



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Francisco Beltrão
Curso de Engenharia Ambiental



JAQUELINE KLEM BOHRER

**USO DE PROCESSOS OXIDATIVOS AVANÇADOS
NO TRATAMENTO DOS RESÍDUOS LÍQUIDOS ORIUNDOS DA ESTAÇÃO
DE TRATAMENTO DE ESGOTO DO MUNICÍPIO DE MARMELEIRO – PR**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

FRANCISCO BELTRÃO

2018

JAQUELINE KLEM BOHRER

**USO DE PROCESSOS OXIDATIVOS AVANÇADOS NO TRATAMENTO DOS
RESÍDUOS LÍQUIDOS ORIUNDOS DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE
ESGOTO DO MUNICÍPIO DE MARMELEIRO – PR**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como requisito parcial para a
conclusão do Curso de Bacharelado em
Engenharia Ambiental da UTFPR, Campus
Francisco Beltrão.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Ticiane Sauer
Pokrywiecki.

FRANCISCO BELTRÃO

2018



Trabalho de Conclusão de Curso – TCC2

Uso de processos oxidativos avançados no tratamento dos resíduos líquidos oriundos da Estação de Tratamento de Esgoto do município de Marmeleiro – PR

por

Jaqueline Klem Bohrer

Trabalho de Conclusão de Curso 2 apresentado às 16 horas, do dia 03 de dezembro de 2018, como requisito para aprovação da disciplina Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Francisco Beltrão. O candidato foi arguido pela Banca Avaliadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Avaliadora considerou o trabalho aprovado.

Banca Avaliadora:

Prof.^a Dr.^a Ticiane Sauer Pokrywiecki
(Presidente da Banca)

Prof.^a Dr.^a Elisângela Düsman
(Membro da Banca)

Prof.^a Dr.^a Cláudia Eugênia Castro Bravo
(Membro da Banca)

Prof.^a Dr.^a Denise Andréia Szymczak
(Professora responsável pelo TCC e Coordenadora do Curso de Engenharia Ambiental)

"O Termo de Aprovação encontra-se assinado na coordenação do curso"

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pela dádiva da vida e por ter me dado forças para enfrentar todas as adversidades encontradas

À minha família pelo carinho e incentivo, em especial meus pais, Helena e Joranil que acreditaram, apoiaram e forneceram condições para que eu concluísse essa etapa da minha vida, sem vocês eu não chegaria a lugar algum. Amo vocês.

Ao meu companheiro, amor e melhor amigo, Telmo Teles, por seu apoio e estímulo diário, estando ao meu lado para minimizar minhas deficiências físicas e emocionais na conclusão deste. Você é meu porto seguro, obrigada por estar presente em todas as horas, te amo.

Agradeço a minha orientadora Prof.^a Dr.^a Ticiane por ter me acompanhado durante este percurso, do começo ao fim, orientando, auxiliando e tirando minhas dúvidas. Principalmente por ser esse exemplo de profissional e pessoa. Agradeço aos Professores Dr. Juan e Dr.^a Ana Paula, por fazerem parte da banca de defesa do TCC 1 e, por todas as contribuições que sem dúvidas somaram muito na realização deste trabalho e em meu crescimento profissional.

À Prof.^a Dr.^a Elisângela Düsman por sua essencial ajuda na realização das análises toxicológicas, por toda sua paciência e por aceitar fazer parte da banca de defesa do TCC 2.

À Prof.^a Dr.^a Cláudia Eugênia Castro Bravo por aceitar fazer parte da banca de defesa do TCC 2 e, por sempre estar disposta a ajudar quando necessário.

À SANEPAR pelo fornecimento dos insumos e por sempre se mostrarem receptivos.

Agradeço a todos os professores do curso de Engenharia Ambiental da UTFPR/FB, pela participação em minha formação tanto profissional quanto pessoal a qual deve contribuir com a sociedade.

Ao governo federal pela oportunidade de estudar em uma instituição de referência mundial.

A todos que direta ou indiretamente, contribuíram na realização deste trabalho, deixo aqui meus eternos agradecimentos. Muito obrigada!

