escherichia coli*, conforme demonstrado anteriormente na Tabela 6.

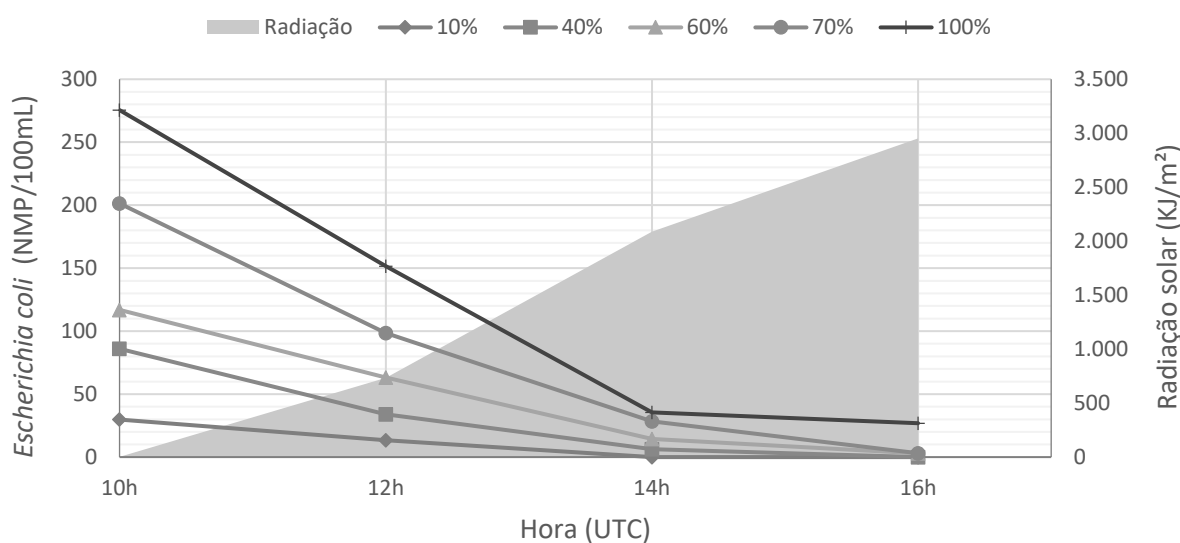


Gráfico 13 - Relação entre a radiação solar e o decaimento da bactéria *Escherichia coli*
 Fonte: Autor (2017)

⁷ $6,6 \text{ mW/cm}^2 = 0,0066 \text{ KJ/m}^2$

Como a desinfecção ocorreu por meio da radiação solar e não pela temperatura das amostras, o excesso de nuvens nas últimas duras horas fizeram com que ocorresse uma diminuição neste processo, mesmo com uma radiação elevada. Este alto índice energético também não foi o suficiente para que a amostra com 100% de diluição tivesse um desempenho satisfatório na desinfecção como as outras amostras nas duas últimas horas do ensaio. Além disso, somente as diluições de 10% e 40% foram desinfetadas após 6 horas de exposição solar.

Isso ocorre pelo fato de existir partículas em suspensão no interior da amostra, fazendo com se crie uma barreira entre as bactérias e a radiação. O Gráfico 14 demonstra do decaimento de *Escherichia coli* em relação a turbidez média das amostras.

