



UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

Alisson Leonardo Vieira dos Reis

**AVALIAÇÃO DA DESINFECÇÃO DE ESGOTO DOMÉSTICO ORIUNDO DE
TRATAMENTO SECUNDÁRIO POR MEIO DA IONIZAÇÃO DE COBRE E PRATA**

Palmas/TO

2021

Alisson Leonardo Vieira dos Reis

**AVALIAÇÃO DA DESINFECÇÃO DE ESGOTO DOMÉSTICO ORIUNDO DE
TRATAMENTO SECUNDÁRIO POR MEIO DA IONIZAÇÃO DE COBRE E PRATA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, da Universidade Federal do Tocantins, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental.

Área de concentração: Desinfecção de águas residuárias domésticas.

Orientador: Prof. Dr. Aurélio Pessoa Picanço.

Palmas/TO

2021

FOLHA DE APROVAÇÃO

ALISSON LEONARDO VIEIRA DOS REIS

AVALIAÇÃO DA DESINFECÇÃO DE ESGOTO DOMÉSTICO ORIUNDO DE TRATAMENTO SECUNDÁRIO POR MEIO DA IONIZAÇÃO DE COBRE E PRATA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Nível Mestrado Profissional, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental. A presente dissertação foi aprovada pela Banca Examinadora composta pelos membros abaixo relacionados:

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Aurélio Pessoa Picanço (Presidente)
Universidade Federal do Tocantins

p.p. 

Prof. Dr. Sérgio Carlos Bernardo Queiroz (Membro titular interno)
Universidade Federal do Tocantins

p.p. 

Profa. Dra. Rita de Cascia Avelino Suassuna (Membro titular externo)
Universidade Federal do Sul Bahia – Campus Jorge Amado

Aprovada em: 20 de novembro de 2020

O evento foi realizado por meio de vídeo conferência, conforme Art. 56-A da Resolução nº 13, de 22 de março de 2017, pela necessidade cautelar de distanciamento social em virtude da pandemia causada pelo coronavírus (SARS-CoV-2).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins

D723a Dos Reis, Alisson Leonardo Vieira.

Avaliação da desinfecção de esgoto doméstico oriundo de tratamento secundário por meio da ionização de cobre e prata. / Alisson Leonardo Vieira Dos Reis. – Palmas, TO, 2021.

75 f.

Dissertação (Mestrado Profissional) - Universidade Federal do Tocantins – Câmpus Universitário de Palmas - Curso de Pós-Graduação (Mestrado) Profissional em Engenharia Ambiental, 2021.

Orientador: Aurélio Pessoa Picanço.

1. Tratamento de esgoto doméstico. 2. Desinfecção de esgoto doméstico. 3. Ionização de cobre e prata. 4. Eletrólise. I. Título

CDD 628

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde que citada a fonte. A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184 do Código Penal.

Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFT com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Dedico este trabalho ao Engenheiro Berger Von
Kaufman (In Memoriam).

AGRADECIMENTOS

À Deus por me dar forças e permitir a concretização de mais uma conquista importante em minha vida.

À minha família e amigos, pelo carinho, apoio, compreensão e incentivo aos estudos; em especial a minha filha Laurinha, meus pais Agenor e Teresinha, meus irmãos Ângela e Alessandro e a mãe da Laura, Aline Ribeiro, por ser uma excelente mãe e pela amizade.

À Universidade Federal do Tocantins (Campus de Palmas) e ao Programa do Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, pela oportunidade que possibilitou a realização deste trabalho.

Aos professores Dr. Aurélio Picanço Pessoa e Dr. Marcelo Mendes Pedrosa pela orientação, confiança, ensinamentos e apoio.

Ao professor de graduação Dr. Hélio Silva (In Memoriam) por ter me dado uma carta de recomendação para a seleção deste programa de mestrado.

Aos professor Dr. Girlene Maciel e ao secretário da coordenação de curso Cristiano que tantas vezes que foram atenciosos e me ajudaram de bom grado.

À Edvaldo Lemos e ao prof. Dr. Otávio Peleja pelo apoio e realização dos ensaios junto ao Laboratório de Biologia Ambiental da UFOPA.

Ao funcionário e amigo Fernando Coelho pela ajuda durante as fases de campo desta pesquisa.

A todos os colegas da turma de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental 2018, em especial, à Isabela Moura, à Alesi Mendes, à Fabiano Fagundes, pela companhia, amizade e incentivo constante.

Enfim, a todos que contribuíram para a realização deste trabalho, por quão simples tenha sido a forma. Muito obrigado a todos!

“... a minha ambição é dizer em dez frases o que outro qualquer diz num livro, o que outro qualquer não diz nem num livro inteiro. ”

FRIEDRICH NIETZSCHE

RESUMO

DOS REIS, A. L. V. **Avaliação da desinfecção de esgoto doméstico oriundo de tratamento secundário por meio da ionização de cobre e prata.** 2021. 75f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Tocantins, Palmas, 2021.

O objetivo desse trabalho foi utilizar um reator eletroquímico para promover a desinfecção de esgoto tratado e avaliar a inativação de coliformes totais e *Escherichia coli*. Foi realizada a coleta, a caracterização físico-química e microbiológica do esgoto secundário de uma ETE compacta, composta de tanque séptico, filtro aerado submerso e decantador secundário, de um prédio comercial na cidade de Santarém-PA. O planejamento experimental foi feito com base no modelo estatístico DCCR² e os fatores estudados foram as correntes aplicadas nos eletrodos de cobre e de prata. O processo de ionização de cobre e prata do esgoto tratado pela ETE foi realizado em escala de bancada nas dependências do Laboratório de Biologia Ambiental do ICTA/UFOPA. O resultado para coliformes totais nos três primeiros experimentos atingiu a eficiência de 70, 81,66 e 95%, respectivamente e nas demais amostras obteve-se 100% de inativação. Para a *Escherichia coli* o resultado foi 100% de inativação em todos os experimentos realizados. A concentração mínima e máxima de cobre foi de 5,86 e 39,52 mg/L, respectivamente. A concentração mínima e máxima de prata foi de < 0,01 e 8,75 mg/L. Estes valores estão em desconformidade com os valores máximos permitidos pela Resolução 430/2011 do CONAMA.

Palavras-chave: ionização de cobre e prata; eletrólise; desinfecção de esgoto.

ABSTRACT

DOS REIS, A. L. V. **Evaluation of the disinfection of domestic sewage from secondary treatment using copper and silver ionization.** 2021. 75f. Dissertation (Master's in Environmental Engineering) – Postgraduate Program in Environmental Engineering, Federal University of Tocantins, Palmas, 2021.

The objective of this work was to use an electrochemical reactor to promote the disinfection of treated sewage and to evaluate the inactivation of total coliforms and *Escherichia coli*. The collection and physical-chemical-biological characterization of the secondary sewage of a compact wastewater treatment plant (WWTP), composed of septic tank, submerged aerated filter and secondary decanter, was carried out in a commercial building in the city of Santarém-PA. The experimental planning was based on the DCCR² statistical model of the factors studied were the currents applied to the copper and silver electrodes. The copper and silver ionization process of the sewage treated by the WWTP was carried out on a bench scale at the premises of the Environmental Biology Laboratory of Water Sciences and Technology Institute/Federal University of Western Pará. The result for total coliforms in the first three experiments reached an efficiency of 70, 81.66 and 95%, respectively and in the other samples, 100% inactivation was obtained. For *Escherichia coli* the result was 100% inactivation in all experiments performed. The minimum and maximum copper concentration was 5.86 and 39.52 mg/L, respectively. The minimum and maximum silver concentration was <0.01 and 8.75 mg/L. These values are not in line with the maximum values allowed by National Environment Council (CONAMA) Resolution 430/2011.

Keywords: copper and silver ionization; electrolysis; sewage disinfection.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Processos de desinfecção de esgoto doméstico.....	21
Figura 2. Fluxograma para avaliação da desinfecção de esgotos.	25
Figura 3. Formas básicas das bactérias.....	26
Figura 4. Estrutura de uma célula bacteriana.	27
Figura 5. Esquema de uma cuba eletrolítica.....	34
Figura 6. Esquema de um sistema CSI.....	38
Figura 7. Ação de íons carregados positivamente, como prata (Ag^+) e cobre (Cu^{2+}).	39
Figura 8. Representação da ligação dissulfeto na molécula da proteína.	40
Figura 9. Diferentes modos de ação da prata com células bacterianas.....	40
Figura 10. Fluxograma das etapas da pesquisa.....	45
Figura 11. Testes com os eletrodos de cobre.....	46
Figura 12. Testes com os eletrodos de prata.....	46
Figura 13. Testes com sulfato de sódio.	46
Figura 14. Teste com nitrato de potássio.	46
Figura 15. Reação com cloreto de sódio.....	46
Figura 16. Reação com amônia.	46
Figura 17. Representação do planejamento experimental.	47
Figura 18. ETE Compacta em Santarém-PA.....	49
Figura 19. Coleta das amostras na ETE.....	50
Figura 20. Total de amostras de esgoto coletadas.	50
Figura 21. Distribuição das amostras nos frascos.....	51
Figura 22. Reator Eletrolítico utilizado para execução do experimento.	52
Figura 23. Amostras com flocos em dispersão.....	53
Figura 24. Resultados para Temperatura.....	56
Figura 25. Resultados para pH.	57
Figura 26. Resultados para Turbidez.....	58
Figura 27. Resultados para alcalinidade.	59
Figura 28. Resultados para Condutividade.....	60
Figura 29. Resultados para DQO.....	61
Figura 30. Resultados para coliformes totais e <i>E. coli</i>	63
Figura 31. Resultados para o Cobre.....	64
Figura 32. Resultados para a Prata.	65

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Classificação das águas doces.	23
Tabela 2. As formas de representação da eficiência de desinfecção.	24
Tabela 3. Ocorrências usuais de organismos em esgotos brutos.	26
Tabela 4. C.T para inativação de bactérias em efluentes secundários (pH~7,5, ~20 ⁰ C).	34
Tabela 5. Resumo do estudo sobre inativação de microrganismos por íons de prata.	42
Tabela 6. Resumo do estudo sobre inativação de <i>E. coli</i> por íons de prata.	43
Tabela 7. Níveis de fatores empregados no Planejamento Experimental.	48
Tabela 8. Ordem dos experimentos empregados no planejamento fatorial DCCR2 ²	48
Tabela 9. Características estudadas.	51
Tabela 10. Características do esgoto tratado por reator anaeróbio-aeróbio e de outro autor. ...	55
Tabela 11. Resultados para temperatura.	56
Tabela 12. Resultados para pH.	57
Tabela 13. Resultados para Turbidez.	58
Tabela 14. Resultados para Alcalinidade.	59
Tabela 15. Resultados para Condutividade.	60
Tabela 16. Resultados para DQO.	61
Tabela 17. Resultados do Planejamento experimental DCCR obtidos para os níveis de coliformes totais e <i>E. coli</i> durante a desinfecção de efluente secundário através de ionização com íons Cobre e Prata.	62
Tabela 18. Resultados para cobre.	63
Tabela 19. Resultados para prata.	64

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Características de um desinfetante ideal.	22
Quadro 2. Mecanismos de desinfecção utilizando cloro, ozônio e radiação UV.	30

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1. Lei de Chick.....	30
Equação 2. Constante de inativação.....	31
Equação 3. Relação de van't Hoff-Arrhenius.....	32
Equação 4. Relação C.T.	33
Equação 5. Equação de dissociação	35
Equação 6. 1ª Lei de Faraday	35
Equação 7. 2ª Lei de Faraday	35
Equação 8. Massa de eletrodo consumida	36
Equação 9. Potência de reator eletrolítico	36
Equação 10. Tempo de vida útil do eletrodo	36
Equação 11. Densidade de corrente.....	37
Equação 12. Semi-reação de oxidação do cobre	38
Equação 13. Semi-reação de redução	38
Equação 14. Reação completa de oxidação e redução	38
Equação 15. Semi-reação de oxidação da prata.....	38
Equação 16. Semi-reação de redução	38
Equação 17. Reação completa de oxidação e redução	39
Equação 18. Número de experimentos a se realizar.....	47
Equação 19. Reação entre o nitrato de prata e cloreto de sódio.....	54
Equação 20. Reação entre cloreto de prata e cloreto.....	54
Equação 21. Cálculo da eficiência de remoção de microrganismos.....	62

LISTA DE ABREVIÇÕES

ABNT – Associação Brasil de Normas Técnicas

Ag – Símbolo da prata

Ag⁺ – Íon de prata

AHA - Ácidos haloacéticos

C.T – Concentração x Tempo

CF – Coliformes fecais

cm – Centímetros

CMB - Concentração Mínima Bactericida

CMI - Concentração Mínima Inibitória

CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente

CSI – Copper, Silver Ionization

CT – Coliformes totais

Cu – Símbolo do cobre

Cu⁺ – Íon de cobre

ddp – Diferença de potencial

EC – *Escherichia coli*

ETE – Estação de Tratamento de Esgoto

IFTO – Instituto Federal do Tocantins

IME – Instituto Militar de Engenharia

IQA – Índice de Qualidade das Águas

NASA – National Aeronautics and Space Administration

NMP – Número mais provável

SDT – Sólidos Dissolvidos Totais

THM – Trihalometanos

UFT – Universidade Federal do Tocantins

USEPA – United States Environmental Protection Agency

UV – Ultravioleta

V – Volts

WHO – World Health Organization

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
2	OBJETIVOS.....	19
2.1	Objetivo geral.....	19
2.2	Objetivos específicos	19
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	20
3.1	DESINFECÇÃO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS DOMÉSTICAS	20
3.1.1	Considerações iniciais.....	20
3.1.2	Microrganismos entéricos e indicadores	25
3.1.3	Mecanismos da desinfecção	29
3.1.4	Fatores que afetam a desinfecção.....	30
3.1.5	Parâmetro C.T	32
3.2	DESINFECÇÃO ELETROQUÍMICA DE ESGOTO	34
3.2.1	Eletrólise e as leis de Faraday	34
3.2.2	Ionização de cobre e prata	37
3.2.3	Relatos científicos	41
4	MATERIAL E MÉTODOS.....	45
4.1	DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO	45
4.1.1	Avaliações preliminares do processo	45
4.2	PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL	47
4.2.1	Delineamento composto central rotacional (DCCR) ²	47
4.3	ÁREA DE ESTUDO.....	48
4.4	AMOSTRAGEM	49
4.5	MÉTODOS ANALÍTICOS	51
4.6	MONTAGEM E FUNCIONAMENTO DO REATOR ELETROLÍTICO	51
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	54
5.1	TESTES PRÉ-OPERACIONAIS DO PROTÓTIPO.....	54
5.2	CARACTERIZAÇÃO DO ESGOTO SECUNDÁRIO.....	55
5.3	AVALIAÇÕES EXPERIMENTAIS	56
5.3.1	TEMPERATURA	56
5.3.2	pH.....	57
5.3.3	TURBIDEZ	58
5.3.4	ALCALINIDADE.....	59
5.3.5	CONDUTIVIDADE ELÉTRICA.....	60

5.3.6	DQO	61
5.3.7	MICROORGANISMOS INDICADORES.....	62
5.3.8	COBRE.....	63
5.3.9	PRATA	64
6	CONCLUSÕES	66
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	67

1 INTRODUÇÃO

O contínuo crescimento populacional e o desenvolvimento das cidades sem planejamento sanitário adequado proporcionam prejuízos significativos para a sociedade, criando condições ambientais inadequadas, além de propiciar a degradação dos recursos hídricos.

A concentração da população nos centros urbanos tem como consequência uma maior geração de esgoto, portanto faz-se necessário atenção especial para que essa contribuição receba um tratamento adequado para posterior lançamento no corpo receptor.

De acordo com Spilki (2015) o lançamento inadequado de esgoto no ambiente pode resultar em riscos à saúde humana e aos ecossistemas, assim como deteriorar a qualidade dos recursos hídricos. O problema se agrava próximo às áreas urbanas, podendo até inviabilizar o atendimento de usos a jusante, especialmente o abastecimento humano (BRASIL, 2017).

Em 2018, a média nacional do índice de atendimento total com rede coletora de esgoto foi estimada em 53,2% e desse total apenas 46,3% tiveram algum tipo de tratamento. A Região Norte apresenta os piores índices para coleta e tratamento de esgoto e as Regiões Sul e Centro-Oeste apresentam os melhores índices (BRASIL, 2019).

Um levantamento feito por Brasil (2020) identificou 3.668 Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) no País, onde 3.419 estão com situação ativa e 249 em situações de abandono, inativa, em construção/ampliação, com problemas operacionais, não localizadas e sem informações.

O levantamento apontou que a menor e maior eficiência para remoção de matéria orgânica nas ETEs foi de 50% e 90%, respectivamente. As informações sobre os sistemas de desinfecção não foram descritas, mas, em geral o cloro gasoso é o método mais utilizado para esse fim e, menos frequentemente, a radiação ultravioleta (BRASIL, 2020).

As ETEs não atingem 100% de remoção de matéria orgânica e sabe-se que com o uso de cloro para desinfecção há a possibilidade de formação de subprodutos, principalmente os trihalometanos (THM) e ácidos haloacéticos (AHA), substâncias reconhecidamente cancerígenas.

Portanto, faz-se necessário utilizar as tecnologias disponíveis e desenvolver outras novas, compatibilizando-as com a minimização dos impactos negativos ao meio ambiente e à saúde coletiva.

A desinfecção de efluentes sanitários é exigida por lei, no Brasil, por meio da Resolução nº 430/2011, do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), que dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do CONAMA.

A importância de se buscar novas alternativas para desinfecção de esgoto tratado, menos agressivas e eficientes, está associado à preservação ambiental e a garantia dos usos múltiplos das águas, principalmente o abastecimento de água potável.

A eletroquímica surge como técnica inovadora e reduz problemas ambientais, pois, é uma alternativa eficiente e relativamente limpa pela utilização do elétron como reagente (SOLANO, 2011).

A ionização de cobre e prata é realizada por eletrólise e é adequada para um grande número de aplicações. O método é usado em sistemas prediais de água quente de hospitais para combater a *Legionella*, em piscinas associado a baixa concentração de cloro, em torres de resfriamento para desinfecção e prevenção de microrganismos, em água potável em substituição ao cloro para evitar a formação de subprodutos da desinfecção.