*“Nas grandes batalhas da vida,
o primeiro passo para a vitória
é o desejo de vencer.”*

Mahatma Gandhi

RESUMO

BOHRER, Jaqueline K. **Uso de processos oxidativos avançados no tratamento dos resíduos líquidos oriundos da Estação de Tratamento de Esgoto do município de Marmeleiro – PR.** 2018. 80p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Francisco Beltrão, 2018.

O aumento progressivo na urbanização vem implicando na geração de grande volume de águas residuais que não podem ser reaproveitadas e que quando dispostas de forma inadequada, acabam por poluir o meio ambiente gerando desequilíbrios ecológicos. Os tratamentos convencionais empregados no esgoto sanitário concentram e removem a matéria orgânica e outros poluentes, constituindo assim o lodo de esgoto. Por outro lado, os tratamentos alternativos como os Processos Oxidativos Avançados (POAs) podem promover a degradação total ou parcial desses poluentes. O presente trabalho teve como objetivo analisar a eficiência de três diferentes POAs, a fotocatalise heterogênea (TiO_2/UV), a fotólise do peróxido de hidrogênio ($\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$) e a fotólise direta (UV), no tratamento dos resíduos líquidos da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) do município de Marmeleiro – PR. Coletou-se amostras do efluente bruto da ETE após passar pelo processo de gradeamento (EB), bem como amostras do efluente tratado pelo processo convencional da ETE (ET). Para realização das reações fotocatalíticas utilizou-se um reator em batelada com um tempo de retenção de 2 horas e, como fonte de radiação ultravioleta uma lâmpada de vapor de mercúrio. Os parâmetros analisado antes e após cada tratamento foram temperatura, pH, turbidez, cor, oxigênio dissolvido, demanda química de oxigênio, demanda bioquímica de oxigênio, nitrogênio total, fósforo total e coliformes termotolerantes. Analisou-se a eficiência dos processos a partir da remoção de DQO e DBO_5 , assim como avaliou-se a biodegradabilidade das amostras pela relação de DQO/DBO_5 . Com intuito de verificar a toxicidade das amostras utilizou-se como bioindicadores a *Artemia salina* L. e a *Allium cepa* L. De posse dos resultados pode-se observar que os POAs testados, apresentaram boa redução nos parâmetros físico-químicos tanto para o EB quanto para o ET, exceto para a amostra $\text{ET}/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$. A maior eficiência na remoção de DQO foi para a amostra $\text{EB}/\text{TiO}_2/\text{UV}$, chegando a cerca de 58%, o que diz respeito à remoção de DBO_5 , encontrou-se uma maior eficiência (74%) no tratamento empregando $\text{EB}/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$, sendo que essa amostra foi a única que diminui a biodegradabilidade do efluente (relação DQO/DBO_5). Os testes ecotoxicológicos confirmaram toxicidade dos efluentes bruto (*A. cepa* e *A. salina*) e tratado (*A. salina*), sendo que os POAs avaliados reduziram essa toxicidade (*A. cepa* e *A. salina*) e não criaram subprodutos letais quando comparados às amostras iniciais. Além disso, os processos fotocatalíticos se mostraram eficientes no tratamento dos resíduos líquidos da ETE, atendendo as legislações pertinentes. Entretanto, os processos envolvendo a fotocatalise heterogênea com o TiO_2 como catalisador foram os mais satisfatórios, demonstrando que esse pode tanto ser usado como um tratamento alternativo para o esgoto sanitário como um tratamento complementar aos processos convencionas empregados atualmente.

Palavras-chave: Resíduos líquidos. Saúde pública. Tratamentos alternativos.

ABSTRACT

BOHRER, Jaqueline K. **The use of oxidative processes advanced in the treatment of the liquid waste from the Sewage Treatment Station of the municipality of Marmeleiro – PR.** 2018. 80p. Work of Conclusion of Course (Graduation in Environmental Engineering) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Francisco Beltrão, 2018.