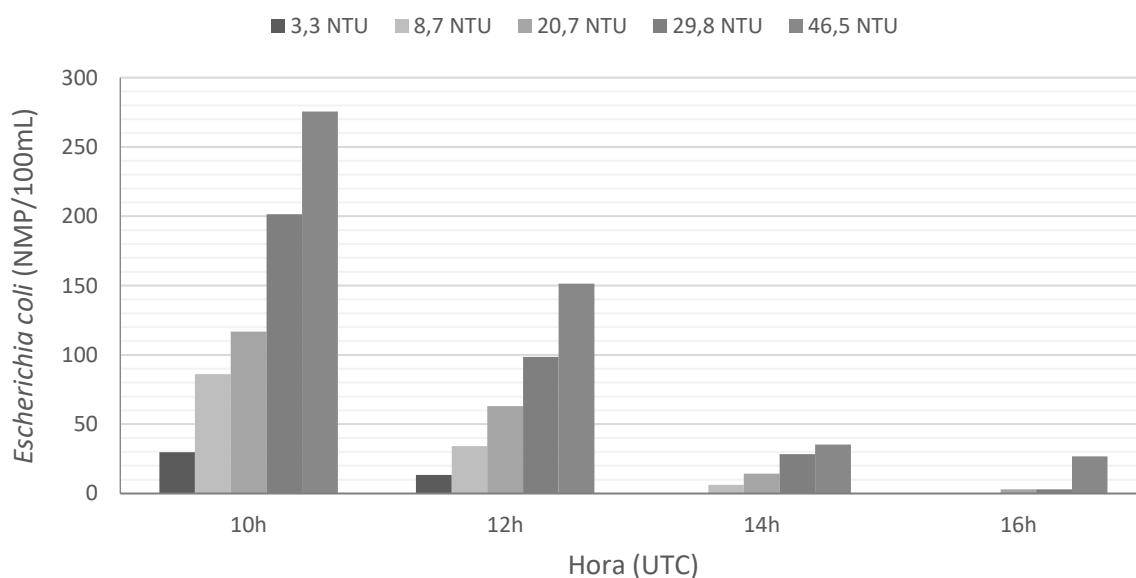


Gráfico 14 - Decaimento de *Escherichia coli* em relação a turbidez média das amostras
Fonte: Autor (2017)

Dentro dos parâmetros físico-químicos, bacteriológicos e climáticos já apresentados anteriormente, é possível verificar que para uma turbidez de 2,6 a 3,9 NTU, foi possível erradicar a *Escherichia coli* com 4 horas de exposição solar. Para uma turbidez entre 7,1 e 10,9 NTU, foram necessárias 6 horas de radiação.

No intervalo entre 15,3 e 34,0 NTU, embora o desempenho da desinfecção tenha sido alto, não foi possível erradicar a bactéria totalmente, havendo, após 6 horas de radiação, a presença de aproximadamente 3 NMP/100mL de *Escherichia coli*. Já para o intervalo de 44 a 51 NTU, houve um grande

decaimento da quantidade do microrganismo no início do experimento conforme a energia era penetrada nas amostras.

Contudo, o alto índice de partículas em suspensão fez com que algumas bactérias estivessem protegidas da radiação e, no último intervalo de duas horas de exposição solar, a taxa de variação de decaimento do microrganismo foi baixo, com uma diferença de aproximadamente 3% de bactérias erradicadas. No mesmo intervalo de tempo, as amostras que tiveram turbidez inferior chegaram a apresentar uma diferença de até 12%, ou seja, 4 vezes superior.

A Tabela 21 apresenta os valores de decaimento bacteriológico em percentagem em relação a unidade de turbidez média das amostras em ordem crescente.

Tabela 21 - Desinfecção da *Escherichia coli* (%) em relação à turbidez média

Hora (UTC)	Tempo experimental	Turbidez (NTU)				
		3,3	8,7	20,7	29,8	46,5
Com Exposição Solar						
10h	0h	0%	0%	0%	0%	0%
12h	2h	55%	60%	57%	51%	45%
14h	4h	100%	93%	91%	86%	87%
16h	6h	100%	100%	98%	98%	90%

Fonte: Autor (2017)

Quanto aos coliformes totais, conforme apresentado anteriormente, somente é possível fazer análise dos seus resultados quando estes estiveram delimitados entre o valor inicial e o valor limite do método utilizado para desinfecção. Como a maioria dos resultados estiveram acima deste valor, poucas afirmações podem ser feitas.

Se considerarmos a relação entre as amostras que estiveram expostas ao sol com as que não sofreram interferência da radiação, é possível afirmar que o método também é capaz de realizar a diminuição deste grupo de coliformes.