Inúmeros relatos científicos apontam a ionização de cobre e prata como alternativa para controle de diversos tipos de bactérias, protozoários, fungos e vírus.

Um evento de contaminação ou biofilmes podem diminuir a quantidade de cloro livre nos sistemas de água potável ocasionando falha na desinfecção. A aplicação de íons de cobre e prata, como desinfetante secundário, em associação com o cloro mostrou efeito sinérgico e alcançou 5,0-log₁₀ de redução de *E. coli* e *L. monocytogenes* após 3 horas e *S. Typhimurium* após sete horas. A prata não foi afetada pela matéria orgânica em concentrações que inibiram completamente 0,2 mg/L de cloro (RUELAS, GERBA, BRIGHT, 2019).

A pesquisa de Gao e Keller (2020) avaliou a desinfecção de *E. coli* por meio de alguns íons metálicos (Cu⁺², Ag⁺ e Zn⁺²) com posterior reciclagem do metal. Apenas a prata apresentou efeito bactericida satisfatório e foi possível recuperar mais de 80% do metal após cinco ciclos de seu uso.

Quando famílias não têm acesso a água encanada contínua, o armazenamento de água em casa em recipientes é comum e passível de contaminação. Um estudo demonstrou que o cobre a 1 mg/L atingiu 99,9% de inativação de *P. aeruginosa* e 99,9999997% de inativação de *E. coli* em 6 horas de contato (ARMOSTRONG, SOBSEY, CASANOVA, 2016).

A pesquisa desenvolvida por Parr (2016) demonstrou a viabilidade da aplicação de ionização de cobre e prata para desinfecção de água potável em substituição a produtos

químicos em localidades remotas de países subdesenvolvidos. Os resultados apontaram eficiência e segurança para os consumidores uma vez que as concentrações dos metais ficaram abaixo dos limites máximos permitidos.

Em estudo feito em um hospital no Reino Unido avaliou a inativação e controle da *Legionella* em seu sistema predial de água quente. No período entre 2011 e 2017 foram testadas 1.598 amostras e em 100% o processo de ionização de cobre e prata foi eficiente em todas as faixas de temperatura (GREEN, *et al.*, 2019).

O processo de ionização usando eletrodos de cobre e prata separados é o sistema mais eficaz para disponibilizar íons de cobre e prata no meio aquoso, para atuar contra a *Legionella* (WALRAVEN, POOL, CHAPMAN, 2015).

Uma pesquisa avaliou o controle de *Legionella* em quatro sistemas prediais de distribuição de água e em uma torre de resfriamento e durou pelo menos cinco anos. A dosagem de 400 ± 200 $\mu\text{g/L}$ de cobre e 40 ± 20 $\mu\text{g/L}$ de prata provou ser eficaz para controlar, diminuir e erradicar as bactérias em todos os cinco locais citados (WALRAVEN, POOL, CHAPMAN, 2016).

Sendo a ionização de cobre e prata um processo de desinfecção com a característica de não formar subprodutos perigosos e que em uso combinado com baixas concentrações de cloro possui efeito sinérgico e potencializado, sua aplicação mostra-se interessante para inativação de microrganismos patogênicos em ETEs.

Um dos principais objetivos desta pesquisa é de despertar na comunidade científica o interesse pela utilização do sistema de ionização de cobre e prata como tecnologia efetiva e viável, técnica e economicamente, para a desinfecção de efluentes sanitários, com vantagens sobre a cloração, em relação à geração de subprodutos tóxicos, em concordância com as exigências ambientais vigentes.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

O trabalho teve o objetivo de realizar ensaios de desinfecção de efluente doméstico secundário por meio de ionização de cobre e prata, com diferentes correntes e mesmos tempos de ionização e de contato, e verificar a inativação de coliformes totais e *Escherichia coli* e seus efeitos em algumas variáveis físico-químicas.

2.2 Objetivos específicos

- Caracterizar o efluente sanitário física, química e biologicamente na saída de uma ETE Compacta e após os ensaios de ionização de cobre e prata;
- Determinar o percentual de inativação de microrganismos indicadores pelo processo de ionização de cobre e prata;
- Verificar os efeitos da ionização de cobre e prata para os parâmetros: pH, turbidez, alcalinidade, condutividade, DQO e condutividade.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 DESINFECÇÃO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS DOMÉSTICAS

3.1.1 Considerações iniciais

Segundo Jordão e Pessoa (2009) o objetivo principal da desinfecção é sem dúvida a proteção da saúde pública, de acordo com os possíveis usos da água, com maior atenção para o abastecimento para consumo humano, uso agrícola e recreação.

A desinfecção é utilizada para destruição de organismos patogênicos. Como nem todos os organismos são inativados, o termo *desinfecção* difere do termo *esterilização*, no qual ocorre a destruição total dos organismos presentes (METCALF; EDDY, 2016).

Como controle da ação da desinfecção, um ou mais dos seguintes indicadores devem ser considerados: número mais provável (NMP) de coliformes totais, NMP de coliformes fecais ou termotolerantes, concentração de *escherichia coli*, concentração de *streptococos* fecais e concentração de *enterococos* fecais (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2011).

Para Costa (2007) a desinfecção é um processo complexo e depende das propriedades físicas e químicas do desinfetante, da natureza do organismo patogênico, da sua interação com o patógeno e da qualidade do efluente tratado.

Dias (2001) relata que:

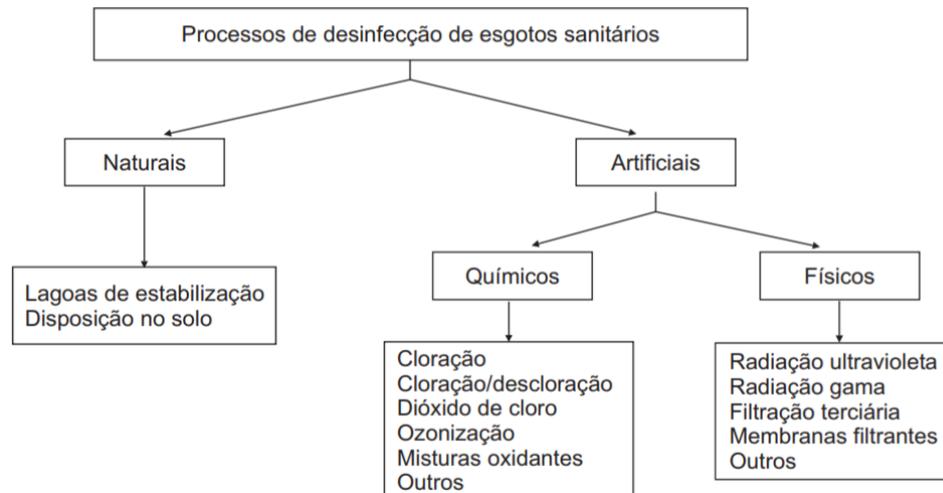
Para realizar a desinfecção pode-se utilizar agentes químicos, agentes físicos e meios mecânicos. Os agentes químicos que tem sido usados como desinfetantes incluem: oxidantes químicos, ácidos e alcalinos, íons metálicos e surfactantes. Os agentes físicos que podem ser usados são o calor, a luz (luz solar, radiação ultravioleta) e a radiação gama. Os meios mecânicos, os quais incluem a maioria dos processos usuais de esgoto, reduzem o número de microrganismos, mas em quantidades inferiores em relação aos outros processos citados.

De acordo com Telles e Costa (2007) o cloro é o desinfetante mais usado na desinfecção de águas residuárias e devido a presença acentuada de substâncias orgânicas, pode vir a formar subprodutos potencialmente tóxicos, como, os THM.

Silva (2007) recomenda que a utilização de cloro para desinfecção de efluentes sanitários tratados necessita ser revista, em face da superior evolução do desenvolvimento de novos processos químicos, físicos e naturais para este fim.

A desinfecção pode ser realizada por meio de processos artificiais ou naturais, conforme ilustrado na Figura 1.

Figura 1. Processos de desinfecção de esgoto doméstico.



Fonte: Adaptado de Gonçalves, 2003.

Meyer (1994) diz que os processos alternativos mais utilizados para desinfecção, que evitam a formação de THM, são aqueles que não utilizam o cloro livre, tais como: as cloraminas, dióxido de cloro e a ozona.

Dias (2001) cita que o interesse na utilização do ozônio é justificado pela principal característica de não manter residual como o cloro, apresentando eficiência semelhante, e sendo muito mais vantajoso para desinfecção de águas residuárias. O ozônio é um forte agente oxidante, efetivo na destruição de bactérias, vírus, protozoários e outros parasitas, (SALLES, 2008).

A utilização de radiação ultravioleta (UV) mostra-se muito competitivo com a cloração devido a não geração de subprodutos tóxicos, como os do cloro (exemplo: trihalometanos e outros) (VON SPERLING, 2005). Com a combinação adequada da dose de radiação e qualidade da água, o processo UV demonstrou ser eficaz para inativação de bactérias, vírus e protozoários, tanto em efluentes secundários filtrados como não filtrados (METCALF E EDDY, 2016).

Segundo Oliveira (2003) as lagoas de maturação apresentam eficiência comparável ou superior à do cloro, porém, sem o potencial de formação de subprodutos prejudiciais à saúde humana e sem efeito residual que poderiam afetar as características do corpo receptor.

Von Sperling (2005) observa que:

Além dos processos mais difundidos, vários processos e desinfetantes alternativos vêm sendo desenvolvidos para a desinfecção de águas residuárias tratadas. Dentre os desinfetantes químicos podem ser citadas as cloraminas, mistura de oxidantes (MOGGOD), o permanganato de potássio, o íon ferrato (VI), o ácido paracético, o H_2O_2 , o dicloroisocianurato de sódio, sais de bromo, iodo, ouro e prata, gluturaldeído e fenol/fenato, entre os principais. No que se refere aos processos físicos, devem ser citados a filtração por membranas, o ultra-som e a radiação gama. Outras alternativas baseadas na combinação de produtos e processos, tais como os chamados Processos Oxidativos Avançados (ex.: H_2O_2 + ozônio ou UV + O_3), têm sido testadas na desinfecção de esgotos sanitários.

De acordo com Bitton (1994) a desinfecção além de ser um mecanismo primário para destruir organismos patogênicos, tem o efeito de oxidar matéria orgânica presente no esgoto, remover ferro e manganês, assim como eliminar gosto e odor.

Para Metcalf e Eddy (2016) um desinfetante ideal deve apresentar várias características, conforme apresentado no Quadro 1.

Quadro 1. Características de um desinfetante ideal.

Característica	Propriedades / Resposta
Alteração das características da solução	Deve ser eficaz, com a mínima alteração das características da solução, como aumento da concentração de SDT.
Disponibilidade	Deve estar disponível em grandes quantidades e a um custo razoável.
Capacidade de remoção de odor	Deve ser capaz de remover odores enquanto atua como desinfetante.
Homogeneidade	A solução deve apresentar composição uniforme.
Interação com outros materiais	Não deve ser adsorvido por outros compostos orgânicos e outros materiais que não sejam os microrganismos que se pretende inativar.
Não devem ser corrosivos ou causar manchas	Não deve degradar metais ou manchar roupas ou dispositivos sanitários.
Toxicidade aos organismos superiores	Deve ser tóxico apenas para os microrganismos nas concentrações utilizadas.
Penetração	Deve ter capacidade de penetrar através da superfície das partículas e células dos microrganismos.
Segurança	Deve ser seguro durante transporte, armazenagem, manuseio e uso.
Solubilidade	Deve ser solúvel em água ou no tecido das células dos microrganismos.
Estabilidade	Deve manter a sua ação desinfetante ao longo do tempo, principalmente durante a armazenagem.
Toxicidade aos microrganismos	Deve ser eficaz mesmo em baixas concentrações.
Toxicidade à temperatura ambiente	Deve ser eficaz em uma ampla faixa de variação de temperatura.

Fonte: Adaptado de Metcalf e Eddy, 2016.

De acordo com Von Sperling (2005) é de fundamental importância o conhecimento do comportamento dos agentes transmissores de doenças em um corpo d'água, a partir do seu lançamento até os locais de utilização (captação de água ou balneabilidade).

Para HANDA (2012) a decisão sobre a necessidade da desinfecção de esgoto municipal de uma determinada região envolve a avaliação do tipo de uso do mesmo e os riscos associados à saúde humana, as opções disponíveis para o controle da contaminação e uma avaliação dos efeitos ambientais que essa medida de controle pode criar.

Para Telles e Costa (2007) o lançamento de águas residuárias, mesmo tratadas, em um corpo d'água provoca deterioração de sua qualidade e apesar da capacidade de autodepuração, este processo pode necessitar de quilômetros para retomar o equilíbrio.

A Resolução 357/05 do CONAMA, em seu artigo 28, determina que os efluentes não poderão conferir ao corpo de água receptor características em desacordo com as metas obrigatórias progressivas, intermediárias e final do seu enquadramento.

A Tabela 1 apresenta as classes das águas doces em função de seu uso preponderante e os limites para indicadores microbiológicos definidos na Resolução citada.

Tabela 1. Classificação das águas doces.

Usos das águas doces	Classe de Enquadramento				
	Especial	1	2	3	4
Indicadores microbiológicos					
Coliformes Termotolerantes ¹ (NMP/100 mL)		200	1000	4000	
Uso preponderante					
Abastecimento doméstico	X	X ²	X ³	X ⁴	
Preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas	X				
Recreação e contato primário		X	X		
Proteção das comunidades aquáticas		X	X		
Irrigação		X ⁵	X ⁶	X ⁷	
Aquicultura		X	X		
Dessedentação de animais				X	
Navegação					X
Harmonia paisagística					X

Fonte: Adaptado de Handa, 2012.

O CONAMA, em sua Resolução 430/11, determina que efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados diretamente nos corpos receptores após o devido tratamento e seguido suas orientações legais (BITTENCOURT; DE PAULA, 2014).

¹ Para uso de recreação de contato primário deve-se obedecer a Resolução CONANA 274/2005. *E.coli* pode ser determinada em substituição a coliformes termotolerantes em acordo com órgão competente. Observar ainda o número mínimo de amostras, frequência e período total de amostragem.

² Após tratamento simplificado.

³ Após tratamento convencional.

⁴ Após tratamento convencional ou avançado.

⁵ Hortaliças consumidas cruas e frutas que se desenvolvem rente ao solo e são ingeridas cruas sem a remoção de película.

⁶ Hortaliças e plantas frutíferas.

⁷ Culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras.

Para Jordão e Pessoa (2009) a contaminação das águas por organismos patogênicos traz consequências de natureza de saúde pública e também econômica. O despejo de esgoto doméstico bruto lança, no corpo receptor, cerca de 10^7 a 10^9 CF.100 m.L⁻¹ de coliformes fecais e 10^9 a 10^{10} CT.100 m.L⁻¹ de coliformes totais.

Em função das grandes quantidades de microrganismos a serem inativados no esgoto sanitário, a eficiência de remoção necessária para que o efluente tratado atinja os padrões de qualidade microbiológica deve superar 99,99% (GONÇALVES, 2003).

De acordo com Bitton (1994) a resistência microbiana à adição de agente químico ou físico de inativação, em geral, segue a ordem: Bactérias < Vírus < Protozoários.

Segundo Camargo (2004) os níveis de redução do número de microrganismos patogênicos podem ser representados pelo percentual da eficiência de remoção, pela fração remanescente ou pela escala logarítmica, segundo a Tabela 2.

Tabela 2. As formas de representação da eficiência de desinfecção.

Eficiência de remoção (%)	Fração remanescente (N/N₀)	Escala Logarítmica (log N/N₀)
90	10 ⁻¹	-1
99	10 ⁻²	-2
99,9	10 ⁻³	-3
99,99	10 ⁻⁴	-4
99,999	10 ⁻⁵	-5

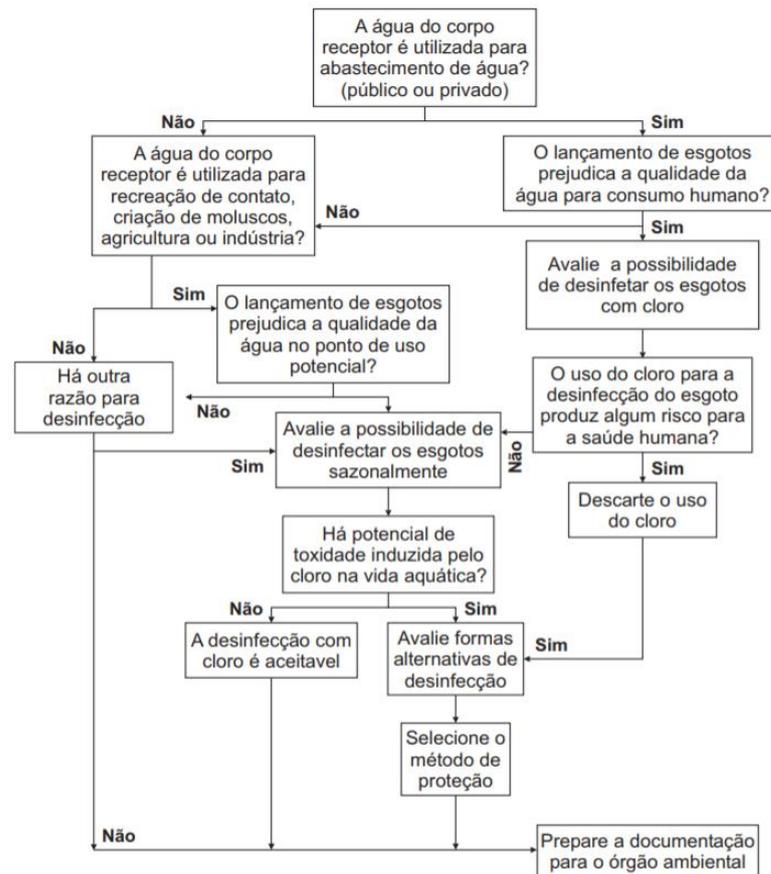
Fonte: Adaptado de Camargo, 2004.