The conventional treatments employed in the sewage concentrate and remove organic matter and other pollutants, thus constituting the sewage sludge. On the other hand, alternative treatments such as the Oxidative Processes Advanced (POAs) can promote the degradation, total or partial of these pollutants. The present work had as objective to analyze the efficiency of three different POAs, the photocatalysis heterogeneous (TiO_2/UV), photolysis of hydrogen peroxide ($\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$) photolysis the direct (UV), in the treatment of the liquid waste from Sewage Treatment Station (ETE) of the city of Marmeleiro – PR. Collected samples of effluent gross ETE after going through the process of railing (EB), as well as samples of the effluent treated by the conventional process of the ETE (ET). For the realization of photocatalytic reactions was used a reactor in sequencing batch reactors with a retention time of 2 hours and, as a source of ultraviolet radiation a mercury vapor lamp. The parameters analyzed before and after each treatment were temperature, pH, turbidity, color, dissolved oxygen, chemical oxygen demand, biochemical oxygen demand, total nitrogen, total phosphorus and coliform organisms. We assessed the efficiency of the processes from the removal of COD and OBD_5 , as well as assessed the biodegradability of the samples by the ratio of COD/ OBD_5 . In order to verify the toxicity of the samples were used as bioindicators to *Artemia salina* L. and *Allium cepa* L. Possession of the results one can observe that the POAs tested, showed good reduction in the physico-chemical parameters for both the EB and the ET, except for the sample ET/ $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$. The highest efficiency in removal of COD was for the sample EB/ TiO_2/UV , rising to around 58%, which relates to the removal of OBD_5 , we found a higher efficiency (74%) in the treatment employing EB/ $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$, being that this sample was the only one that decreases the biodegradability of the effluent (ratio COD/ OBD_5). The ecotoxicological testing have confirmed the toxicity of the effluent, gross (*A. cepa* and *A. salina*) and the treaty (*A. salina*), and the POAs evaluated reduced this toxicity (*A. cepa* and *A. salina*), and do not create byproducts lethal when compared to the original samples. In addition, the processes fotocatalíticos if showed efficient in the treatment of liquid wastes of a sewage TREATMENT plant, complying with the relevant laws. However, the processes involving the photocatalysis heterogeneous with TiO_2 as catalyst were the most satisfactory, demonstrating that this can either be used as an alternative treatment to the sanitary sewer as a complementary treatment to the processes convencionas employees currently.

Keywords: Liquid waste. Public health. Alternative Treatments.

LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

APHA – American Public Health Agency

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

cm – centímetros

CO₂ – Dióxido de Carbono

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

DBO₅ – Demanda Bioquímica de Oxigênio

DQO – Demanda Química de Oxigênio

ETE – Estação de Tratamento de Esgoto

FUNASA – Fundação Nacional de Saúde

g/L – gramas por litro

H₂O - Água

H₂O₂ – Peroxido de Hidrogênio

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

Km – Quilometro

mg/L – miligramas por litro

NBR – Norma Brasileira Regulamentadora

nm – nanômetro

NMP – Número Mais Provável

NTU – Unidade Nefelométrica de Turbidez

O₃ – Ozônio

OD – Oxigênio Dissolvido

pH – Potencial Hidrogeniônico

POAs – Processos Oxidativos Avançados

ppb – partes por bilhão

SABESP – Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo

SEMA – Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos

TiO₂ – Dióxido de Titânio

UV – Luz Ultra Violeta

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Representação esquemática da geração do par elétron/vacância na superfície do semicondutor (A é a espécie aceptora e D a espécie doadora de elétrons).	28
Figura 2 – Mapa de localização do município de Marmeleiro no estado do Paraná.....	33
Figura 3 – Localização da ETE do município de Marmeleiro/PR.	34
Figura 4 – Identificação dos pontos de coletas na ETE.	34
Figura 5 – Esquema do sistema de tratamento fotocatalítico.....	36
Figura 6 – Sistema de tratamento fotocatalítico	36
Figura 7 – Amostras inicial e finais para o efluente bruto (EB).....	43
Figura 8 – Amostras inicial e finais para o efluente tratado pela ETE (ET)	43
Figura 9 – Análise de Fósforo Total para as amostras ET.	47
Figura 10 – Percentuais dos do Índices Mitóticos médios e desvios-padrões para os grupos controle negativo (CO-) e positivo (CO+) e tratados com o efluente bruto (EB) e tratado (ET) da ETE e tratados com a fotocatalise heterogênea (TiO ₂ /UV) com o bioindicador <i>Allium cepa</i> L.	55
Figura 11 – Alterações cromossômicas observadas em <i>Allium cepa</i> L. após diferentes tratamentos.....	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Relação DQO/DBO ₅ indicando as possíveis interpretações	19
Tabela 2 – Sistemas típicos dos POAs.	25
Tabela 3 – Resultados das caracterizações físico-químicas.	40
Tabela 4 – Resultados das análises de Coliformes Termotolerantes para o efluente bruto (EB) e os tratamentos testados com os POAs.	48
Tabela 5 – Resultados das análises de Coliformes Termotolerantes para o efluente tratado pela ETE (ET) e os tratamentos testados com os POAs.	48
Tabela 6 – Eficiência e biodegradabilidade para os tratamentos avaliados com o efluente bruto (EB).	50
Tabela 7 – Eficiência e Biodegradabilidade para os tratamentos realizados com o efluente tratado (ET).	51
Tabela 8 – Número individual e médio de organismos mortos e percentual de mortalidade (%) para o efluente bruto (EB) e os tratamento com UV, H ₂ O ₂ /UV e TiO ₂ /UV.	52
Tabela 9 – Número individual e médio de organismos mortos e percentual de mortalidade (%) para o efluente tratado pela ETE (ET) e os tratamento com UV, H ₂ O ₂ /UV e TiO ₂ /UV.	53
Tabela 10 – Tipos e números totais de alterações e índice de mutagenicidade (%) obtidas para o grupo controle negativo, controle positivo e os grupos tratados com o efluente bruto (EB) e tratado (ET) pela ETE bem como para as reações envolvendo a fotocatalise heterogênea (TiO ₂ /UV).	57

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
2. OBJETIVOS	14
2.1. OBJETIVO GERAL	14
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
3. REVISÃO DE LITERATURA	15
3.1. RECURSOS HÍDRICOS	15
3.2. ÁGUAS DE ABASTECIMENTO	15
3.3. SAÚDE PÚBLICA.....	16
3.5. PROCESSOS CONVENCIONAIS DE TRATAMENTO DE ESGOTO .	19
3.5.1. Estação De Tratamento de Esgoto (ETE)	20
3.6. PROCESSOS ALTERNATIVOS DE TRATAMENTO DE ESGOTO....	22
3.7. PROCESSOS OXIDATIVOS AVANÇADOS (POAs)	24
3.7.1. Fotólise direta (UV).....	26
3.7.2. Fotólise com peróxido de hidrogênio (sistema H ₂ O ₂ /UV)	27
3.7.3. Fotocatálise heterogênea (sistema TiO ₂ /UV).....	27
3.8. AVALIAÇÃO DA TOXICIDADE ATRAVÉS DE BIOINDICADORES....	29
4. MATERIAIS E MÉTODOS	32
4.1. ÁREA DE ESTUDO.....	32
4.1.1. Bacia Hidrográfica do Rio Marmeleiro	33
4.2. COLETA DAS AMOSTRAS	34
4.3. CARACTERIZAÇÃO DOS EFLUENTES	35
4.4. SISTEMAS DE TRATAMENTO	35
4.5. AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DOS PROCESSOS.....	37
4.6. AVALIAÇÃO DA TOXICIDADE	37
4.6.1. Bioensaio com <i>Artemia salina</i> L.....	37
4.6.2. Bioensaio com <i>Allium cepa</i> L. (cebola).....	38
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	40
5.1. CARACTERIZAÇÕES FÍSICO-QUÍMICAS	40
5.2. COLIFORMES TERMOTOLERANTES.....	47
5.3. AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DOS PROCESSOS.....	49
5.4. AVALIAÇÃO DA TOXICIDADE	51
5.4.1. Bioensaio com <i>Artemia salina</i> L.....	51
5.4.2. Bioensaio com <i>Allium cepa</i> L. (cebola).....	53
6. CONCLUSÃO	59
7. REFERÊNCIAS	61

1. INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural finito, fundamental e essencial para a sobrevivência de todos os organismos vivos, sendo intensamente utilizada pelo homem, seja para o abastecimento público, irrigação, dessedentação de animais, conservação da fauna e flora, uso industrial, recreação, geração de energia, transportes, diluição e depuração de despejos (LEME, 2014).