Embora não se sabe a variação que tiveram os coliformes totais com a ausência da radiação após 6 horas, eles continuaram com o resultado acima do limite do aparelho, diferentemente dos que receberam a energia do sol. Após 4

horas, é possível visualizar o decaimento da amostra mais diluída, e após 6 horas o restante das amostras, conforme já mostrado no Gráfico 8 e Gráfico 9.

Analisando de forma crítica o decaimento dos coliformes totais da amostra de 10% que resultou com dois valores conhecidos, 770,1 NMP/100mL às 14 horas e 124,6 NMP/100mL às 16 horas, é possível perceber, em relação a estes valores, que houve uma variação de aproximadamente 84% da população bacteriana, superando a porcentagem de variações da *Escherichia coli*, a qual a maior variação apresentada foi de 66% da amostra 60% entre 10h e 12 horas.

Para realizar a correlação com a turbidez, seria necessário pelo menos uma ou mais amostras com pelo menos dois pontos, uma vez que não é conhecido o valor exato inicial das bactérias.

5 CONCLUSÃO

Embora a água seja um recurso imprescindível aos seres vivos, ela é constituída de inúmeras substâncias, quando in natura, que podem ser prejudiciais à saúde humana, principalmente quando está incorporada de agentes patogênicos. Atualmente, milhões de pessoas ao redor do mundo não têm acesso a água de boa qualidade para o consumo, ou seja, não há sistemas de tratamento de água, fazendo com que haja um alto risco de doenças serem transmitidas, contribuindo com a expansão de epidemias e o aumento do número de óbitos causados por falta de saneamento.

Para auxiliar no melhoramento da qualidade da água, existem vários métodos de desinfecção de microrganismos, mas nem sempre eles são viáveis ambientalmente ou economicamente, além de não estarem disponíveis para grande parte da população pela difícil aplicabilidade em pequenas comunidades de baixa renda.

A fim de averiguar a utilização da radiação solar como desinfetante de água e, conseqüentemente, dizimar uma parte das doenças de veiculação hídrica, este trabalho teve como proposta apresentar uma análise na eficácia do método como inativador de agentes patogênicos e averiguar a influência que a turbidez da água pode causar no processo. As conclusões obtidas foram:

- A utilização da radiação solar é capaz de realizar a diminuição das bactérias do grupo coliformes totais e *Escherichia coli*.
- O método é barato e depende exclusivamente de garrafa PET e da incidência do sol durante o dia.
- A espécie *Escherichia coli* apresentou maior dificuldade de desinfecção se comparado aos coliformes totais, porém como havia maior concentração deste último, não foi possível erradicar 100%.
- As temperaturas das amostras utilizadas no estudo não chegaram a uma temperatura capaz de auxiliar na desinfecção em conjunto com a radiação solar. Para isto, recomenda-se a construção de um concentrador de luz solar forrado com papel alumínio para refletir os raios solares nas garrafas.

- A cor aparente e o pH não sofreram mudanças expressivas com a utilização do método de desinfecção e não influenciam o processo.
- Partículas em suspensão dificultam a absorção da radiação solar pelas bactérias, fazendo com que a turbidez interfira no processo.
- Partículas mais grosseiras tendem a decantar mais rápido que as partículas menores.
- O tempo de exposição solar é dependente da concentração bacteriológica, clima, radiação e turbidez.
- A grande incidência de nuvens pode tornar o método inviável por filtrar parte da radiação.
- Para uma turbidez de até 3,9 NTU e concentração de *Escherichia coli* aproximada de 29,8 NMP/100mL foi possível ter a desinfecção em 4 horas de exposição solar
- Para uma turbidez de 7,1 NTU até 10,9 NTU e com concentração de *Escherichia coli* aproximada de 86 NMP/100mL foi possível ter a desinfecção em 6 horas de exposição solar
- Entre 15,7 NTU e 34 NTU, a desinfecção é considerada satisfatória após 6 horas de exposição solar, porém ainda existe resquícios de *Escherichia coli* presente na água de aproximadamente 3,1 NMP/100mL.
- Acima de 44 NTU, o processo demonstrou ser menos eficaz por conta da quantidade de partículas em suspensão, tendo baixo aproveitamento nas últimas horas de ensaio.
- Para que haja melhores informações a respeito da influência da turbidez, recomenda-se realizar um novo estudo com amostras com turbidez a partir de 30 NTU até 100 NTU.