São muitas as opções para desinfecção de águas residuárias domésticas e diversas variáveis devem ser analisadas para a escolha do melhor processo. Portanto, a tomada de decisão deve avaliar (CHERNICHARO *et al.*, 2001):

- a) os usos da água a jusante do lançamento e riscos de saúde pública associados;
- b) alternativas disponíveis para controle dos esgotos contaminados por patógenos;
- c) impactos ambientais que as medidas de controle podem ocasionar.

Chernicharo *et al.* (2001) apresenta um fluxograma que pode auxiliar na decisão sobre implantar um sistema de desinfecção, com base nos riscos à saúde pública e a possibilidade de reduzir ou eliminar esses riscos. Na Figura 2 é apresentado o fluxograma.

Figura 2. Fluxograma para avaliação da desinfecção de esgotos.



Fonte: CHERNICHARO *et al.*, 2001 apud USEPA, 1986.

3.1.2 Microrganismos entéricos e indicadores

De acordo com Metcalf e Eddy (2016) as quatro categorias de organismos entéricos encontrados nas águas residuárias domésticas e relevantes do ponto de vista da saúde pública são: bactérias, protozoários, helmintos e vírus.

A origem destes agentes patogênicos nas águas servidas é predominantemente humana, refletindo diretamente o nível de saúde da população e as condições de saneamento básico de cada região (VON SPERLING, 2005).

Gonçalves (2003) relata que as bactérias estão presentes em maior quantidade que outros organismos nos esgotos sanitários. Na Tabela 3 são apresentadas as concentrações de patógenos usualmente encontradas no esgoto bruto.

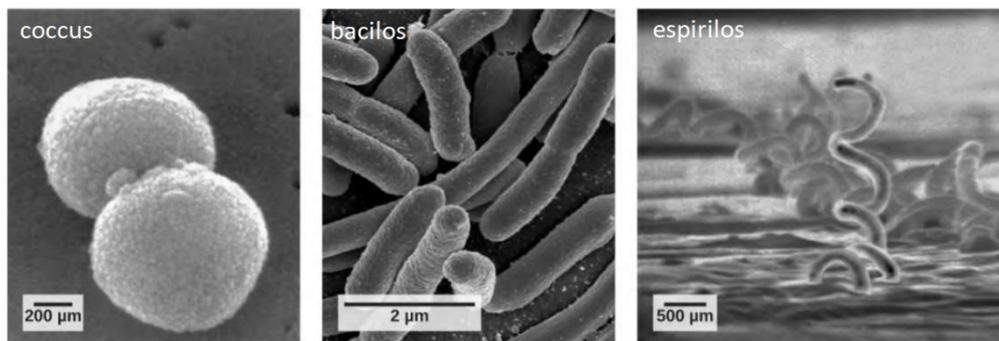
Tabela 3. Ocorrências usuais de organismos em esgotos brutos.

Microrganismo	Contribuição per capita (org/hab.d)	Concentração (org 100 mL ⁻¹)
Bactérias		
Coliformes totais	10 ⁶ – 10 ⁸	10 ⁶ – 10 ¹⁰
Coliformes fecais	10 ⁸ – 10 ¹¹	10 ⁶ – 10 ⁹
<i>Escherichia coli</i>	10 ⁸ – 10 ¹¹	10 ⁶ – 10 ⁹
<i>Salmonella spp.</i>	10 ⁵ – 10 ⁶	10 ² – 10 ³
<i>Streptococos fecais</i>	10 ⁸ – 10 ⁹	10 ⁵ – 10 ⁶
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	10 ⁴ – 10 ⁵	10 ¹ – 10 ²
Protozoários		
Cisto de <i>Giardia sp.</i>	10 ⁵ - 10 ⁷	10 ² – 10 ⁴
Oocistos de <i>Cryptosporidium spp.</i>	10 ⁴ - 10 ⁵	10 ¹ – 10 ²
Helmintos		
Ovos de helmintos	10 ⁴ - 10 ⁶	10 ¹ – 10 ³
Vírus		
Vírus	10 ⁵ – 10 ⁷	10 ² – 10 ⁴

Fonte: Adaptado de Gonçalves, 2003.

As bactérias apresentam uma morfologia simplificada e de acordo com Bitton (1994) elas ocorrem em três formas básicas: coccus (forma esférica; por exemplo, *Streptococcus*), bacilos (bastonetes; por exemplo, *Bacillus subtilis*) e formas em espiral (por exemplo, *Vibrio cholera*; *Spirillum volutans*).

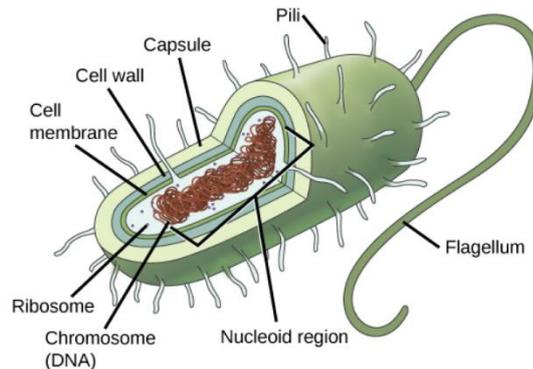
Figura 3. Formas básicas das bactérias.



Fonte: Adaptado de CLARCK *et al.*, 2018.

Existem ainda espécies que possuem estruturas que não são comuns a todas as bactérias e que são específicas para alguma função tal como: proteção (cápsula ou formação de esporo), movimentação (flagelos) ou adesão (fímbrias) (FAGNANI, 2014). A Figura 4 ilustra as partes específicas de uma bactéria.

Figura 4. Estrutura de uma célula bacteriana.



Fonte: Adaptado de CLARCK *et al.*, 2018.

A detecção dos microrganismos patogênicos na água é, quase sempre, morosa, complexa e onerosa. Por isso, recorre-se à identificação de organismos indicadores de contaminação, uma vez que sua presença indicaria a introdução de matéria de origem fecal (humana ou animal) na água (BRASIL, 2006).

Para Bitton (1994), os critérios para um organismo ser um indicador ideal são:

- a) este deve fazer parte da microbiota intestinal de animais de sangue quente;
- b) deve estar presente quando patógenos estão presentes e ausente em amostras não contaminadas;
- c) deve estar presente em grande número;
- d) assim como o patógeno, deve ter, no mínimo, semelhante resistência ao estresse ambiental e aos sistemas de tratamento de água e esgoto;
- e) não deve multiplicar – se no ambiente;
- f) deve ser detectado por métodos fáceis, rápidos e baratos;
- g) o organismo indicador não deve ser patogênico.

Brasil (2006) diz que não há um único organismo que satisfaça simultaneamente todas essas condições e que na ausência de um indicador ideal, deve-se trabalhar com o melhor indicador: o que apresente a melhor associação com os riscos à saúde, sendo as bactérias do grupo coliforme as mais utilizadas.

Von Sperling (2005) elenca as principais razões para a utilização do grupo coliforme como indicadores de contaminação fecal:

- a) Os grupos coliformes apresentam-se em grande quantidade nas fezes humanas, onde representa de 1/3 a 1/5 do seu peso.
- b) Os coliformes apresentam resistência ligeiramente superior à maioria das bactérias patogênicas intestinais.
- c) Os mecanismos de remoção dos coliformes são os mesmos para remoção de bactérias patogênicas.
- d) As técnicas bacteriológicas para a detecção de coliformes são rápidas e econômicas.

Os coliformes totais, fecais e *Escherichia coli* são os principais indicadores de contaminação fecal comumente utilizados. Estes indicadores são utilizados porque estão presentes nas fezes dos animais homeotermos (VON SPERLING, 2005).

Coliformes totais são bastonetes Gram negativos que fermentam a lactose a 35° C com produção de ácido e gás. Esse grupo contém um subgrupo chamado inicialmente de coliformes fecais, atualmente denominado de coliformes termotolerantes, e a espécie *Escherichia coli* que é considerada a única que confirma a contaminação fecal (CEBALLOS, 2017).

De acordo com Von Sperling (2005), não existe uma relação quantificável entre coliformes totais e microrganismos patogênicos, uma vez que estão presentes em águas e solos não contaminados, representando, portanto, organismos de vida livre, e não intestinal.

A *E. coli* é parte do subgrupo dos coliformes fecais, sendo o integrante mais numeroso. É a única espécie do grupo dos coliformes termotolerantes cujo habitat exclusivo é o intestino humano e de animais homeotérmicos, ocorrendo em densidades elevadas (CEBALLOS, 2017).

A Resolução nº430, do CONAMA, define a bactéria *Escherichia coli* como pertencente à família *Enterobacteriaceae* e caracterizada pela sua atividade enzimática β-glicuronidase (BRASIL, 2011).

Na área de tratamento de efluente a *E. coli* é empregada como parâmetro de eficiência do processo, principalmente, no tratamento terciário, verificando, comparando e monitorando a aplicabilidade de novas tecnologias na desinfecção (SILVA, 2018).

De acordo com Bilotta (2006) usualmente são empregadas bactérias *Escherichia coli* e *Clostridium perfringens* na determinação de bactérias e protozoários, respectivamente, enquanto os colífagos são indicadores da presença de vírus.

Os colífagos são vírus (bacteriófagos) que infectam e se replicam em bactérias coliformes, e estão presentes sempre que coliformes totais, fecais e *E. coli* estão presentes (CEBALLOS, 2017).

Nascimento (2008) cita que *Clostridium perfringens* tem sido sugerido como indicador de vírus e protozoários em ETAs, pois, são patógenos essencialmente oportunistas. Na microbiologia da água, *C. perfringens* é utilizado como indicador de poluição fecal antiga devido à sua capacidade de formar esporos (CEBALLOS, 2017).

3.1.3 Mecanismos da desinfecção

De acordo com Metcalf e Eddy (2016) os cinco principais mecanismos propostos para explicar a ação dos agentes de desinfecção são:

- a) danos à parede celular;
- b) alteração da permeabilidade da célula;
- c) alteração da natureza coloidal do protoplasma no interior da célula;
- d) alteração do DNA ou RNA dos organismos;
- e) inibição da atividade enzimática no protoplasma.

Camargo (2004) explica os mecanismos de desinfecção por agentes químicos e físicos:

O mecanismo de desinfecção dos desinfetantes químicos no tratamento da água ocorre pela oxidação ou ruptura da parede celular dos microrganismos, e a difusão do desinfetante no interior das células, com conseqüente interferência na atividade celular. A inativação dos microrganismos por desinfetantes físicos ocorre pela transferência de energia eletromagnética para o material genético, DNA ou RNA, por exemplo, radiação UV. Quando a radiação UV penetra na parede celular de um microrganismo, a mesma destrói a habilidade das células de se reproduzirem.

O Quadro 2 resume os mecanismos de desinfecção dos principais desinfetantes utilizados em águas residuárias domésticas tratadas.

Quadro 2. Mecanismos de desinfecção utilizando cloro, ozônio e radiação UV.

Cloro	Ozônio	Radiação UV
1. Oxidação direta da parede celular, com liberação do conteúdo da célula para o meio líquido.	1. Oxidação direta da parede celular, com liberação do conteúdo da célula para o meio líquido.	1. Danos ao DNA e ao RNA (formação das ligações duplas) no interior das células dos organismos.
2. Modificação da permeabilidade da parede celular.	2. Reações com os radicais produzidos na decomposição do ozônio.	2. Os ácidos nucleicos nos microrganismos são os que mais absorvem energia nos comprimentos de onda variando entre 240 – 280 nm.
3. Alteração do protoplasma da célula.	3. Danos aos constituintes do ácido nucleico.	3. Como o DNA e o RNA mantêm as informações para a reprodução dos microrganismos, os danos causados inativam os organismos.
4. Inibição da atividade enzimática.	4. Quebra das ligações carbononitrogênio, resultando na despolimerização.	
5. Danos ao DNA e ao RNA.		

Fonte: Adaptado de Metcalf e Eddy, 2016.

3.1.4 Fatores que afetam a desinfecção

A desinfecção refere-se a destruição seletiva de organismos causadores de doenças, sem que seja necessária a eliminação de todos os organismos. É usualmente conseguida pelo uso de agentes químicos e físicos; meios mecânicos e radiação (OLIVEIRA, 2003).

Segundo Albano (2014) na elaboração de um projeto de sistema de desinfecção de esgoto torna-se necessário o conhecimento da taxa de inativação do microrganismo indicador pelo agente desinfetante.

De acordo com Metcalf e Eddy (2016), para se conseguir uma desinfecção efetiva, os seguintes fatores principais devem ser considerados: tempo de contato e mistura na câmara de contato, concentração e tipo do agente desinfetante, intensidade e natureza dos agentes físicos, temperatura, tipos de organismos e natureza do líquido.

O tempo de contato do organismo com o desinfetante é uma das principais variáveis do processo de desinfecção. Para uma dada concentração de desinfetante a destruição é tanto maior quanto mais elevado for o tempo de contato (OLIVEIRA, 2003).

Para Metcalf e Eddy (2016) após a adição do agente de desinfecção, o tempo de contato e a eficiência da mistura na câmara de contato são de fundamental importância para assegurar o nível de inativação necessário. De acordo com Dias (2001) a cinética da desinfecção foi enunciada em 1908 e poder ser expressa pela **Equação 1**.

$$\frac{N}{N_0} = e^{-k.t} \quad (1)$$

Onde:

N – Concentração de microrganismos após ação do agente oxidante

N_0 – Concentração final de microrganismos

K – Constante de reação

T – Tempo de contato

Uma pesquisa de Herbert Watson atestou que a constante de inativação de microrganismos está relacionada com a concentração do agente de desinfecção, de acordo com a **Equação 2** (METCALF e EDDY, 2016).

$$K = \Lambda C^n \quad (2)$$

Onde:

K – Constante de inativação, T^{-1} , base e .

Λ – Coeficiente de letalidade específica, as unidades variam em função de n .

C – Concentração do agente de desinfecção, $mg.L^{-1}$.

n – Constante empírica relacionada à diluição, adimensional.

As interpretações oferecidas para os possíveis valores da constante de diluição, n , são:

- a) $n = 1$, a concentração e o tempo e contato têm a mesma importância;
- b) $n > 1$, a concentração é mais importante que o tempo de contato;
- c) $n < 1$, o tempo de contato é mais importante que a concentração.

Alguns exemplos de agentes físicos são o calor e a luz. Nesses casos, a eficiência da desinfecção depende da intensidade da radiação (OLIVEIRA, 2003). De acordo com Metcalf e Eddy (2016) a eficiência do processo de desinfecção utilizando UV depende da intensidade média de irradiação.

O efeito da temperatura na taxa de eliminação de microrganismos pode ser representado pela relação de van't Hoff-Arrhenius, na qual o aumento da temperatura resulta na aceleração

do processo de desinfecção (OLIVEIRA, 2003). O efeito da temperatura é dado pela **Equação 03** (METCALF E EDDY, 2016).

$$\ln \frac{\Lambda_1}{\Lambda_2} = \frac{E(T_2 - T_1)}{RT_1 T_2} \quad (3)$$

Onde:

Λ_1, Λ_2 – Coeficiente de letalidade específica nas temperaturas T_1 e T_2

E – Energia de ativação, $J.mol^{-1}$

R – Constante universal dos gases, $8,3144 J.mol^{-1}.K^{-1}$

A eficiência dos diversos tipos de desinfetantes é influenciada pelo tipo, pela natureza e condições dos microrganismos (METCALF E EDDY, 2016). Oliveira (2003) diz que a concentração de organismos no esgoto influencia o processo de desinfecção, uma vez que, quanto mais elevado o número inicial, maior será o tempo requerido para se conseguir a eliminação dos mesmos e completa informando que de acordo com Metcalf e Eddy (2016) as características do efluente tratado influenciam no processo de desinfecção e dentre os constituintes que podem interferir, deve-se ter atenção especial nestes:

- a) aos constituintes inorgânicos que podem reagir com o agente de desinfecção;
- b) à matéria orgânica de origens diversas;
- c) aos materiais em suspensão e coloidal.

Há muitos fatores que influenciam na eficiência da desinfecção, destacando-se as características físicas, químicas e biológicas da água a ser desinfetada, o tipo e dosagem do desinfetante e o tempo de contato (OLIVEIRA, 2003).

3.1.5 Parâmetro C.T

Segundo Macêdo (2007) uma concentração maior de um desinfetante deve requerer menos tempo para inativar os microrganismos e quanto maior o tempo de exposição, maior será a probabilidade de contato, e, portanto, maior desinfecção.

O produto C.T é atualmente o parâmetro mais aceitável para comparar a eficiência dos desinfetantes. Valores maiores do produto C.T indicam uma tolerância maior ao desinfetante, enquanto valores menores indicam tolerância mais baixa. A relação C.T deriva da lei de Chick-Watson é expressa por meio da **Equação 4** (MACÊDO, 2018):

$$K = C^n \cdot t \quad (4)$$

Onde:

K – Constante para um microrganismo específico exposto às condições específicas, em mg.minuto.L⁻¹.

C – Concentração da substância desinfetante, em mg.L⁻¹.

n – Coeficiente de diluição.

t – Tempo de contato necessário para inativação ou morte de uma percentagem dos organismos, em minutos.

Segundo Metcalf e Eddy (2016) a utilização do parâmetro C.T está se tornando comum na área de tratamento de efluentes e várias limitações associadas à sua obtenção devem ser levadas em conta. A maior parte dos valores de C.T foi obtida utilizando-se:

- a) reatores em batelada de mistura completa, simulando um reator pistonado ideal, em escala de laboratório, operando em condições controladas;
- b) organismos específicos, obtidos a partir de culturas puras em laboratório e;
- c) uma solução tamponada, isenta de material em suspensão, contendo os organismos de teste.

A Tabela 4 apresenta as eficiências dos agentes desinfetantes mais usados no tratamento de águas residuárias domésticas.

Tabela 4. C.T para inativação de bactérias⁸ em efluentes secundários (pH~7,5, ~20°C).