O desenvolvimento social e econômico de qualquer país está fundamentado na disponibilidade de água de boa qualidade e na capacidade de conservação e proteção dos mananciais (SILVA, 2007).

Os esgotos domésticos são constituídos de aproximadamente 99,9% de água, a fração restante inclui sólidos orgânicos e inorgânicos, suspensos e dissolvidos, bem como microrganismos. Assim, é devido a essa fração de 0,1% que há necessidade de se tratar os esgotos. Sua característica é determinada em função dos usos à qual a água foi submetida. O uso e a forma com que são exercidos variam com o clima, situação social e econômica e também os próprios hábitos da população. Os parâmetros físicos, químicos e biológicos definem a qualidade desses resíduos líquidos (VON SPERLING, 2005).

A busca de uma maior eficiência na gestão dos recursos hídricos está se tornando a cada dia mais necessária devido aos níveis de poluição dos corpos d'água e a sua escassez. A deficiência no tratamento dos efluentes das Estações de Tratamento de Esgotos (ETEs) e principalmente a sua inexistência tem como consequência o comprometimento da qualidade dos mananciais (MEDEIROS, 2017).

Freire et al. (2000) relatam que os processos físico-químicos vêm apresentando uma enorme aplicabilidade em sistemas de tratamentos. Porém, apesar de amplamente utilizados, são bastante discutíveis, devido ao fato de os mesmos causarem uma simples mudança de fase dos compostos sem eliminá-los.

Desta maneira, observa-se uma grande necessidade no desenvolvimento de procedimentos que apresentem maior eficiência no tratamento desses resíduos. Dentre as novas tecnologias, os processos oxidativos avançados (POAs) estão ganhando bastante destaque. Esses

processos se baseiam na utilização de espécies altamente oxidantes para promover a degradação total ou parcial do poluente (BRITO; SILVA, 2012).

Neste contexto insere-se a importância do presente estudo, onde objetivou-se a avaliação da eficiência dos POAs no tratamento dos resíduos líquidos da ETE do município de Marmeleiro – PR, com intuito de além de atender as legislações pertinentes, conseguir devolver para o corpo receptor um efluente de melhor qualidade.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Avaliar a aplicabilidade dos Processos Oxidativos Avançados (POAs) no tratamento dos resíduos líquidos da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) lançados no Rio Marmeleiro – PR.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar em termos físico-químicos e microbiológicos os efluentes bruto e tratado pela ETE, antes e após cada POAs;
- Propor um tratamento aos efluentes bruto e tratado utilizando os POAs (TiO_2/UV , $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$, UV);
- Avaliar a eficiência dos processos na remoção de DBO_5 e DQO, e analisar a biodegradabilidade através da relação de DQO/ DBO_5 ;
- Analisar e comparar a toxicidade dos efluentes bruto e tratado utilizando como bioindicadores *Artemia salina* L. e *Allium cepa* L..

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. RECURSOS HÍDRICOS

A água é classificada como recurso natural essencial para a sobrevivência dos seres vivos da Terra. É um recurso que está envolvido em todos os aspectos da civilização, desde o desenvolvimento agrícola e industrial até os valores culturais da sociedade (SILVA, 2008), o que a torna um produto finito, vulnerável e passível de uma crise em um futuro próximo (SILVA, 2007; ALVES, 2010).

Do total da água disponível no planeta, 97% está contida nos mares e os outros 3% corresponde às águas doces, sendo que 2,7% são formadas por geleiras, vapor de água e lençóis existentes em profundidades as quais seu aproveitamento para consumo humano se torna economicamente inviável. Restando apenas 0,3% do volume total de água do planeta que pode ser aproveitado para consumo, sendo 0,01% encontrada em fontes superficiais (rios, lagos) e 0,29% em fontes subterrâneas (poços e nascentes) (FUNASA, 2014).