Por fim, pode-se concluir que a radiação solar é um método que pode ser utilizado como parte do sistema de tratamento de água potável em áreas rurais ou comunidades carentes, possibilitando a diminuição de microrganismos de águas captadas em poços ou mananciais superficiais, cujas características físicas e químicas são adequadas ao consumo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AISSE, Miguel M. et al. CLORAÇÃO E DESCLORAÇÃO. In: **Rede Cooperativa de Pesquisas**, PROSAB – Programa de Pesquisas em Saneamento Básico. Desinfecção de efluentes sanitários, remoção de organismos patogênicos e substâncias nocivas: Aplicações para fins produtivos como agricultura, aquicultura e hidroponia. Rio de Janeiro: Abes, 2003. p. 113-168.

ASSUNÇÃO, Hildeu F. da. **Modelo paramétrico para estimação da radiação solar ultravioleta**. 2003 147 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu. 2003.

BAIRD, Colin. **Química Ambiental**. Porto Alegre: Bookman, 2004. 622 p.

BALOGH, Tatiana S. et al. Proteção à radiação ultravioleta: recursos disponíveis na atualidade em fotoproteção. **Anais Brasileiros de Dermatologia**. 2011.

BOLTON, James R. Light compendium: ultraviolet principles and applications. **Inter-American Photochemical Society Newsletter**, v. 22, 1999.

BOTERO, Wander G. Caracterização de lodo gerado em estações de tratamento de água: perspectivas de aplicação agrícola. **Química Nova**, Vol. 32, No. 8, 2009. p. 2018-2022

BRANDAO, Valéria A. C. **A importância do tratamento adequado de água para eliminação de microrganismos**. 2011. 36 f. Monografia (Licenciatura em Biologia) - Universidade de Brasília, Brasília, 2011.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 2.914, de 12 de dezembro 2011. **Norma de qualidade da água de consumo humano**. Brasília, 2011.

_____. Ministério da Saúde. **Vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano**. Brasília, 2006. 212 p.

_____. Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005. **Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, Seção 1, p. 2005. p. 58-63.

BROHEDE, Samuel. **Optical Remote Sensing of the middle atmosphere from satellites**. 2004. 107 f. Tese (Doutorado) - Chalmers University of Technology, Department of Radio and Space Science, Gotenborg, 2004.

BRYANT, Edward A.; FULTON, George P; BUDD, George C. **Disinfection alternatives for safe drinking water**. Van Nostrand Reinhold Ed., Nova York, 1992. 518 p.

CAIRNCROSS, Sandy; FEACHEM, Richard G. **Environmental health engineering in the tropics: an introductory text**. 2 ed. Chichester, John Wiley & Sons. 1990. 324 p.

CETESB - COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Significado ambiental e sanitário das variáveis de qualidade das águas e dos sedimentos e metodologias analíticas e de amostragem - Apêndice A**. 2009. 43 p.

_____. **Coliformes totais e fecais – determinação pela técnica de tubos múltiplos**. Apostila técnica, 1993.

CHANG, Raymond. **Physical chemistry with applications to biological systems**. 2 ed. Macmillan Publishing Co. Inc., New York, 1977. 456 p.

COHN, Perry. D.; COX, Michael; BERGER, Paul S. Health and aesthetic aspects of water quality. In: **Water quality and treatment**. 5 ed. USA. 1999.

COOPERATIVE RESEARCH CENTRE FOR WATER QUALITY AND TREATMENT. **Drinking water facts**. Issue 2. Australia, 2008.