Desinfetante	Unidade	Inativação			
		1-log	2-log	3-log	4-log ⁹
Cloro (livre)	mg.minuto.L ⁻¹	0,4 – 0,6	0,8 – 1,2	1,2 – 1,8	1,6 – 2,4
Cloramina	mg.minuto.L ⁻¹	50 – 70	95 – 100	140 – 220	200 – 300
Dióxido de cloro	mg.minuto.L ⁻¹	0,4 – 0,6	0,8 – 1,2	1,2 – 1,8	1,6 – 2,4
Ozônio	mg.minuto.L ⁻¹	0,005 – 0,01	0,01 – 0,02	0,015 – 0,03	0,02 – 0,04
Radiação UV	mJ.cm ²	10 - 15	20 – 30	30 - 45	40 - 60

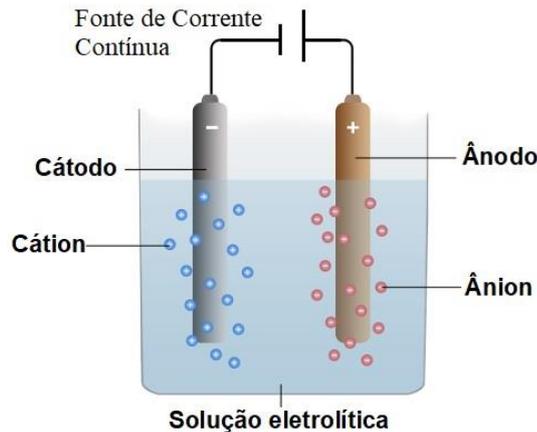
Fonte: Adaptado de Metcalf e Eddy, 2016.

3.2 DESINFECÇÃO ELETROQUÍMICA DE ESGOTO

3.2.1 Eletrólise e as leis de Faraday

No processo de eletrólise, um conjunto de eletrodos são conectados a uma fonte externa de corrente contínua. Durante a passagem da corrente elétrica, certa massa do eletrodo é dissolvida ou depositada na solução eletrolítica formando os íons (THEODORO, 2010).

Figura 5. Esquema de uma cuba eletrolítica.



Fonte: Próprio autor, 2020.

Ao se aplicar uma ddp, normalmente na faixa inferior a 10V, em dois eletrodos submersos em uma solução eletrolítica, observam-se reações químicas nas superfícies dos eletrodos, sendo estes fenômenos associados denominados eletrólise (FONSECA, 2017).

⁸ Os valores de C.T apresentados referem-se à remoção de coliformes totais. Valores de C.T significativamente menores são relatados para a inativação de coliformes termotolerantes e *E. coli*.

⁹ Dependendo da distribuição do tamanho das partículas, resultante do processo de filtração do efluente secundário, valores de C.T significativamente maiores poderão ser necessário para obter 4-logs de inativação.

Durante a eletrólise um campo elétrico é formado entre os eletrodos, onde os íons com carga positiva movimentam-se em direção ao cátodo e os negativos vão para o anodo. Chegando nos eletrodos, eles se neutralizam eletricamente (WIENDL, 1998).

Segundo Garcia (2002) os fenômenos que ocorrem durante a eletrólise podem ser estudados na célula eletrolítica. Quando uma substância qualquer, A_xB_y , libera íons em meio aquoso obtém-se um sistema constituído dos íons dessa substância, conforme **Equação 5**:



Os processos eletroquímicos obedecem às duas leis de Faraday (WIENDL, 1998).

a) 1º Lei de Faraday: A massa (M) da substância desprendida em um eletrodo é diretamente proporcional à carga elétrica (C) que atravessa a solução. A **Equação 6** a seguir ilustra a 1º Lei de Faraday:

$$M = \alpha \cdot C = \alpha \cdot I \cdot t \quad (6)$$

Onde:

M – Massa da substância analisada, em gramas.

I – Intensidade da corrente contínua, em Ampéres.

t – tempo da eletrólise, em segundos.

α – Equivalente Eletroquímico da substância, em grama / Coulomb.

b) 2º Lei de Faraday: A massa (M) da substância desprendida em um eletrodo é diretamente proporcional (K^*) ao equivalente Químico (m) dessa substância. A **Equação 7** a seguir ilustra a 2º Lei de Faraday:

$$M = K^* \cdot (m) \quad (7)$$

Onde:

M – Massa da substância analisada, em gramas.

K^* – Constante de proporcionalidade.

(m) – Equivalente-grama da substância em estudo.

De acordo com Crespilho e Rezende (2004) a massa de eletrodo consumida (mel), em gramas, durante a eletrólise, pode ser calculada pela **Equação 8**:

$$m_{el} = \frac{i \cdot t \cdot M}{F \cdot n} \quad (8)$$

Onde:

i – É a corrente, em amperes.

t – Tempo de aplicação da corrente, em segundos.

M – É a massa molar do elemento do eletrodo, $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$.

n – É o número de elétrons envolvidos na reação de oxidação do elemento do ânodo.

F – É a constante de Faraday ($9,65 \times 10^4 \text{ C} \cdot \text{mol}^{-1}$).

Para Crespilho e Rezende (2004) pela corrente obtida é possível determinar a potência (kW.h.m⁻³) de um reator de eletrólise em fluxo contínuo de acordo com a **Equação 9**.

$$P = \frac{(U \cdot i)}{Q \cdot 100} \quad (9)$$

Onde:

U – é o potencial, em volts.

i – É a corrente, em amperes.

Q – É a vazão, em $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$.

Wiendl (1998) diz que através da lei de Faraday é possível calcular o tempo de vida útil de certo eletrodo, conforme a **Equação 10**.

$$T = \frac{m_{el}}{\alpha \cdot i} \quad (10)$$

Onde:

m_{el} – É a massa de eletrodo consumida, em gramas.

i – É a corrente, em amperes.

α – É o equivalente eletroquímico, em gramas/coulomb.

Segundo Orsi (2014)

A área dos eletrodos juntamente com a amperagem aplicada no sistema é responsável pela velocidade com que ocorrerá a descarga de íons dos eletrodos, quanto maior a amperagem aplicada maior será a densidade de corrente. O controle sobre a velocidade com que ocorre a “descarga” dos íons nos eletrodos é muito importante, este processo é chamado de densidade de corrente (dc). Para mensurar o fluxo da carga é necessário estabelecer a corrente elétrica por unidade de área, seu cálculo é realizado conforme **Equação 11** (ATKINS, 1990):

$$dc = \frac{i}{A_t} \quad (11)$$

Onde:

dc = densidade de corrente, em A/m².

i – É a corrente, em amperes.

A_t = área total dos eletrodos, em m².

De acordo com Crespilho e Rezende (2004) de acordo com as características de efluente, a distância entre os eletrodos pode variar para melhor eficiência do processo. Se a condutividade do efluente for elevada serão necessárias distâncias maiores, caso contrário, a distância deverá ser a menor possível para que não ocorra aumento exagerado do potencial.

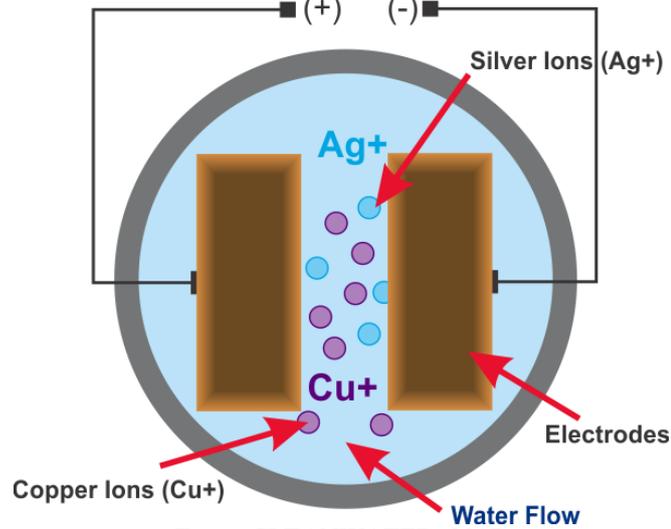
A condutividade é uma variável que afeta a eficiência da corrente elétrica, já que a tensão da célula diminui com o aumento da condutividade, e provoca uma diminuição da queda ôhmica (FORMENTINI, 2012).

3.2.2 Ionização de cobre e prata

A ionização de cobre e prata é um processo de eletrólise. A Figura 6 apresenta as partes constituintes do sistema de ionização de cobre e prata.

A Figura 6 mostra o sistema Copper, Silver Ionization (CSI), que opera ligado a um circuito hidráulico, os íons produzidos (Cu²⁺ e Ag⁺) são carregados pela vazão da água antes que possa ocorrer a deposição no cátodo (MACÊDO, 2018).

Figura 6. Esquema de um sistema CSI



A semi-reação de oxidação do cobre pode ser representada pela **Equação 12**:



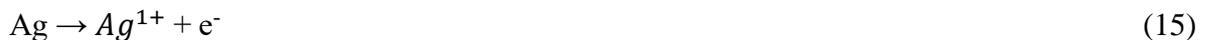
A semi-reação de redução da água pode ser representada pela **Equação 13**:



Como a quantidade de oxidação no ânodo deve ser equilibrada por uma quantidade igual de redução no cátodo, a reação completa pode ser expressa pela **Equação 14**:



A semi-reação de oxidação da prata pode ser representada pela Equação 15:



A semi-reação de redução pode ser representada pela Equação 16:

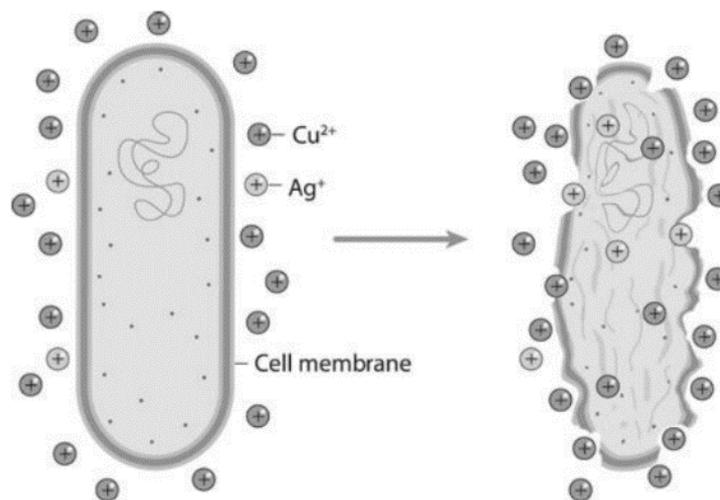


Como a quantidade de oxidação no ânodo deve ser equilibrada por uma quantidade igual de redução no cátodo, a reação completa pode ser expressa pela **Equação 17**:



De acordo com Sedzro, Banu e Akrong (2017) os íons de cobre (Cu^{2+}) formam ligações eletrostáticas com as células carregadas negativamente de microrganismos, resultando na ruptura de toda a permeabilidade celular. Por outro lado, os íons de prata (Ag^+) se ligam ao DNA e RNA do microrganismo, levando à imobilização e morte celular. A Figura 7 apresenta o mecanismo de inativação de microrganismos patogênicos.

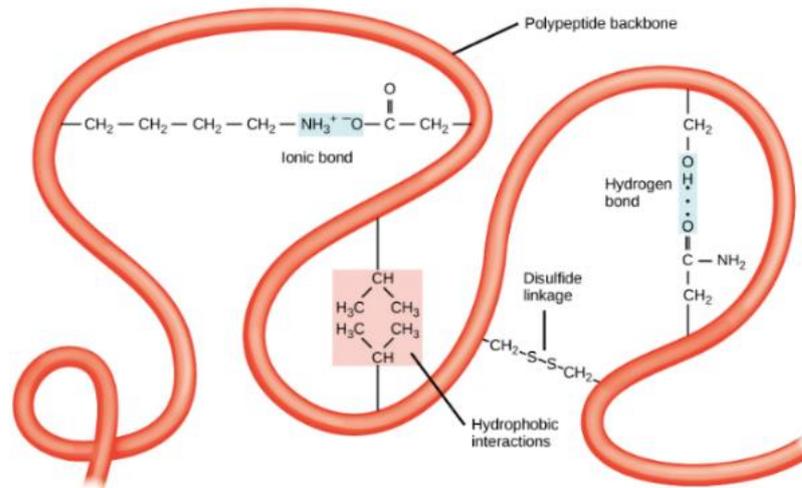
Figura 7. Ação de íons carregados positivamente, como prata (Ag^+) e cobre (Cu^{2+}).



Fonte: Adaptado de MACÊDO, 2018.

A ação bactericida dos íons de prata se dá através da sua ligação forte com grupos dissulfeto (S-S) e sulfidril (-SH) encontrados nas proteínas das paredes celulares das bactérias e através dessas ligações os processos normais do metabolismo são interrompidos, levando a morte celular (RODRIGUEZ, 2008). A Figura 8 ilustra as ligações dissulfeto.

Figura 8. Representação da ligação dissulfeto na molécula da proteína.

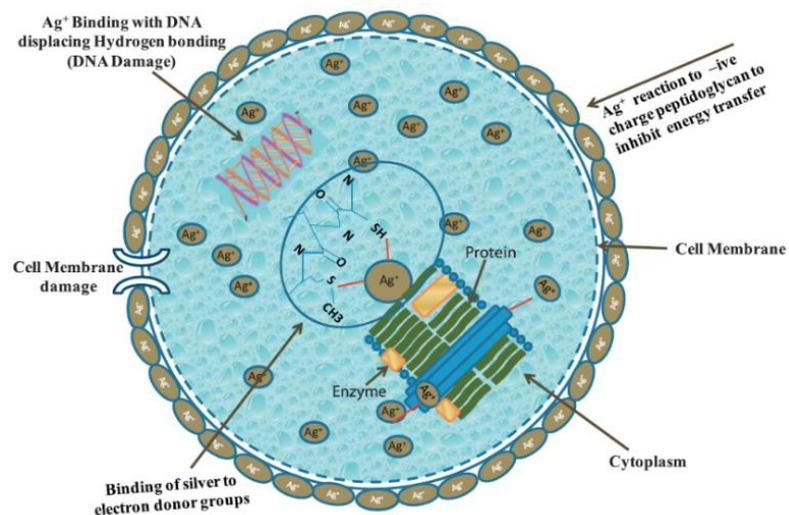


Fonte: Adaptado de CLARCK *et al.*, 2018.

Nawaz (2018) explica que existem diversos modos da prata inativar células bacterianas, conforme apresentado na Figura 9. Os íons de prata (Ag^+), por exemplo, ligam-se com peptidoglicano carregado negativamente na parede celular/membrana prejudicando a respiração celular e bloqueando seu sistema de transferência de energia, resultando em sua morte.

De acordo com Feng *et al.* (2000) os íons de prata ligam-se às bases nucleotídicas e o DNA se condensa, interferindo na multiplicação celular.

Figura 9. Diferentes modos de ação da prata com células bacterianas.



Fonte: Adaptado de NAWAZ, 2018.

3.2.3 Relatos científicos

O processo eletrolítico foi aplicado no tratamento de esgoto, pela primeira vez, por Webster em 1889, em Crossness, Inglaterra, com o uso de eletrodos de ferro e adição de água do mar ao efluente a tratar, operando o sistema a uma tensão de 10 volts (LIMA, 2010).

No Brasil, Saturnino de Brito apresentou o processo eletrolítico no IV Congresso Médico Latino-Americano, realizado em 1909. Propondo a utilização água do mar adicionada à efluentes domésticos, semelhantemente àquele realizado por Webster (LIMA, 2010).

Desde o início dos anos 30 já se usava, nos Estados Unidos, os processos de desinfecção com dispositivos eletrolíticos e atualmente, sabe-se que eles são eficientes contra uma grande variedade de microrganismos. Apesar de íons cobre e prata serem considerados de ação mais lenta que o cloro, eles são relativamente seguros, inodoros, não se dissipam e possuem efeito residual (YAHYA, 1989).

Um estudo desenvolvido por Huang (2016) investigou a eficiência da desinfecção de águas residuárias de um banheiro por tratamento eletrolítico. Os resultados mostraram reduções de 5-log₁₀ de todos os quatro microrganismos (*Escherichia coli*, *Enterococcus*, adenovírus recombinante sorotipo 5 e bacteriófago MS2) dentro de 60 min.

Segundo Macêdo (2018) alguns íons metálicos, em especial a prata e o cobre, têm propriedades microbicidas e mesmo em quantidades extremamente pequenas são capazes de inibir o crescimento bacteriano. A prata é a que melhor apresenta estas propriedades e menor toxicidade para os mamíferos.

De acordo com Rodriguez (2008) os íons cobre e prata são eficazes na inativação de *L. pneumophila* e o efeito combinado foi maior que a soma dos efeitos individuais quando cada um foi administrado sozinho.

As principais vantagens da ionização de cobre e prata são seu alto poder de desinfecção em baixas concentrações (cerca de 0,2-0,4 ppm de cobre e 0,02-0,04 ppm de prata), implantação e manutenção fáceis, efeito residual, sua ação não é alterada pela alta temperatura da água e o custo é relativamente baixo (ASOCIACIÓN NACIONAL DE EMPRESAS DE CONTROL DE PLAGAS, [200-?]).

A ionização de cobre e prata para a desinfecção de águas residuárias é um conceito relativamente novo. Estudos demonstram que em 2,5 horas ocorre uma redução de 6 logs de *Legionella* com apenas 0,1 mg.L⁻¹ de íons de cobre. O íon de prata também é eficaz, porém,

mais lento. Com a mesma concentração são necessárias 8 horas para inativar microrganismos. A combinação de ambos é sinérgica e relatada como bem-sucedida (PŪLE, 2016).

De acordo com World Health Organization (2018) diversas pesquisas apontam que a prata possui eficácia contra bactérias Gram-negativa (por exemplo, *Acinetobacter*, *Escherichia*, *Pseudomonas*, *Salmonella* e *Vibrio*) e Gram-positiva (por exemplo, *Bacillus*, *Clostridium*, *Enterococcus*, *Listeria*, *Staphylococcus* e *Streptococcus*); contra fungos (por exemplo, *Aspergillus niger*, *Candida albicans* e *Saccharomyces cerevisia*); contra vírus (por exemplo, hepatite B, HIV-1, sincicial, norovirus murinho); e contra oocistos de *Cryptosporidium*.