De acordo com Tundisi (2008) o Brasil detém 14% da água do planeta, entretanto possui uma distribuição desigual de volume e disponibilidade deste bem, enquanto um habitante do Amazonas tem 700.000 m³ de água disponíveis por ano, um habitante da Região Metropolitana de São Paulo tem 280 m³ por ano disponíveis. Essa disparidade traz muitos problemas sociais e econômicos, especialmente quando se leva em consideração a crescente deterioração dos mananciais de abastecimento em função das descargas pontuais e/ou difusas de efluentes.

3.2. ÁGUAS DE ABASTECIMENTO

De acordo com Von Sperling (2005) a qualidade da água é resultante de fenômenos naturais, do uso e da ocupação do solo da bacia hidrográfica por atividades humanas, neste último caso por interferência antrópica, quer de forma concentrada, como na geração de despejos domésticos ou industriais, ou de forma dispersa, como na aplicação de defensivos agrícolas no solo.

A poluição das águas pode ser definida como a adição de substâncias ou de formas de energia que direta ou indiretamente, alterem a natureza do corpo d'água de uma maneira tal que prejudique os seus usos preponderantes. Existem duas formas em que um poluente pode atingir um corpo d'água, a pontual aonde os poluentes chegam ao corpo d'água de forma concentrada no espaço e a difusa, na qual os poluentes atingem o corpo hídrico de forma distribuída na sua extensão (VON SPERLING, 2005).

Assim, se faz imprescindível um tratamento eficiente desses resíduos líquidos antes de serem lançados no corpo d'água receptor, uma vez que este proporciona o abastecimento de água potável para uma cidade.

3.3. SAÚDE PÚBLICA

Água potável, ou seja, água com qualidade adequada e em quantidade suficiente constitui um dos elementos essenciais à vida, além de ser um fator diretamente ligado à promoção da saúde da população e à redução de incidência de doenças vinculadas a ela. Para ser considerada potável a água deve atender os padrões de potabilidade estabelecidos pela Portaria nº 2.914 de 2011 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2011).

Segundo Pires (2006) muitas cidades brasileiras ainda não possuem rede de coleta e sistemas de tratamento de esgoto, sendo que muitas vezes, o esgoto é lançado diretamente em corpos hídricos, resultando em situações de extrema poluição.

De acordo com o Instituto Trata Brasil (2018), cerca de 52% da população brasileira tem acesso à coleta de esgoto, sendo que destes apenas 44,92% recebem tratamento. Em relação à região sul do país o índice de coleta de esgoto é de 42,46%, onde apenas 43,87% passam por algum processo de tratamento.

Em relação ao estado do Paraná, a coleta de esgoto atinge cerca de 70% da população, onde 100% destes recebem tratamento adequado (SANEPAR, 2018). Atualmente, a área de cobertura da coleta de esgoto da SANEPAR (Companhia de Saneamento do Paraná) no município de Marmeireiro está em 56% e, com novas obras em andamento, a empresa pretende passar dos 70% (MARMELEIRO, 2018).

A falta de tratamento desses resíduos líquidos pode estar associada ao surgimento de doenças que afetam diretamente a saúde pública. Os esgotos contém uma quantidade elevada de microrganismos patogênicos (bactérias, vírus e protozoários). Além de trazer risco de doenças para população muitas vezes torna inviável a utilização do manancial uma vez que a carga lançada é superior ao poder de autodepuração, que acabam sendo degradados (JORDÃO; PESSÔA, 2009).

Os microrganismos têm grande importância no ambiente aquático, pois são responsáveis pela transformação da matéria dentro dos ciclos biogeoquímicos e em termos de qualidade biológica da água, são os que possibilitam a transmissão de doenças (VON SPERLING, 2005).

A qualidade e o acesso aos serviços de saneamento estão diretamente relacionados à saúde pública. O fornecimento de água encanada e tratada nas residências é considerado um grande benefício para as comunidades, mas se esse serviço não for acompanhado de um sistema de tratamento de esgoto adequado poderá evidencialmente, não acabar com os problemas. A cada R\$ 1,00 investido no setor de saneamento, cerca de R\$ 4,00 são economizados com a saúde (FUNASA, 2004).