DANIEL, Luiz A. (Coord). Métodos Alternativos de Desinfecção de Água. In: **Rede Cooperativa de Pesquisas**, PROSAB – Programa de Pesquisas em Saneamento Básico. 1 ed. São Carlos. 2001. 139 p.

DANIEL, Luiz A.; CAMPOS, José R. Fundamentos a aspectos de projetos de sistemas de desinfecção de esgoto sanitário com radiação ultravioleta. **Revista DAE-Sabesp**, v. 163 n. 7, 1992. p. 5-11.

DIAS, Maria F. F. **Qualidade microbiológica de águas minerais em garrafas individuais comercializadas em Araraquara – SP**. 2008. 66 f. Dissertação (Mestrado em Ciências dos Alimentos) – Universidade Estadual Paulista, Araraquara, 2008.

FUNASA - FUNDAÇÃO NACIONAL DA SAÚDE. **Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAS**. 1ª ed, 2014. 77 p.

FUNDAÇÃO NACIONAL DA SAÚDE. **Manual Prático Da Análise De Água**. 4ª ed. Brasília, 2013. 150 p.

GIMENES, Henrique T. P. Contaminação de efluentes líquidos por metais pesados: caracterização dos metais, identificação, de áreas afetadas e método de remoção. **Revista Acadêmica Santa Cruz**. Versão online. n. 3, 2014

GONÇALVES, Ricardo F. (Coord.). **Desinfecção de efluentes sanitários**. Rio de Janeiro: Rima, ABES, 2003.

GOOGLE MAPS. **Toledo-PR**. 2017. Disponível em: <<https://www.google.com.br/maps>>. Acesso em 16 set. 2017.

GUERRA, Natália M. M. et al. Ocorrência de *Pseudomonas aeruginosa* em água potável. **Acta Scientiarum Biological Sciences**, v.28, n.1, 2006. p.13-18.

HARM, Walter. **Biological effects of ultraviolet radiation**. Cambridge University Press, New York, 1980. 216 p.

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. **Estação: Marechal Cândido Rondon-A820**. 2017. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesAutomaticas>>. Acesso em 15 set. 2017.

JOCHIMSEN, E. M. et al. Liver failure and death following exposure to microcystin toxins at a hemodialysis center in Brazil. **The New England Journal of Medicine**, v.36, 1998. p. 373-378.

KIRCHHOFF, V. W. J. H. **Ozônio e Radiação UV-B**, Transtec Editorial, São José dos Campos, 1995. 149 p.

KOLLER, L. R. **Ultraviolet radiation**. John Wiley & Sons, Londres, 1952. 220 p.

LEE, Adam et al. Online monitoring of drinking water quality in a distribution network: a selection procedure for suitable water quality parameters and sensor devices. **International Journal of System Assurance Engineering and Management**. 2012.

LOBO, Cimara G.; COSTA, Bruno P.; WISBECK, Elisabeth. Avaliação da desinfecção de água em reator utilizando radiação ultravioleta. **Revista de Ciências Ambientais**, v. 3, n. 1, 2009.

MONTEIRO, Patricia C.G.; BRANDÃO, Cristina C.S.; SOUZA, Marco A.A 2005. **Viabilidade do Uso da Radiação Solar na Desinfecção da Água**. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) - Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Civil, Brasília, 2005.

MOREIRA, Mauricio A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. 3. Ed. Editora da UFV, Viçosa, 2005.

MORGADO, Waleska F. F. **Desinfecção de águas naturais por radiação solar utilizando os biodicadores: *Escherichia coli* e *Clostridium perfringens***. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Meio Ambiente) - Universidade Federal de Goiás. Programa de Pós-Graduação em Engenharia do Meio Ambiente – PPGEMA. Goiania, 2008.

MOURA, A. C., ASSUMPÇÃO, R. A. B, BISCHOFF, J. Monitoramento físico-químico e microbiológico da água do Rio Cascavel durante o período de 2003 a 2006. **Arquivos do Instituto Biológico**, v.76, n.1, 2009. p.17-22.