Sobre o efeito do cobre e prata, Popa (2000) relata:

que para inativar *L. pneumophila* são necessários 0,18 mg.L⁻¹ de Ag⁺ por mais de 24 horas, o que não é aceitável de acordo com os regulamentos imposto pela EPA[...]. O cobre inativa completamente (6 - log10) a *L. pneumophila* com uma concentração de 0,1 mg.L⁻¹ num período de 2-5 horas. O efeito sinérgico é observado para quantidades de 0,4:0,04 mg.L⁻¹ de cobre e prata; no entanto, o efeito aditivo é visto para uma concentração de 0,2: 0,02 mg.L⁻¹ de cobre e prata.

Soto (2009) em seu estudo expõe as vantagens da ionização de cobre e prata, onde destaca-se o efeito residual mais longo que outros desinfetantes, além de que sua eficácia não depende da temperatura.

Um estudo conduzido por Berger *et al.* (1976), aplicando íons de prata com uma corrente de 75 µA e tempo de 4 horas, determinou a Concentração Mínima Inibitória (CMI) e a Concentração Mínima Bactericida (CMB) para diversos microrganismos. Os resultados do experimento estão na Tabela 5.

Tabela 5. Resumo do estudo sobre inativação de microrganismos por íons de prata.

Organismo	Identificação	CMI (µg.L ⁻¹)	CMB (µg.L ⁻¹)
<i>Escherichia coli</i>	ATCC 25922	0,5	2,02
<i>E. coli</i>	Dental	1,03	8,25
<i>Providencia stuartii</i>	A 21471	0,13	0,73
<i>Proteus mirabilis</i>	CLINICAL	0,08	2,51
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	ATCC 27853	0,31	2,51
<i>Serratia</i>	386 A	0,08	0,51
<i>Staphylococcus albus</i>	Dental	0,12	8,25
<i>S. aureus</i>	ATCC 25923	0,3	0,26
<i>Streptococcus</i> grupo D	296	0,63	10,05
<i>S. mitis</i>	Dental	0,31	10,05
<i>S. monila</i>	Dental	1,25	10,05
<i>S. mutans</i>	GS-5	0,63	10,05
<i>S. mutans</i>	GS-7	0,63	10,05
<i>S. pyogenes</i>	ATCC 19617	0,24	0,48
<i>S. salivarius</i>	Dental	1,03	8,25

Fonte: Adaptado de Berger *et al.*, 1976.

De acordo com Popa (2015) as bactérias *E. Coli* morrem pela ação de $0,4 \text{ mg.L}^{-1}$ de prata, o que corresponde a $2,4 \cdot 10^{17}$ íons de prata. É citado ainda que concentrações de 50–200 ppb são eficientes para eliminar *Salmonella* e *E. coli* (apud Moroz, 1980). A exposição de bactérias *E. coli* e *Y. enterocololíticas* a baixos níveis de cobre causa lesões em suas células.

Pesquisas mostram que o cobre e certas ligas de cobre inativam vários tipos de microrganismos, incluindo *Escherichia coli*, *Listeria monocytogenes*, *Campylobacter jejum*, *Salmonella enteriditis*, *Legionella pneumophillia*, *Enterobacter aureus* e *Staphylococcus aureus* (MACÊDO, 2018).

Segundo Popa (2010) os eletrodos de prata e cobre são os únicos que mantêm um baixo potencial de 0,1 a 0,7 mV. O eletrodo de prata inibe os microrganismos do tipo *S. aureus*, *E. coli*, *P. vulgaris*, *P. aeruginosa*, e o ânodo de cobre é eficiente apenas para *E. coli* a $4,0 \mu\text{A}$.

Em um estudo, envolvendo a desinfecção de água em um hospital, demonstrou-se que íons de cobre, nas concentrações de 0,1 a $0,8 \text{ mg.L}^{-1}$, reduziram em 5 logs as bactérias *Pseudomonas aeruginosa*; e que íons de prata com $0,08 \text{ mg.L}^{-1}$, reduziram em 5 logs as bactérias *Pseudomonas aeruginosa*, *Stenotrophomonas maltophilia* e *Acinetobacter baumannii*. A combinação de íons cobre e de prata exibiu um efeito sinérgico contra *P. aeruginosa* e *A. baumannii* e ao mesmo tempo um efeito antagonista contra *S. maltophilia* (HUANG, 2007).

De acordo com Walravem, Wiebe e Chapman (2015) as concentrações de cobre e prata, para inativar *Legionella*, são de $200\text{-}400 \mu\text{g.L}^{-1}$ e $20\text{-}40 \mu\text{g.L}^{-1}$, respectivamente. Ionizadores com eletrodos distintos de pureza elevada possuem precisão para fornecer a dosagem necessária e os que usam ligas de cobre/prata não são eficazes.

World Health Organization (2018) cita um estudo sobre a eficiência de íons de prata para inativar *E. coli* com concentração de $1,75 \times 10^3 \text{ ufc.m}^{-1}\text{L}^{-1}$. Os resultados estão apresentados da Tabela 6.

Tabela 6. Resumo do estudo sobre inativação de *E. coli* por íons de prata.

Organismo	Tipo de prata	Concentração de prata ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	Concentração inicial ($\text{ufc.m}^{-1}\text{L}^{-1}$)	Duração (minutos)	Redução de Log_{10}
<i>E. coli</i>	Ag ⁺ de eletrodos	20	$1,75 \times 10^3$	20	3
<i>E. coli</i>	Ag ⁺ de eletrodos	10	$1,75 \times 10^3$	40	3
<i>E. coli</i>	Ag ⁺ de eletrodos	5	$1,75 \times 10^3$	50	3
<i>E. coli</i>	Ag ⁺ de eletrodos	2	$1,75 \times 10^3$	60	3

Fonte: Adaptado de World Health Organization, 2018.

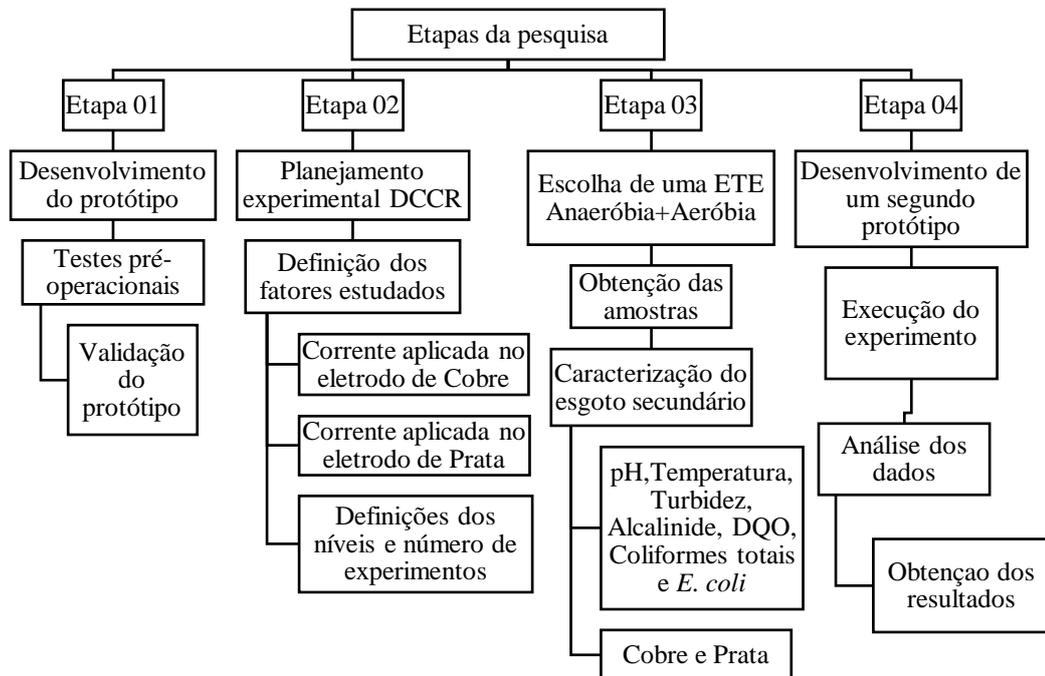
Martínez (2004) realizou um estudo para avaliar a redução da aplicação de cloro para combater bactérias que promovem corrosão e formação de biofilmes em torres de resfriamento de água. A utilização simultânea de íons de cobre ($1,20 \text{ mg.L}^{-1}$) e prata ($0,20 \text{ mg.L}^{-1}$) com baixas concentrações de cloro ($0,30 \text{ mg.L}^{-1}$) mostrou ser viável para redução da população bacteriana, reduzindo o uso do cloro.

Uma pesquisa realizada por Edokpayi *et al.* (2017), em águas subterrâneas sintéticas, mostrou que $80 \text{ } \mu\text{g.L}^{-1}$ de Ag^+ fornece redução de 4 log - 8.5 log de *E. coli* entre 2 a 24 horas. Enquanto, $800 \text{ } \mu\text{g.L}^{-1}$ de Cu^{2+} 1 log - 7 log de redução de *E. coli* no intervalo de 4 a 24 horas.

4 MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada em quatro etapas que estão descritas na Figura 10. Na etapa 04 foi desenvolvido o estudo referente ao processo de ionização de cobre e prata utilizada como método de inativação de patogênicos, com o propósito de obter resultados de desinfecção.

Figura 10. Fluxograma das etapas da pesquisa.



Fonte: Próprio autor, 2020.

4.1 DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO

4.1.1 Avaliações preliminares do processo

O primeiro protótipo do ionizador usado nesse trabalho foi desenvolvido pela Empresa Junior de Engenharia do Instituto Militar de Engenharia (IME), faculdade reconhecida como uma das melhores do Brasil. O IME é a Faculdade de Engenharia mais antiga das Américas, fundado em 1792. Seus 225 anos de excelência em engenharia o tornam um personagem singular na história do Brasil (IME, 2017).

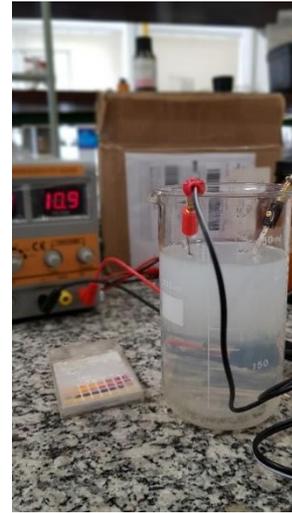
O protótipo apresentado na Figura 11 e na Figura 12 é composto por uma fonte de corrente contínua regulável, um par de eletrodos de cobre com 1,6 centímetros (cm) de diâmetro e 15 cm de altura e um par de eletrodos de prata com 0,50 cm x 0,040 cm x 8,0 cm.

Figura 11. Testes com os eletrodos de cobre.



Fonte: WENIS, 2019.

Figura 12. Testes com os eletrodos de prata.



Fonte: WENIS, 2019.

Figura 13. Testes com sulfato de sódio.



Fonte: WENIS, 2019.

Figura 14. Teste com nitrato de potássio.



Fonte: WENIS, 2019.

Figura 15. Reação com cloreto de sódio.



Fonte: WENIS, 2019.

Figura 16. Reação com amônia.



Fonte: WENIS, 2019.

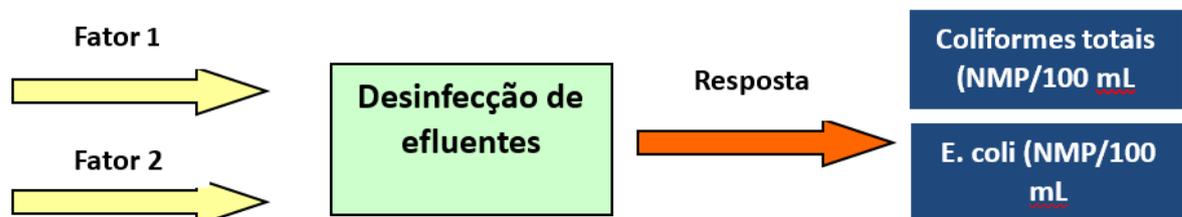
4.2 PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL

Foi realizado um planejamento experimental para verificar os efeitos de duas variáveis (corrente no eletrodo de cobre e corrente no eletrodo de prata) na desinfecção de águas residuárias domésticas.

4.2.1 Delineamento composto central rotacional (DCCR)²

Será verificado através de planejamento multivariável o efeito de dois fatores na desinfecção de águas residuárias domésticas, conforme ilustrado na Figura 17. Será aplicado um planejamento experimental fracionário 2^2 – Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR), sem repetições, com 11 tipos de combinações entre os fatores. Os domínios das faixas dos parâmetros estudados estão de acordo com World Health Organization (2018). Os valores mínimos e máximos são apresentados na Tabela 8.

Figura 17. Representação do planejamento experimental.



Fonte: Próprio autor, 2019.

Onde:

Fator 1 – Corrente aplicada no eletrodo de cobre, em A.

Fator 2 – Corrente aplicada no eletrodo de prata, em A.

O delineamento proposto para atingir esse objetivo foi um DCCR, onde o número de experimentos foi determinado conforme a **Equação 18**.

$$N = 2^k + 2K + n_0$$

18

Onde:

N – Número de experimentos a se realizar;

K – Número de fatores (variáveis independentes) avaliadas;

n_0 – Número de repetições do ponto central do plano.

As melhores condições de correntes de cobre e de prata foram definidas por meio das análises das superfícies de respostas geradas pelo DCRR.

Tabela 7. Níveis de fatores empregados no Planejamento Experimental.

Fatores	Níveis				
	(-1,41)	(-1)	(0)	(+1)	(+1,41)
Corrente no eletrodo de Cu^{2+} (A)	0,43	0,45	0,5	0,55	0,57
Corrente no eletrodo de Ag^+ (A)	0,015	0,02	0,03	0,04	0,044

Fonte: Próprio autor, 2019.

No total foram onze experimentos realizados de forma aleatória, com três repetições, conforme Tabela 8.

Tabela 8. Ordem dos experimentos empregados no planejamento fatorial DCCR².

Ordem dos experimentos	Fatores	
	Corrente Cu^{2+} (A)	Corrente Ag^+ (A)
1	-1	-1
2	+1	-1
3	-1	1
4	1	1
5	-1,41	0
6	+1,41	0
7	0	-1,41
8	0	1,41
9	0	0
10	0	0
11	0	0

Fonte: Próprio autor, 2019.

4.3 ÁREA DE ESTUDO

As amostras de esgoto secundário deste trabalho foram coletadas em uma ETE compacta instalada em um prédio comercial, localizado no município de Santarém – PA. Esta ETE está em operação desde agosto de 2019, tendo capacidade para tratar até 3.000 litros ao dia.

O esgoto produzido no prédio comercial era tratado inicialmente a nível primário (tanque séptico/sumidouro). Posteriormente, foi instalado uma complementação a nível secundário (filtro aerado submerso e decantador) e terciário (desinfecção pro cloração). A ETE é composta pelas seguintes partes, conforme indicado na Figura 18:

1ª PARTE: Tanque séptico em alvenaria;

- 2ª PARTE: Sumidouro em alvenaria;
- 3ª PARTE: Filtro aerado submerso e decantador secundário;
- 4ª PARTE: Soprador de ar e quadro de comandos.

Figura 18. ETE Compacta em Santarém-PA.



Fonte: Próprio autor, 2020.

4.4 AMOSTRAGEM

As amostras de esgoto foram coletadas em 06/10/2020 e foram retiradas da unidade de decantação secundária com o uso de frascos plásticos de 5 litros (Figura 19). Coletou-se um total de 25 litros (Figura 20).

Figura 19. Coleta das amostras na ETE.



Fonte: Próprio autor, 2020.

Figura 20. Total de amostras de esgoto coletadas.



Fonte: Próprio autor, 2020.

As amostras coletadas foram conduzidas ao Laboratório de Biologia Ambiental do ICTA/UFOPA, onde foram distribuídas em frascos plásticos de 2L, onde cada um recebeu aproximadamente 1 litro de amostra (Figura 21) para a execução dos experimentos, totalizando 12 frascos.

Figura 21. Distribuição das amostras nos frascos.



Fonte: Próprio autor, 2020.

4.5 MÉTODOS ANALÍTICOS

As análises foram realizadas conforme metodologia descritas no Standard Methods for Examination of Water and WasteWater (APHA, 2012). As características que serão determinadas na amostra do esgoto doméstico, no referido ponto de coleta, estão expressas na Tabela 9.

Tabela 9. Características estudadas.

Parâmetro	Metodologia
Temperatura (°C)	SMEWW 2550 B
pH	SMEWW 4500-H B
Turbidez (NTU)	SMEWW 2510 A
Alcalinidade Total (mg CaCO ₃ .L ⁻¹)	SMEWW 2320-B
Condutividade (µS.cm ⁻¹)	SMEWW 2510 A
DQO (mg.L ⁻¹)	SMEWW 5220 D
Coliformes totais	SMEWW 9222 D
<i>Escherichia coli</i>	SMEWW 9222 D
Cobre	SMEWW 3500-Cu B
Prata	SMWW 3111 B

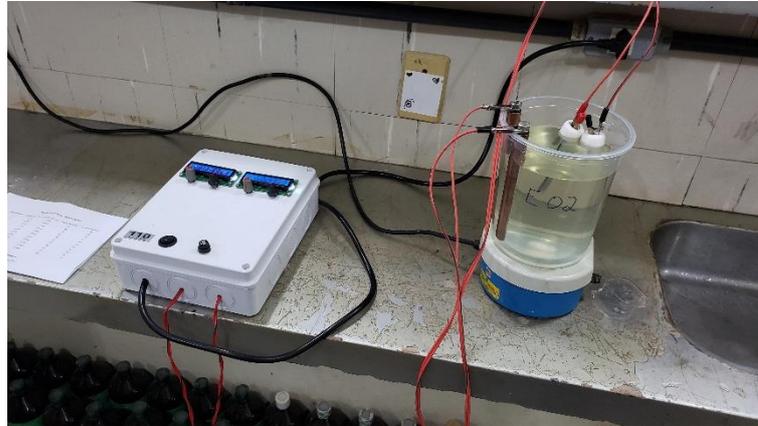
Fonte: Próprio autor, 2019.

4.6 MONTAGEM E FUNCIONAMENTO DO REATOR ELETROLÍTICO

Para a execução dos experimentos foi montado no laboratório um reator eletrolítico consistindo de um frasco de capacidade de 2 litros (cuba eletrolítica), eletrodos de cobre e de prata, agitador eletromagnético e eletrólito (esgoto tratado). Os eletrodos foram colocados no

reator de maneira perpendicular, paralelos com distância menor que 5 centímetros e sem encostar no fundo do recipiente.

Figura 22. Reator Eletrolítico utilizado para execução do experimento.



Fonte: Próprio autor, 2020.

Um segundo ionizador foi montado com duas fontes independentes de corrente contínua reguláveis, sendo uma para alimentar os eletrodos de cobre e outra para os de prata. Dessa forma, foi possível ajustar as correntes aplicadas nos eletrodos no valor desejado e sem interferência cruzada.

A alimentação do sistema eletroquímico se deu por meio de duas fontes de corrente contínua, retificadora, que pode fornecer até 30 volts nominais, conforme ajuste do retificador, e corrente mínima de 0,01 ampères e corrente máxima de 3 ampères cada. As fontes são providas de painéis digitais de controle para leitura de medidas de corrente e voltagem.

Após determinação do planejamento experimental, eles foram iniciados, onde cada evento usou aproximadamente 1 litro de esgoto, conforme ilustrado na Figura 22. Após cada experimento, com tempo de ionização de 20 minutos, os eletrodos eram lavados com água corrente e com palha de aço para retirada de possíveis materiais aderidos decorrente do tratamento eletrolítico.

Após a conclusão de um experimento a amostra descansou por 30 minutos e em seguida foram analisados os seguintes parâmetros da Tabela 7 (temperatura, pH, alcalinidade total, condutividade, DQO, coliformes totais e *Escherichia coli*). Para a determinação da turbidez esperou-se um tempo de 24 horas, pois, 100% das amostras apresentaram a formação de flocos em dispersão, conforme ilustrado na Figura 23.

Figura 23. Amostras com flocos em dispersão.



Fonte: Próprio autor, 2020.

Para cada experimento foi separado um volume de 50 ml de amostra para a determinação das concentrações de cobre e de prata, que foram realizadas laboratório Tapajós Soluções Ambientais, na cidade de Santarém-PA.

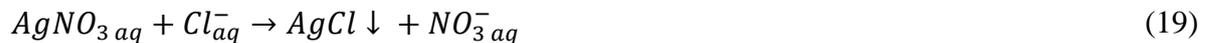
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 TESTES PRÉ-OPERACIONAIS DO PROTÓTIPO.

Foram testadas duas soluções condutoras com características semelhantes ao do esgoto doméstico tratado. Em um dos testes foi utilizado sulfato de sódio (NaSO_4) como eletrólito e no outro foi usado nitrato de potássio (KNO_3). Em ambos os casos, a ionização do cobre ocorreu de forma satisfatória, ou seja, foram formados íons cobre na solução, denotados por uma cor azul intensa, ilustrado na Figura 11, por conta da formação de hidróxido de cobre (CuOH).

Entretanto, no caso da prata o resultado foi insatisfatório apenas na solução de NaSO_4 . O sulfato e a prata formam um sal muito insolúvel quando reagem, ou seja, quando a solução utilizada foi de NaSO_4 não observou – se íons prata em solução.

Ao reagir a solução da Figura 12 com ácido nítrico e cloreto de sódio era esperado ocorrer a precipitação do cloreto de prata, de acordo com a **Equação 19**:



Entretanto nada ocorreu, logo não haviam íons prata na solução, como já foi explicado.

O teste envolvendo a solução de KNO_3 resultou no aspecto mostrado na Figura 13 e verificou-se que nessa solução havia cátions prata e óxido de prata. Um certo volume desta solução foi colocado em um becker e posto a reagir com cloreto de sódio (NaCl), a fim de formar cloreto de prata. O resultado é o mostrado na Figura 13.

Nos beckeres da Figura 15 foi adicionado NaCl e o turvado desapareceu de acordo com a reação da **Equação 20**.



Um outro teste realizado, para fundamentar ainda mais o processo, consistiu em reagir a solução de cloreto de prata com amônia. A reação resulta a solução da Figura 16.

5.2 CARACTERIZAÇÃO DO ESGOTO SECUNDÁRIO

Na Tabela 10 são apresentados os resultados dos parâmetros analisados no esgoto secundário coletado para esta pesquisa e de outros dois autores que utilizaram esgoto secundário de ETEs com configuração anaeróbio-aeróbio.

Tabela 10. Características do esgoto tratado por reator anaeróbio-aeróbio e de outro autor.

Item	Parâmetro	Efluente Secundário	Outro autor
			Claro <i>et al.</i> (2010)
1	Temperatura (°C)	29,3	19,0
2	pH	7,35	7,60
3	Turbidez 24 horas (UNT)	1,41	27,8
4	Alcalinidade (mg/L)	88	225
5	Condutividade (µS/L)	619	531
6	DQO (mg/L)	43,7	205,25
7	Coliforme Totais (UFC/100 mL)	6,0x10 ⁴	9,8x10 ⁸
8	Escherichia coli (UFC/100 mL)	1,0x10 ⁴	4,1x10 ⁴
9	Cobre (mg/L)	< 0,1	-
10	Prata (mg/L)	< 0,01	-

Fonte: Produção própria do autor.

Um estudo conduzido por Claro *et al.* (2010) caracterizou o efluente secundário de um ETE composta por lagoa anaeróbia seguida de lagoa facultativa. Os resultados estão na Tabela 10 e apresentam semelhança em alguns parâmetros, como o pH e condutividade. Acredita-se que os demais valores divergentes têm como explicação a falta de operação das lagoas.

Um trabalho desenvolvido por Celestino (2017) avaliou a concentração de DQO em um efluente tratado por uma ETE com reator anaeróbio e reator aeróbio, onde o valor médio foi de 56,00 mg/L. Em outro experimento realizado por Sanches (2019) a configuração de tratamento por reatores anaeróbio e aeróbio apresentou uma concentração média de DQO de 48,16 mg/L.

Von Sperling & Chernicharo (2000) apresentam a faixa de *E. coli* no efluente tratado por lagoa anaeróbia mais lagoa facultativa e reator UASB mais lodos ativados, onde os valores são 10⁵~10⁶ e 10⁶ UFC/100 mL, respectivamente. O valor encontrado nesta pesquisa foi de 10⁴ UFC/100 mL, ficando abaixo do estimado pelos autores.

5.3 AVALIAÇÕES EXPERIMENTAIS

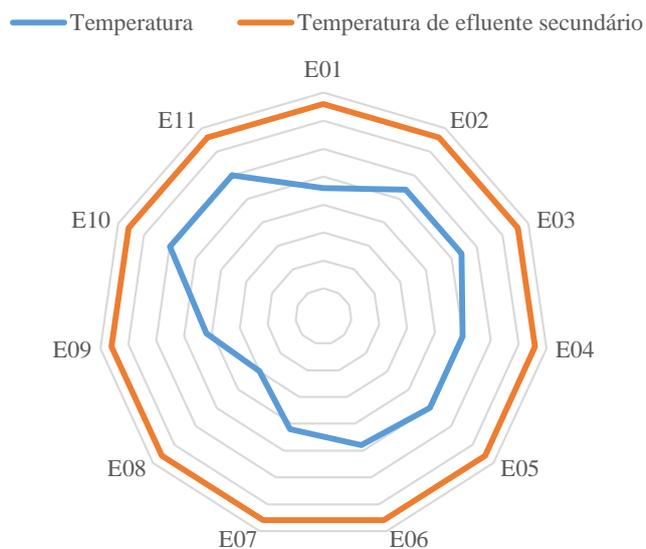
5.3.1 TEMPERATURA

Tabela 11. Resultados para temperatura.

Item	Parâmetro	E01	E02	E03	E04	E05	E06	E07	E08	E09	E10	E11
1	Temperatura (°C)	27,8	28,2	28,2	28	28	27,9	27,6	27,1	27,6	28,5	28,5

Fonte: Produção própria do autor.

Figura 24. Resultados para Temperatura.



Fonte: Produção própria do autor.

O gráfico mostra que todas as temperaturas dos experimentos foram menores que a temperatura do efluente secundário. Acredita-se que a climatização com ar-condicionado do laboratório foi a responsável por esse decréscimo.

O processo de digestão anaeróbia pode ser observado em três faixas de temperatura, relacionados com o crescimento microbiano: a faixa psicrófila compreendida, aproximadamente, entre 4 e 15 °C, a mesofílica entre 20 e 40 °C e a termofílica acima de 45 °C, sendo apontadas como fase ótima para o processo as últimas duas faixas. (METCALF e EDDY, 2014). O Parâmetro temperatura está dentro da faixa ideal para o bom funcionamento da etapa anaeróbia da ETE.

De acordo com Soto (2009) a temperatura não tem interferência na eficiência de desinfecção por ionização de cobre e prata.

Na pesquisa de Green *et al.* (2019) foram testadas as eficiências da ionização de cobre e prata para diversas faixas de temperatura e o resultado foi que o processo não sofreu interferência em sua eficácia.

Nesta pesquisa a desinfecção eletroquímica mostrou-se eficiente para as temperaturas encontradas, ou seja, os microrganismos avaliados foram inativados de forma satisfatória.

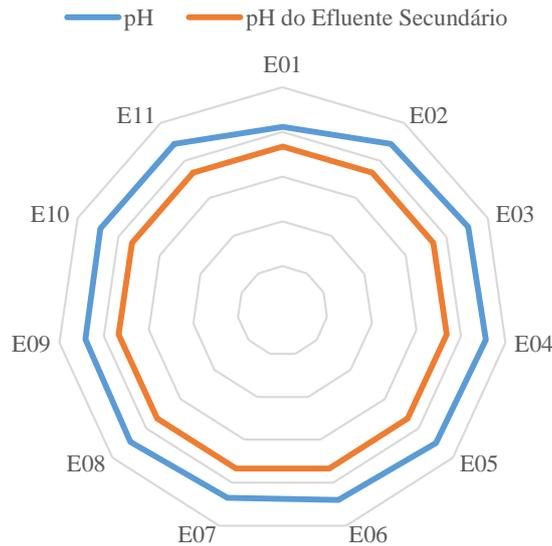
5.3.2 pH

Tabela 12. Resultados para pH.

Item	Parâmetro	E01	E02	E03	E04	E05	E06	E07	E08	E09	E10	E11
2	pH	8,24	8,88	9,05	9,12	9,0	8,8	8,7	8,94	8,83	8,9	8,89

Fonte: Produção própria do autor.

Figura 25. Resultados para pH.



Fonte: Produção própria do autor.

Pelo gráfico da Figura 25 é possível reparar que o parâmetro pH apresentou um aumento em todos os onze experimentos realizados, sendo que o valor máximo foi de 9,12.

Díaz *et al.* (2012) atribui um possível aumento do pH às reações catódicas de geração de íons OH^- , a partir da eletrólise da água, e de gás H_2 e a partir do consumo de íons H^+ .

De acordo com Solis *et al.* (2020) a desinfecção com íons de prata é mais eficiente entre os pH 8 e 9 para temperaturas acima de 20°C e menos eficiente para pH maiores que 9.

Nesta pesquisa o pH acompanhou a tendência dos outros autores e teve um aumento em todos os 11 experimentos.

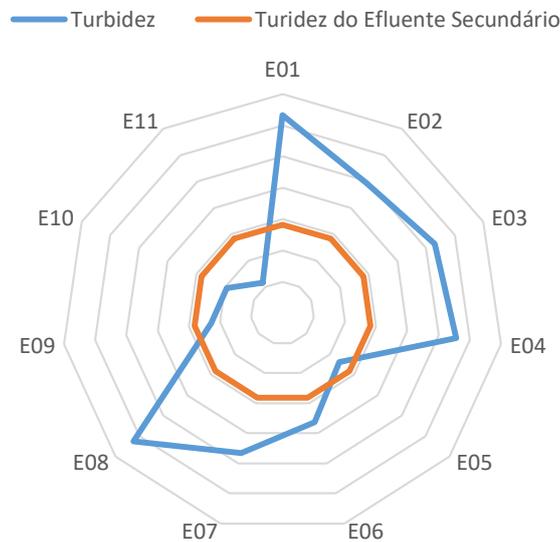
5.3.3 TURBIDEZ

Tabela 13. Resultados para Turbidez.

Item	Parâmetro	E01	E02	E03	E04	E05	E06	E07	E08	E09	E10	E11
3	Turbidez 24 horas (UNT)	3,16	2,47	2,65	2,78	1,19	1,82	2,33	3,13	1,14	0,97	0,58

Fonte: Produção própria do autor.

Figura 26. Resultados para Turbidez.



Fonte: Produção própria do autor.

É possível identificar no gráfico da Figura 26 que o parâmetro turbidez apresentou aumento nos seus valores nos experimentos: E01, E02, E03, E04, E06, E07 e E08; e diminuição nos seus valores nos experimentos: E05, E09, E10 e E11. O maior e menor valor foram, respectivamente, 3,16 e 0,58 UNT.

O trabalho desenvolvido por Godoi (2019) mostra a redução da turbidez como resultado mais satisfatório no seu experimento de eletrocoagulação para tratamento de lixiviado de aterro sanitário. A autora cita que as amostras após o experimento tiveram este valor maior que a

amostra bruta e sugere que a causa pode ser o excesso de partículas advindas da corrosão do eletrodo de ferro, tornando a solução mais turva.

De acordo com Solis *et al.* (2020) o aumento da turbidez após o processo de ionização pode estar relacionado com a presença de sólidos dissolvidos que reagiram com os íons de cobre e prata, deixando a solução mais turva.

Nesta pesquisa a turbidez não acompanhou a tendência dos outros autores e teve um aumento significativo na maioria das amostras.

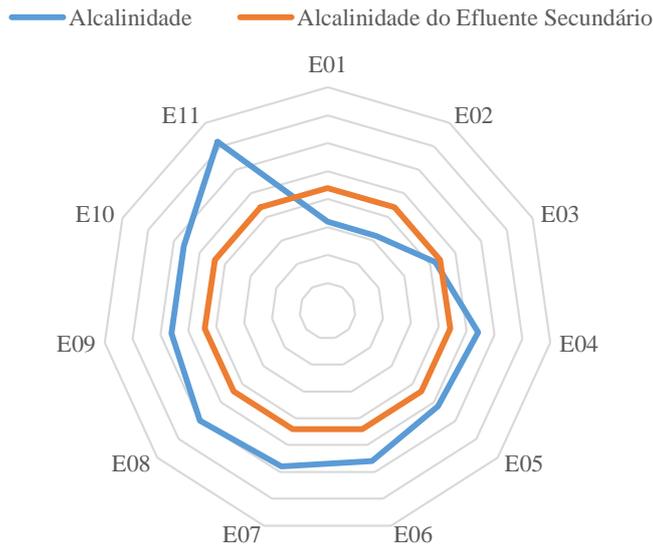
5.3.4 ALCALINIDADE

Tabela 14. Resultados para Alcalinidade.

Item	Parâmetro	E01	E02	E03	E04	E05	E06	E07	E08	E09	E10	E11
4	Alcalinidade (mg/L)	64	64	84	108	104	112	116	120	112	112	144

Fonte: Produção própria do autor.

Figura 27. Resultados para alcalinidade.



Fonte: Produção própria do autor.

No gráfico da Figura 27 o parâmetro alcalinidade apresentou aumento nos seus valores nos experimentos: E04, E05, E06, E07, E08, E09, E10 e E11; e diminuição nos seus valores nos experimentos: E01, E02 e E03. O maior e menor valor foram, respectivamente, 120 e 64 mg/L.

No trabalho de Claro *et al.* (2010) a alcalinidade não apresentou grande variação, com valor inicial de 225 mg/L com máximo e mínimo de 244 e 216 mg/L, respectivamente. A autora cita que a alcalinidade é a capacidade que as águas têm de neutralizar os ácidos e é causada por sais alcalinos, principalmente sódio e cálcio.

Nesta pesquisa a alcalinidade acompanhou a tendência dos outros autores e não teve um aumento significativo.

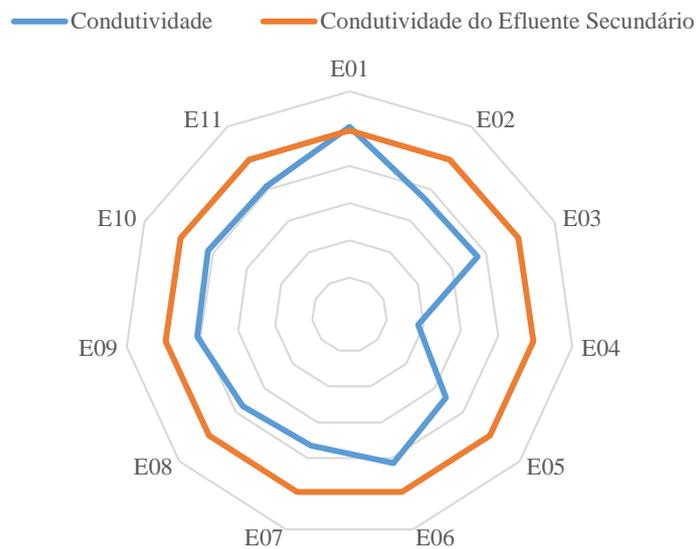
5.3.5 CONDUTIVIDADE ELÉTRICA

Tabela 15. Resultados para Condutividade.

Item	Parâmetro	E01	E02	E03	E04	E05	E06	E07	E08	E09	E10	E11
5	Condutividade ($\mu\text{S/L}$)	621	594	595	557	588	603	593	595	602	603	602

Fonte: Produção própria do autor.

Figura 28. Resultados para Condutividade.



Fonte: Produção própria do autor.

No gráfico da Figura 28 é possível observar que o parâmetro condutividade apresentou aumento no seu valor apenas no experimento E01 e diminuição nos experimentos: E02 a E11. O maior e menor valor foram, respectivamente, 621 e 557 $\mu\text{S/L}$.

De acordo com Claro *et al.* (2010) a ação da eletrólise tem estreita relação com a condutividade, pois quanto maior a condutividade maior será a transmissão de corrente e consequentemente ocorrerá maior liberação de massa dos metais na solução.