NEVES, David P. **Parasitologia humana**. 7 ed. São Paulo, Atheneu. 1998. 462p.

NUNES, Ronison I. et al. **Análise dos Parâmetros Físicos: Sólidos Totais, Sólidos Sedimentáveis, Sólidos Totais Dissolvidos e Sólidos Suspensos nas Águas do Vale do Açu**. p. 746-754. In: Anais do V Encontro Regional de Química & IV Encontro Nacional de Química (Blucher Chemistry Proceedings). São Paulo, 2015.

OLIVEIRA, Silvestre Z. **Adaptação de equipamento de geração de gases oxidantes para aplicação na desinfecção de água**. 2009. 78 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2009.

OLIVEIRA, W. E. Importância do abastecimento de água na transmissão de doenças. In: **Técnicas de abastecimento e tratamento de água**, Azevedo Netto et al., v. 1, CETESB, São Paulo, 1976. 550 p.

ORAM, Brian. **Stream Water Quality - Importance of Temperature**. Water Research Center. Dallas, 2014. Disponível em: <<http://www.water->

research.net/index.php/stream-water-quality-importance-of-temperature>. Acesso em 03 mai. 2017.

PADUA, Valter Leonardo; SANTOS, L. A. **Modulo I - Fundamentos Conceituais e Legais Relacionados com a Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano**. Unid. 2, 2012. 69 p.

PANG, Yuchen et al. Effect of ultraviolet irradiation and chlorination on ampicillin-resistant *Escherichia coli* and its ampicillin resistance gene. **Frontiers of Environmental Science & Engineering**, v. 10, 2016. p. 522–530

REIFF, Fred M; MITT, Vicente M. **Guias para la selección y aplicación de tecnologías de desinfección de agua para consumo humano en pueblos pequeños y comunidades rurales en América Latina y el Caribe**. Division de Saud y Ambiente, Série Técnica N°. 30, OPAS/OMS, Washington, 1995. 227 p.

RICHTER, Carlos A.; NETTO, José M. A. **Tratamento de água: tecnologia atualizada**. São Paulo: Edgard Blucher, 2002. 332 p.

ROSA, Rogério S.; MESSIAS, Rossine A.; AMBROZINI, Beatriz. **Importância da compressão dos ciclos biogeoquímicos para o desenvolvimento sustentável**. 2003. 56 f. Monografia. Instituto de Química de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Carlos, 2003.

ROSSIN, A. C. Desinfecção. In: **Técnicas de abastecimento e tratamento de água**, Azevedo Netto et al., v. 2, 3ª ed, CETESB, São Paulo, 1987. 320p.

RYER, Alex D. **Light measurement handbook**. 2. ed. Newburyport: Technical Publications International Light Inc., 1997. 64 p.

SANEP. **Tratamento**. Disponível em:
<<http://www.pelotas.rs.gov.br/sanep/tratamento/>>. Acesso em 03 mai. 2017.

SANTOS, Irani et al. **Hidrometria Aplicada**. LACTEC - Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento. Curitiba, 2001. 372 p.

SANTOS, Tássia R. T. et al. Estudo da formação de trihalometanos no processo de coagulação/floculação/adsorção em carvão ativado vegetal com o coagulante natural *Moringa oleifera Lam* para tratamento de água de abastecimento. **Revista de Engenharia e Tecnologia**. v. 5, n. 3. Edição especial. 2013

SCURACCHIO, Paola A. **Qualidade da água utilizada para consumo em escolas no município de São Carlos - SP**. 2010. 57 f. Dissertação (Mestrado em Alimentos e Nutrição). Universidade Estadual Paulista “Júlio De Mesquita Filho”, Araquara, 2010.

SILVA, Franciele S.; NOBRE, Suelen B. **Doenças transmitidas pelo Aedes Aegypti: reflexões sobre uma sequência didática no ensino superior**. XV Seminário Internacional de Educação. Novo Hamburgo, 2016.

SILVA, N. et al. **Manual de métodos de análise microbiológica da água**. São Paulo: Varela, 2005.