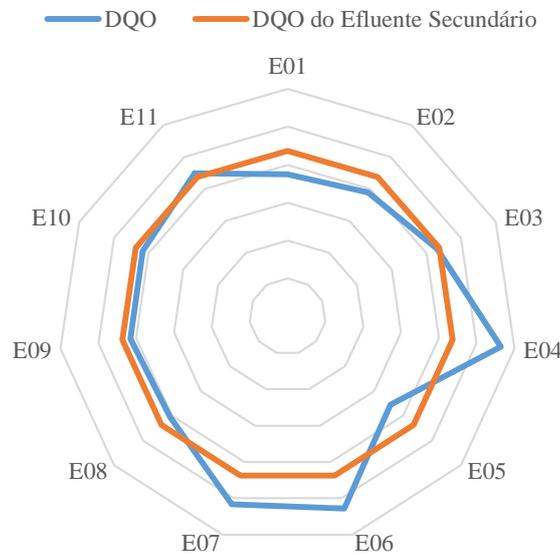
5.3.6 DQO

Tabela 16. Resultados para DQO.

Item	Parâmetro	E01	E02	E03	E04	E05	E06	E07	E08	E09	E10	E11
6	DQO (mg/L)	37,5	38,9	43	56,4	35,6	52,8	51,7	40,6	41,5	41,7	44,9

Fonte: Produção própria do autor.

Figura 29. Resultados para DQO.



Fonte: Produção própria do autor.

A DQO está diretamente correlacionada à quantidade de matéria orgânica presente na amostra. No gráfico da Figura 29 o parâmetro DQO apresentou aumento no seu valor nos experimentos E04, E06, E07 e E11; e diminuição nos experimentos: E01, E02, E03, E05, E08, E09 e E10. O maior e menor valor foram, respectivamente, 56,4 e 35,6 mg/L.

O decréscimo de DQO pode ser explicado pela capacidade da eletrólise em flocular a matéria orgânica que interage com os íons de Cu^{2+} ou de Ag^+ produzidos, removendo dessa forma a matéria orgânica dissolvida e em suspensão.

A DQO demonstrou não ser um fator limitante para a ação dos íons de cobre e de prata e está de acordo com o resultado obtido por Ruelas&Gerba&Bright (2019).

5.3.7 MICRORGANISMOS INDICADORES

A Tabela 17 apresenta os dados experimentais obtidos no planejamento experimental DCCR. Nesse planejamento foram investigados os seguintes fatores: corrente de íons cobre (Cu^{2+}) e corrente de íons prata (Ag^+).

Tabela 17. Resultados do Planejamento experimental DCCR obtidos para os níveis de coliformes totais e E. coli durante a desinfecção de efluente secundário através de ionização com íons Cobre e Prata.

Ensaio	Fatores		Respostas	
	Corrente Cu^{2+} (A)	Corrente Ag^+ (A)	Coliformes Totais (NMP/100 mL)	E. coli (NMP/100 mL)
1	0,45	0,020	18.000	0
2	0,55	0,020	11.000	0
3	0,45	0,040	3.000	0
4	0,55	0,040	0	0
5	0,43	0,030	0	0
6	0,57	0,030	0	0
7	0,50	0,015	0	0
8	0,50	0,044	0	0
9	0,50	0,030	0	0
10	0,50	0,030	0	0
11	0,50	0,030	0	0

Fonte: Produção própria do autor.

O parâmetro *Escherichia coli* apresentou 100% de remoção em todos os onze experimentos. A eficiência da inativação de coliformes totais foi determinada pela **Equação 21**

O parâmetro coliformes totais apresentou redução de 70% no experimento E01, de 81,66% no experimento E02 e 95% no experimento E03. Nos experimentos E04 a E11 obteve-se 100% de remoção.

A eficiência da inativação de coliformes totais será determinada pela **Equação 21**.

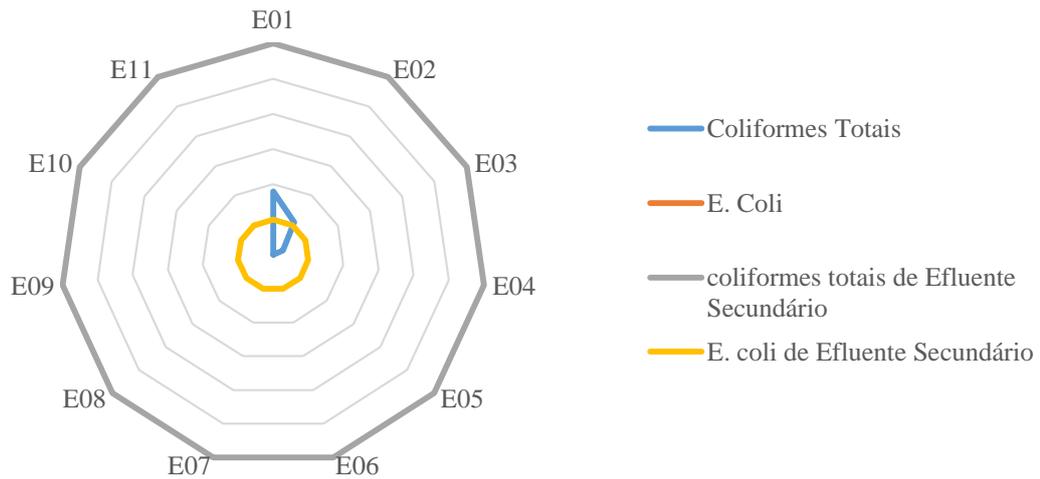
$$E_{C.T.} = \frac{(C_0 - C) * 100}{C_0} \quad (21)$$

Onde:

$E_{C.T.}$ - Eficiência de inativação do microrganismo, em %.

C_0 – Concentração inicial de microrganismos, em mg/L;

C - Concentração final de microrganismos, em mg/L;

Figura 30. Resultados para coliformes totais e *E. coli*.

Fonte: Produção própria do autor.

A pesquisa apresentou resultados em concordância com os outros autores, pois, a desinfecção se deu de forma satisfatória para *E. coli* e para coliformes totais.

De certa forma pode-se afirmar que os demais parâmetros não interferiram no desempenho do processo de desinfecção por ionização de cobre e prata.

5.3.8 COBRE

Tabela 18. Resultados para cobre.

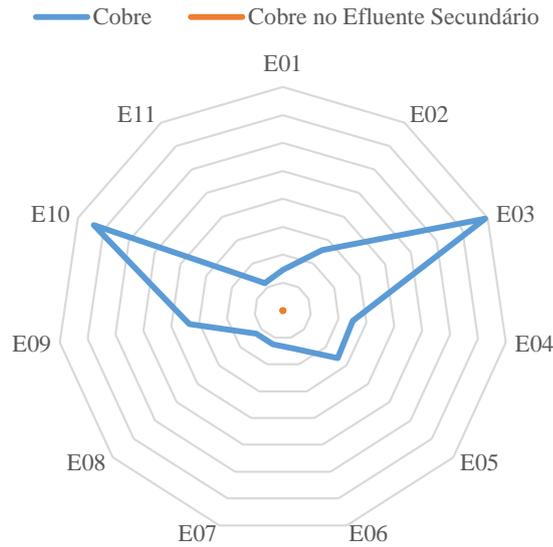
Item	Parâmetro	E01	E02	E03	E04	E05	E06	E07	E08	E09	E10	E11
9	Cobre (mg/L)	7,31	12,92	39,52	12,52	12,92	7,02	6,23	6,23	16,8	36,9	5,86

Fonte: Produção própria do autor.

Em todos os experimentos o parâmetro cobre ficou acima do limite máximo permitido pelo CONAMA 430/2011 que é de 1 mg/L. O maior e menor valor foram, respectivamente, 39,52 e 5,86 mg/L. O maior valor da concentração de cobre foi no experimento E10 e E03, conforme ilustrado no gráfico da Figura 31.

As altas concentrações de cobre são explicadas pela faixa de corrente aplicada. A fonte de corrente continua utilizada neste trabalho tem como menor e maior valor de corrente 0,01 e 3,0 ampères. Considerando o volume utilizado em cada experimento de aproximadamente 1,0 litro e o tempo de ionização de 20 minutos, obteve-se uma liberação de grande massa de cobre.

Figura 31. Resultados para o Cobre.



Fonte: Produção própria do autor.

5.3.9 PRATA

Tabela 19. Resultados para prata.

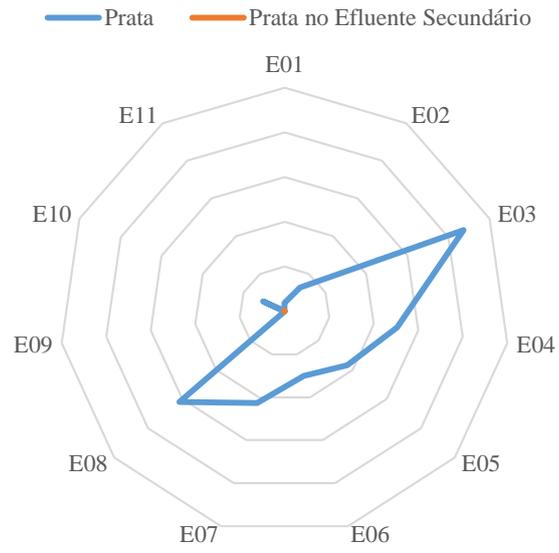
Item	Parâmetro	E01	E02	E03	E04	E05	E06	E07	E08	E09	E10	E11
10	Prata (mg/L)	0,37	1,28	8,75	5,04	3,69	3,01	4,28	6,18	<0,01	1,05	<0,01

Fonte: Produção própria do autor.

Nos experimentos E01 a E08 e no E10 o parâmetro prata ficou acima do limite máximo permitido pelo CONAMA 430/2011 que é de 0,1 mg/L. Nos experimentos E09 e E11 os valores ficaram abaixo do limite máximo permitido, conforme ilustrado no gráfico da Figura 32. O maior e menor valor foram, respectivamente, 8,75 e <0,01 mg/L.

As altas concentrações de prata são explicadas da mesma forma que para o cobre.

Figura 32. Resultados para a Prata.



Fonte: Produção própria do autor.

6 CONCLUSÕES

Para o parâmetro coliformes totais:

- A capacidade de desinfecção se mostrou satisfatória, tendo em vista que os experimentos E01, E02 e E03 apresentaram diminuição e nos demais experimentos obteve-se 100% de eliminação destes microrganismos.

Para o parâmetro *Escherichia coli*:

- A capacidade de desinfecção se mostrou bastante satisfatória, tendo em vista que em 100% experimentos obteve-se 100% de eliminação deste microrganismo.

Para os parâmetros cobre e prata:

- As concentrações de ambos os metais, na maioria dos experimentos, apresentarem-se acima do valor máximo permitido pelo CONAMA 430/2011.
- A fonte de corrente contínua utilizada possui faixa de ajuste de 0,01 A até 3 A e apesar dos baixos valores utilizados a liberação da massa de metal foi elevada e resultou nas altas concentrações dos metais.
- Conclui-se que a escala ideal de corrente para aplicar neste trabalho seria a de miliamperes, porém, não foi encontrado um modelo comercial disponível.

Para os parâmetros físico-químicos:

- O processo de ionização de cobre e prata não apresentou interferência significativa nos parâmetros: temperatura, alcalinidade, condutividade, DQO.
- O processo de ionização de cobre e prata apresentou interferência significativa no pH fazendo seu valor aumentar.
- No parâmetro turbidez foi observado um aumento de valor na maioria das amostras, acredita-se que a grande concentração de metais na solução ocasionou este acréscimo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AISSE, M.M.; BASTOS, R.K.X.; FLORENCIO, L. **Tratamento e utilização de esgotos sanitários**. Rio de Janeiro: ABES, 2006. 427 p.

ALBANO, Paulo Vitor. **Utilização do ácido tricloroisocianúrico (ATCI) na desinfecção de efluente sanitário de lagoa facultativa**: Avaliação da formação de Trihalometanos (TAMs). 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas. Disponível em: <http://taurus.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/258391/1/Albano_PauloVitor_M.pdf>. Acesso em 04 mar. 2019.

ALBRIGHT, C.F.; LECHTMAN, M.D.; NACHUM, R. **Development of an electrolytic silver-ion generator for water sterilization in Apollo spacecraft water systems. Apollo applications program final report**. NASA. 1967. Disponível em: <<https://ntrs.nasa.gov/search.jsp?R=19690005162>>. Acesso em: 21 set. 2018.

ARMOSTRONG, A.M.; SOBSEY, M.D.; CASANOVA, L.M. **Disinfection of *Escherichia coli* and *Pseudomonas aeruginosa* by copper in water**. Journal of Water and Health, v. 14-3, p. 424-432, 2016. Disponível em: <<http://iwaponline.com/jwh/article-pdf/14/3/424/394140/jwh0140424.pdf>>. Acesso em: 22 jun. 2020.

ASOCIACIÓN NACIONAL DE EMPRESAS DE CONTROL DE PLAGAS. **Utilización de sistemas alternativos al uso de biocidas para el control de Legionelosis**. Madrid: [200-?]. Disponível em: <https://higieneambiental.com/sites/default/files/images/pdf/ESTUDIO_LEGIONELLA_ANECPLA.pdf>. Acesso em: 25 dez. 2018.

ASSIRATI, Doralice Meloni. **Desinfecção de efluentes de ETE com ozônio para uso agrícola**. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Campinas. Disponível em: <http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/258245/1/Assirati_DoraliceMeloni_M.pdf>. Acesso em: 02 mar. 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12209: Elaboração de projetos hidráulico-sanitários de estações de tratamento de esgoto sanitários**. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.

BERGER, T.J. *et al.* **Electrically Generated Silver Ions: Quantitative Effects on Bacterial and Mammalian Cells**. American Society for Microbiology, v. 9, n. 2, p. 357-358, 1976. Disponível em: <<https://pdfs.semanticscholar.org/db75312a47b2fa319d464ba1f082a14d5db69c1.pdf>>. Acesso em: 01 jan. 2019.

BILOTTA, Patricia. **Inativação de indicadores patogênicos em sistemas combinados de tratamento e pré-desinfecção de esgoto sanitário**. 2006. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) - Universidade de São Paulo, São Carlos. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde-07062006-162555/pt-br.php>>. Acesso em: 21 fev. 2019.

BITTENCOURT, C.; DE PAULA, M.A.S. **Tratamento de água e efluentes**: fundamentos de saneamento ambiental e gestão de recursos hídricos. 1. ed. São Paulo: Érica, 2014. 184 p.

- BITTON, G. **Wasterwater microbiology**. 3. Ed. New York: John Wiley&Sons, 1994. 765 p.
- BRASIL. Agência Nacional de Águas. **Atlas esgotos: despoluição de bacias hidrográficas / Agência Nacional de Águas, Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental**. -- Brasília: ANA, 2017. 88 p. il.
- BRASIL. Agência Nacional de Águas. **Atlas esgotos: atualização da base de dados de estações de tratamento de esgotos no Brasil / Agência Nacional de Águas**. - Brasília: ANA, 2020. 44 p.: il. Disponível em: <https://www.saneamentobasico.com.br/wp-content/uploads/2020/09/encarteatlasesgotos_etes.pdf>. Acesso em: 15 set. 2020.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. **Inspeção sanitária em abastecimento de água / Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância em Saúde**. – Brasília: Ministério da Saúde, 2006. Disponível em: <<http://www.saude.gov.br/images/pdf/2014/maio/30/Manual-de-inspecao-sanitaria-abastecimento-de-agua.pdf>>. Acesso em: 27 jun. 2020.
- BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento – SNS. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: 24º Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2018**. Brasília: SNS/MDR, 2019. 180 p.: il. Disponível em: <http://www.snis.gov.br/downloads/diagnosticos/ae/2018/Diagnostico_AE2018.pdf>. Acesso em: 16 jun. 2020.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011**. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Brasília, 2011. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>>. Acesso em: 05 jul. 2020
- CAMARGO, Jefferson Greyco. **Aplicação do dióxido de cloro na desinfecção de efluentes domésticos tratados pelo Sistema de lodos ativados**. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. Disponível em: <<https://core.ac.uk/download/pdf/30368610.pdf>>. Acesso em: 24 dez. 2018.
- CEBALLOS, Beatriz Susana Ovruski de. **Técnicas de microbiologia sanitária e ambiental**. Campina Grande: EDUEFPB, 2017. 324p.: il. Disponível em: <<http://www.uepb.edu.br/download/ebooks/Tecnicas-de-Microbiologia.pdf>>. Acesso em: 05 jul. 2020.
- CELESTINO, Edjanilson Jurandi. **Uso de reatores anaeróbios e aeróbios híbridos em série para a remoção de matéria orgânica e nitrogênio**. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife. Disponível em: <<https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/28027/1/DISSERTA%20c3%87%20c3%83O%20Edjanilson%20Jurandi%20Celestino.pdf>>. Acesso em: 21 jun. 2019.
- CHERNICHARO, Carlos Augusto Lemos *et al.* **Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios por sistemas de desinfecção: Pós-tratamento de efluentes anaeróbios**. Belo Horizonte: PROSAB/FINEP, 2001.

CLARCK, M.A. *et al.* **Biology**. 2 ed. Houston: OPENSTAX, 2018. 1578 p. Disponível em: <https://d3bxy9euw4e147.cloudfront.net/oscms-prodcms/media/documents/Biology2e-OP_aHSFm3Y.pdf>. Acesso em 05 mar. 2019.

CLARO, E. T. *et al.* **Avaliação (em escala laboratorial) da aplicação do processo eletrolítico em efluente de lagoa de estabilização de esgoto urbano**. Quím. Nova, São Paulo, v. 33, n. 3, p.557-561, 2010. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422010000300012&lng=en&nrm=iso>. Acesso em 21 out. 2020.

CLEANWATER. **How the MineralPURE Ionization System Works**. 2017. Disponível em: <<https://www.clearwaterpoolsystems.com/works/>>. Acesso em: 14 mar. 2019.

COSTA, Juliana Berninger da. **Avaliação ecotoxicológica de efluente de tratamento secundário de esgoto sanitário após desinfecção com ácido paracético, cloro, ozônio e Radiação ultravioleta**. 2007. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) – Universidade de São Paulo, São Carlos. Disponível em: <www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18139/tde.../TeseJulianaBerningerDaCosta.pdf>. Acesso em 17 mar. 2019.

CRESPILHO, F.N.; REZENDE, M.O.O. **Eletrofoculação: princípios e aplicações**. São Carlos: RIMA Editora, 2004. 96 p.

DIAS, Virginia Dantas. **Radiação ultravioleta e ozônio aplicados como métodos alternativos de desinfecção de efluentes secundários de esgoto sanitário**. 2001. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) - Universidade de São Paulo, São Carlos. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde-26012017-104753/en.php>>. Acesso em 09 nov. 2018.

DÍAZ, C. B. *et al.* **“Synergy of electrochemical/O₃ process with aluminum electrodes in industrial wastewater treatment”**. Industrial & Engineering Chemistry Research, vol. 51, n. 27, pg. 9335- 9342, 2012. Disponível em: < <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US201800113625>>. Acesso em 14 jul. 2020.

EDOKPAYI, Joshua N. *et al.* **Metals disinfection of *E. coli* in Synthetic Ground Water**. Journal: TechConnect Briefs. v. 2, p. 257-260, 2017. Disponível em: <<https://briefs.techconnect.org/wp-content/volumes/TCB2017v2/pdf/999.pdf>>. Acesso em: 17 fev. 2019.

FENG, Q.L. *et al.* **A mechanistic study of the antibacterial effect of silver ions on *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus***. Journal of Biomedicals Research, v. 52, p. 662-668, 2000. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/247939816_A_mechanistic_study_of_the_antibacterial_effect_of_silver_ions_onEscherichia_coli_andStaphylococcus_aureus>. Acesso em: 13 mar. 2019.

FERREIRA, João Cairo. **Bactérias potencialmente resistentes a antibióticos, desinfetantes e Radiação ultravioleta, isoladas de esgoto hospitalar e esgoto sanitário**. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná,

Londrina. Disponível em: <<http://repositorio.utfpr.edu.br:8080/jspui/handle/1/1387>>. Acesso em: 02 mar. 2019.

FONSECA, Ariela Araújo. **Tratamento de esgotos por processo biológico aeróbio eletroquimicamente assistido**. 2017. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos)–Universidade de Brasília, Brasília. Disponível em: <http://ptarh.unb.br/wp-content/uploads/2017/07/Disserta%C3%A7%C3%A3o_Ariela_Fonseca.pdf>. Acesso em: 24 fev. 2019.

FORMENTINI, Diana Fátima. **Tratamento eletroquímico de esgotos sanitários**. 2012. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascável. Disponível em: <<http://tede.unioeste.br/bitstream/tede/822/1/Diana%20Formentini.pdf>>. Acesso em: 10 mar. 2019.

GAO, Q.; KELLER, A.A. **Redesigning Water Disinfection Using Recyclable Nanomaterials and Metal Ions: Evaluation with *Escherichia coli***. ACS EST Water, v. xxx, p. xxx-xxx, 2020. Disponível em: < <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acsestwater.0c00066?ref=pdf>>. Acesso em: 02 out. 2020.

GARCIA, Telmo Vieira. **Remoção de algas através de eletrofotação** – Tratamento eletrolítico seguido de filtração direta no tratamento de água de abastecimento. 2002. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/83184/184682.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 24 fev. 2019.

GILI, Itamar. **Tratamento de efluentes por eletrólise: Estudo de caso para efluentes têxteis**. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/136499/335981.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 11 mar. 2019.

GODOI, Mayara C. S. **Tratamento de lixiviado de aterro sanitário por meio do processo de eletrocoagulação e filtração**. 2019. 52 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Ambiental). Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Disponível em: <http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/12442/1/LD_COEAM_2019_1_12.pdf>. Acesso em 14 jul. 2020.

GONÇALVES, R. F. (Coord.). **Desinfecção de efluentes sanitários**. Rio de Janeiro: ABES, 2003. 435 p.

GREEN, E.C. *et al.* **Controlling Legionella pneumophila in water systems at reduced hot water temperatures with copper and silver ionization**. American Journal of Infection Control. Journal Elsevier, Water Research, v. 47, p. 761-766, 2019. Disponível em: <[https://www.ajicjournal.org/article/S0196-6553\(18\)31149-0/fulltext](https://www.ajicjournal.org/article/S0196-6553(18)31149-0/fulltext)>. Acesso em: 10 out. 2020.

HANDA, Rosângela Mitiyo. **Avaliação da cloração de efluentes e os impactos para a geração de compostos orgânicos halogenados**. 2012. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente Urbano e Industrial) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba. Disponível em:

<<https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/46497/R%20-%20D%20-%20ROSANGELA%20MITIYO%20HANDA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 20 dez. 2018.

HUANG, H.I. *et al.* **In vitro efficacy of copper and silver ions in eradicating *Pseudomonas aeruginosa*, *Stenotrophomonas maltophilia* and *Acinetobacter baumannii***: Implications for on-site disinfection for hospital infection control. *Journal Elsevier, Water Research*, v. 42, p. 73-80, 2008. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.watres.2007.07.003>>. Acesso em: 26 dez. 2018.

HUANG, H.I. *et al.* **Electrochemical disinfection of toilet wastewater using wastewater electrolysis cell**. *Journal Elsevier, Water Research*, v. 92, p. 164-172, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2016.01.040>>. Acesso em: 17 mar. 2019.

JORDÃO, Eduardo P.; PESSÔA, Constantino A. **Tratamento de Esgotos Domésticos**. 5. ed. Rio de Janeiro: ABES, 2009. 940 p.

IME. **A empresa**. 2017. Disponível em: <<https://imejunior.com.br/empresa/>>. Acesso em: 16 mar. 2019.

LIMA, Claudia Maria Russo de. **Aplicabilidade da eletrocoagulação, eletrocoagulação seguida de reativo de fenton e eletrofenton no tratamento de lixiviado de aterro sanitário**. 2010. Dissertação (Mestrado em Química Analítica e Ambiental) - Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória. Disponível em: <http://repositorio.ufes.br/jspui/bitstream/10/4655/1/tese_4458_CLAUDIA%20MARIA%20RUSSO%20DE%20LIMA.pdf>. Acesso em: 11 mar. 2019.

LOURENÇÃO, Juliana. **Avaliação da resistência de microrganismos patogênicos à desinfecção sequencial com ozônio-radiação ultravioleta e cloro-radiação ultravioleta**. 2009. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) – Universidade de São Paulo, São Carlos. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde-14072009-213918/en.php>>. Acesso em: 02 mar. 2019.

MACÊDO, Jorge. Antônio Barros de. **ÁGUAS & ÁGUAS**. 3. ed. Belo Horizonte: CRQ-MG, 2007. 1048 p.

MACÊDO, Jorge Antônio Barros de. **O estado da arte do sistema de ionização de Cu/Ag x desinfecção em águas de piscinas**. 2018. Disponível em: <https://docs.wixstatic.com/ugd/b3ec10_7dfab262a8c449f2a0c362f7e37a85b6.pdf>. Acesso em: 21 set. 2018.

MARTÍNEZ, S.S.; GALLEGOS, A.A.; MARTÍNEZ, E. **Electrolytically generated silver and copper ions to treat cooling water: an environmentally friendly novel alternative**. *Internacional Journal of Hydrogen Energy*, v. 29, n.9, p. 921-932, 2004. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/257173057>>. Acesso em: 30 set. 2018.

METCALF, L.; EDDY, H. P. **Tratamento de Efluentes e Recuperação de Recursos**. 5. ed. Porto Alegre: Mcgraw-hill, 2016. 2008 p.

MEYER, Sheila T. **O Uso do Cloro na Desinfecção de Águas, a Formação de Trihalometanos e os Riscos Potenciais à Saúde Pública**. *Cad. Saúde Públ.* v. 10, n. 1, p. 99-

110, 1994. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0102-311X1994000100011&script=sci_abstract&tlng=pt>. Acesso em: 16 out. 2018.

NASCIMENTO, Fernanda Maria Santos do. **Aplicação da técnica PCR para detecção de bactérias potencialmente patogênicas em uma sistema UASB-Lagoas de polimento para tratamento de esgoto doméstico**. 2008. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. Disponível em: <http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/BUDB-8AUQPY/aplica__o_da_tecnica_pcr.pdf?sequence=1>. Acesso em: 17 mar. 2019.

NAWAZ, M. et. al. **Silver disinfection od *Pseudomonas aeruginosa* and *E. coli* in rooftop harvested Rainwater for potable purposes**. Journal Elsevier, Science of the Total Environment, v. 431, p. 20-25, 2012. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.05.022>>. Acesso em: 17 mar. 2019.

OLIVEIRA, Edson Carlos Machado de. **Desinfecção de efluentes sanitários tratados através de radiação ultravioleta**. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/84539/197380.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 24 nov. 2019.

ORSI, Maria do Carmo Vara Lopes. **Aplicação do processo eletrolítico no tratamento de efluentes de uma indústria de recuperação de filmes plásticos pós-consumo**. 2014. 127 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Engenharia, 2014. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/98312>>. Acesso em: 24 fev. 2019.

PARR, J. M. P. **Utilizing silver and copper ions for bacterial disinfection and subsequent removal of ions to supply safe drinking water**. 2016. Dissertação (Master of Applied Science) – McMaster University, Hamilton, Ontario. Disponível em: <https://macsphere.mcmaster.ca/bitstream/11375/19897/2/Parr_Jeffrey_MP_finalsubmission201605_MASc.pdf>. Acesso em: 10 out. 2020.

PALHARES, Dayana D'arc de Fátima. **Produção de hidrogênio por eletrólise alcalina da água e energia solar**. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia. Disponível em: <<https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/21286/1/Produ%C3%A7%C3%A3oHidrog%C3%AAnioEletr%C3%B3lise.pdf>>. Acesso em: 21 set. 2019.

POPA, Maria Virginia. **Desinfección de agua por ionización**. 2015. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais)–Universidad Autónoma Del Estado de Hidalgo, Pachuca de Soto. Disponível em: <<http://dgsa.uaeh.edu.mx:8080/bibliotecadigital/bitstream/handle/231104/1934/TEISIS%20DOCTORADO2.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 25 set. 2019.

PŪLE, Daina. **Conventional and Alternative Disinfection Methods of Legionella in Water Distribution Systems: Review**. Construction Science, v. 19, n. 1, p. 21-26, 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.1515/cons-0007>>. Acesso em: 04 nov. 2018.

RODRIGUEZ, Nadia Silvestry. **Silver disinfection in water distribution systems**. 2008. Tese (Doutorado em Engenharia) – The University of Arizona, Department of Agriculture and Biosystems Engineering, Tucson. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/6132003_Silver_as_a_Disinfectant>. Acesso em: 16 fev. 2019.

RUELAS, E. E. S; GERBA, C. P; BRIGHT, K.R. **Efficacy of copper and silver as residual disinfectants in drinking water**. Journal of Environmental Science and Health, Part A, v. 54, p.146-155, 2019. Disponível em: <<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10934529.2018.1535160>>. Acesso em: 10 out. 2020.

SALLES, Carlos Afonso. **Desinfecção de efluente sanitário em fluxo contínuo**. 2008. Dissertação (Mestrado em Tecnologias Ambientais) – Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, Campo Grande. Disponível em: <<http://www.posgraduacao.ufms.br/portal/trabalho-arquivos/download/313>>. Acesso em: 11 dez. 2018.

SANCHES, Fabiane Russo. **Pós-tratamento de esgoto sanitário de reator anaeróbio de manta de lodo**: por processos de coagulação/floculação/sedimentação e por filtração biológica aeróbia. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária e Ambiental) - Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2019. Disponível em: <<https://tede2.uepg.br/jspui/bitstream/prefix/2973/1/Fabiane%20Russo%20Sanches.pdf>>. Acesso em 15 abr. 2020.

SANJIV, T. *et al.* **Strategies for Nitrate removal from aqueous environment using Nanotechnology: A Review**. Journal of Water Process Engineering, n. 21, p. 84-95, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2017.12.005>>. Acesso em: 11 set. 2018.

SEDZRO, M.D.; BANU, R.A.; AKRONG, M.O. **Evidence based review of Legionella elimination in building water systems**. International Journal of Water Resources and Environmental Engineering, v. 9, n. 1, p. 22-32, 2017. Disponível em: <https://academicjournals.org/ebook/journal1484127669_IJWREE%20%20January%202017%20Ebook.pdf>. Acesso em: 05 mar. 2019.

SILVA, Noely Bochi. **Avaliação do uso de diferentes agentes desinfetantes em esgoto sanitário tratado**. 2018. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas. Disponível em: <http://repositorio.unicamp.br/jspui/bitstream/REPOSIP/332890/1/Silva_NoelyBochi_D.pdf>. Acesso em: 14 dez. 2018.

SILVA, Silvia Sônia da. **Aplicação de radiação UV para desinfecção de efluente da associação de reator UASB e Biofiltro Aerado Submerso**. 2007. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) – Universidade de São Paulo, São Carlos. Disponível em: <http://repositorio.unicamp.br/jspui/bitstream/REPOSIP/332890/1/Silva_NoelyBochi_D.pdf>. Acesso em: 12 dez. 2018.

SPIPKI, F. R. **Crise hídrica, saúde e parâmetro de qualidade microbiológica da água no Brasil**. Revista USP, n. 106, p. 71-78, 2015. Disponível em: <<http://www.revistas.usp.br/revusp/article/view/109119/107624>>. Acesso em 01 jul. 2020.

SOARES, Leonardo Vieira. **Ozonização de esgoto sanitário: estudo da hidrodinâmica, transferência de massa e inativação de microorganismos indicadores**. 2007. Tese (Doutorado em Hidráulico e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde-19112007-101315/en.php>. Acesso em: 28 fev. 2019.

SOLANO, Aline Maria Sales. **Aplicação da tecnologia eletroquímica como alternativa para a remoção de corantes têxteis em efluentes sintéticos e reias utilizando anos de platina e diamante**. 2011. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade federal do Rio Grande do Norte. Disponível em: http://www.repositorio.ufrn.br:8080/jspui/bitstream/123456789/17646/1/AlineMSS_DISSERT.pdf. Acesso em: 11 mar. 2019.

SOLIS, Rosa. *et al.* **Efficacy of copper-silver ionization for the disinfection of drinking water in Tumbes, Peru**. Journal of Physics: Conference Series, 1433, 012011, 2020. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/338567530_Efficacy_of_copper-silver_ionization_for_the_disinfection_of_drinking_water_in_Tumbes_Peru/stats >. Acesso em: 01 out. 2020.

SOTO, Raquel Gloria. **Métodos de desinfección para la potabilización del agua**. 2009. Monografia (Licenciatura em Química) – Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ciencias, Escuela Profesional de Química, Lima. Disponível em: <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/4198>>. Acesso em: 26 dez. 2018.

SPERLING, M.; CHERNICHARO, C. A. L. **A comparison between wastewater treatment processes in terms of compliance with effluent quality standards**. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL 27. 2000. Porto Alegre. Anais..., Rio de Janeiro: ABES, 2000. Disponível em: <>. Acesso em: 05 jul. 2020.

SULEIMAN, M.; MOUSA, M.; HISSEIN, A.I.A. **Wastewater Disinfection by Synthesized Copper Oxide Nanoparticles Stabilized with Surfactant**. Journal of Materials and Environmental Science, v. 6, n. 7, p. 1924-1937, 2015. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/279804517_Wastewater_Disinfection_by_Synthesized_Copper_Oxide_Nanoparticles_Stabilized_with_Surfactant>. Acesso em: 04 nov. 2018.

TELLES, D'Alkimin. D.; COSTA, R.H.P.G. **Reúso da água** – Conceitos, teorias e práticas. 1.ed. São Paulo: Editora Blucher, 2007. 328 p.

THEODORO, Paul Sérgio. **Utilização da eletrocoagulação no tratamento de efluente da indústria galvânica**. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo. Disponível em: <http://tede.unioeste.br/handle/tede/1891>>. Acesso em: 24 fev. 2019.

THURMAN, R.B.; GERBA, C.P.; BITTON, G. **The molecular mechanisms of copper and silver ion disinfection of bacteria and viruses**. Critical Reviews in Environmental Control, v. 18, n. 4, p. 295 - 315, 1989. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1080/10643388909388351>>. Acesso em: 26 dez. 2018.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Technologies for Legionella control in premise plumbing systems: scientific literature review**. Office of Water, EPA 810-R-16-001, 2016. Disponível em: <https://www.epa.gov/sites/production/files/2016->

09/documents/legionella_document_master_september_2016_final.pdf>. Acesso em: 26 dez. 2018.

VAZQUEZ, C.M. *et al.* **Tratamiento biológico de aguas residuales: principios, modelación y diseño.** 1. Ed. Londres: IWA Publishing, 2017. 593 p. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/321145597>. Acesso em 15 dez. 2018.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** 3. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2005. 452 p.

WALRAVEN, N.; POOL, W.; CHAPAN, C. **The dosing accuracy of copper and silver ionisation systems: separe-te high purty copper and silver electrodes versus copper/silver allys.** Journal of Water Process Engineering, v. 8, p. 119-125. 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jwpe.2015.09.008>>. Acesso em: 04 nov. 2018.

WALRAVEN, N.; POOL, W.; CHAPAN, C. **Efficacy of copper-silver ionization in controlling Legionella in complex water distribution systems and a cooling tower: Over 5 years of practical experience.** Journal of Water Process Engineering, v. 13, p. 196-205. 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2016.09.005>>. Acesso em: 10 out. 2020.

WENIS, Vilson. **Ionizador de Cobre e Prata.** [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por alisson@salutar.eco.br em 20 fev. 2019.

WIENDL, Wolfgang Guilherme. **Processos eletrolíticos no tratamento de esgotos sanitários.** Rio de Janeiro: ABES, 1998. 368p.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Alternative drinking-water disinfectants: bromine, iodine and silver.** World Health Organization, 193p, 2018. Disponível em: <<http://apps.who.int/iris/handle/10665/260545>>. Acesso em: 26 dez. 2018.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Evaluating household water treatment options: health-based targets and microbiological performance specifications.** World Health Organization, 68p, 2011. Disponível em: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/44693/9789241548229_eng.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em 05 jul. 2020.

YAHYA, M.T. *et al.* **Disinfection of bacteria in water systems by using electrolytically generated copper:silver and reduced levels of free chlorine.** Canadian Journal of Microbiology, v. 36, n. 2, p. 109 - 116. 1989. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/20817920>>. Acesso em 01 jan. 2019.