SMITH, A. et al. Outbreaks of waterborne infectious intestinal disease in England and Wales, 1992–2003. **Epidemiol Infect.** 2006. p. 1141–1149.

SOOMER, B. et al. SODIS - An emerging water treatment process. **Journal of Water Supply: Research and Technology – AQUA**. v. 46, n. 3, 1997. p. 127-137.

SOUZA, Cintya O. et al. *Escherichia coli* enteropatogênica: uma categoria diarrreigênica versátil. **Revista Pan-Amazônica de Saude**. v. 7 n. 2. 2016.

SOUZA, Dalva A. **Desenvolvimento de metodologia analítica para determinação de multiresíduos de pesticidas em águas de abastecimento de São Carlos – SP**. 2000. 109 f. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.

SOUZA, Roseane M. G. L.; PERRONE, Maria A. **Padrões de Potabilidade da Água**. Programa Estadual de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano – PRÓ-ÁGUA. v.2. São Paulo. 2009.

SPERLING, M. V. **Introdução a qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – DESA. Belo Horizonte, 1996. 243 p.

UALBERTA. **Drinking Water Treatment**. Southern Rockies Watershed Project. Faculty of Agricultural, Life & Environmental Sciences. Disponível em: <<http://srwp.ualberta.ca/Research-Areas/Drinking-Water-Treatment>> Acesso em: 09 mai. 2017.

UNICEF; WHO. **Diarrhoea: Why children are still dying and what can be done**. Geneva, World Health Organization, 2009. 58 p.

UNITED NATIONS et al. **The right to water**. Fact sheet N° 35. 2010. Disponível em: <<http://www.ohchr.org/Documents/Publications/FactSheet35en.pdf> > Acesso em: 09 mai. 2017.

USEPA – U.S. Environmental Protection Agency. **Wastewater technology fact sheet: ultraviolet disinfection**. Office of Water, Washington, 1999.

WALKLING-RIBEIRO, M. et al. Reduction of *Staphylococcus aureus* and quality changes in apple juice processed by ultraviolet irradiation, pre-heating and pulsed electric fields. **Journal of Food Engineering**, 2008. p. 267–273.

WEBER, W.J.; POSSELT, H.S. “Disinfection”. In: **Physicochemical processes for water quality control**, John Wiley & Sons, Inc., EUA, 1972. 640 p.

WEF – Water Environment Federation. **Operation of municipal wastewater treatment plants: manual of practice MOP-11**. 5 ed. Alexandria: WEF, 1996. 1351 p.

WHITE, Sam C. et al. A study of operational ultraviolet disinfection equipment at secondary treatment plants. **JWPCF**, n. 58, v. 3, 1986. p. 181-192.

WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Guidelines for drinking-water quality**. 3 ed, v. 1, 2006. 515 p.

_____. **Trihalomethanes in drinking-water**. Background document for development of WHO. Guidelines for Drinking-water Quality. 2005. 59 p.

WIKIPÉDIA. **Toledo (Paraná)**. 2017. Disponível em: <[https://pt.wikipedia.org/wiki/Toledo_\(Paraná\)](https://pt.wikipedia.org/wiki/Toledo_(Paraná))>. Acesso em 16 set. 2017.

WWAP - United Nations World Water Assessment Programme. **The United Nations World Water Development Report: Water for a Sustainable World**. Paris, 2015. 122 p.

ZHA, X. et al. Effects of bromide and iodide ions on the formation of disinfection by-products during ozonation and subsequent chlorination of water containing biological source matters. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 21, 2014. P. 2714–2723.

ZIESE, T. et al. Surto de Escherichia coli O157 na Suécia. Relatório de investigação de surtos. **Euro Surveill**, v.1, n.1, 1996. 10 p.

ZULPO, Dauton L et al. Avaliação microbiológica da água consumida nos bebedouros da Universidade Estadual do Centro-Oeste, Guarapuava, Paraná, Brasil. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 27, n. 1, 2006. p. 107-110.