A determinação da potencialidade de uma água transmitir doenças pode ser estudada através dos organismos indicadores de contaminação fecal, pertencentes principalmente ao grupo de coliformes. Existem no grupo dos coliformes termotolerantes três gêneros: *Escherichia*, *Enterobacter* e *Klebsiella* dos quais dois gêneros *Enterobacter* e *Klebsiella* incluem cepas de origem não fecal (VON SPERLING, 2005).

As bactérias do grupo coliformes são gram-negativas, relacionadas com o trato gastrointestinal de animais de sangue quente, consideradas os principais indicadores de contaminação por efluentes domésticos. É um importante parâmetro indicador da possibilidade da existência de microrganismos patogênicos que possam causar doenças de veiculação hídrica, tais como, febre tifóide, febre paratifóide e a cólera (CETESB, 2009).

De acordo com a Organização Mundial da Saúde cerca de 80% das doenças que ocorrem em países em desenvolvimento são veiculadas pela água contaminada por microrganismos patogênicos (COELHO et al., 2007). Isto se deve ao fato de que apenas 30% da população mundial tem acesso a

água tratada e os outros 70% terem poços de água subterrânea como fonte de água, facilitando assim sua contaminação (FERNANDEZ; SANTOS, 2007).

Para CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (2018), o uso das bactérias coliformes termotolerantes para indicar poluição sanitária mostra-se mais significativo que o uso das coliformes totais, pois as bactérias fecais estão restritas ao trato intestinal de animais de sangue quente.

3.4. RESÍDUOS LÍQUIDOS DAS ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO (ETEs)

A crescente expansão urbana traz consigo o aumento do consumo de água, conseqüentemente acaba por produzir um grande volume de águas residuais as quais não podem ser reaproveitadas e quando dispostas no meio ambiente de forma inadequada acabam causando desequilíbrios nos ecossistemas e inviabilizando o uso desses recursos naturais, como por exemplo, o abastecimento de água potável (JORDÃO; PESSÔA, 2009).

As cidades contribuem na geração de esgoto a partir de três fontes distintas: esgotos domésticos (residências, instituições e comércio); águas de infiltração e despejos industriais (diversas origens e tipos de indústrias). Este esgoto terá suas características relacionadas à variação do uso da água, ou seja, varia em função do clima, da situação social e econômica e também de hábitos da população. Os esgotos domésticos são constituídos de aproximadamente 99,9% de água sendo que a fração restante corresponde a sólidos orgânicos e inorgânicos, suspensos e dissolvidos, bem como microrganismos. Em função desta menor fração (0,1%) se faz necessário o seu tratamento (VON SPERLING, 2005).

Os esgotos são constituídos de matéria orgânica e inorgânica. Fazem parte dos constituintes orgânicos as proteínas, açúcares, óleos e gorduras, microrganismos, sais orgânicos e componentes dos produtos saneantes. Os principais constituintes inorgânicos são sais formados de ânions (cloretos, sulfatos, nitratos, fosfatos) e cátions (sódio, cálcio, potássio, ferro e magnésio) (VON SPERLING, 2005).

A introdução de matéria orgânica em um corpo hídrico resulta indiretamente no consumo do oxigênio dissolvido, oriundos do processo de

estabilização realizados pelas bactérias decompositoras, as quais utilizam o oxigênio dissolvido no meio líquido para sua respiração, resultando em diversas implicações do ponto de vista ambiental, constituindo-se em um dos principais problemas de poluição das águas em nosso meio (VON SPERLING, 2005).

A demanda química de oxigênio (DQO) é especialmente útil quando utilizada com a demanda bioquímica de oxigênio (DBO_5 , medida normalmente em 5 dias à 20°C), pois esta relação representa a biodegradabilidade do efluente em relação à matéria orgânica (MIZUTORI et al., 2009).

Os esgotos domésticos brutos apresentam uma relação de DQO/DBO_5 entre 1,7 a 2,4. No entanto, para efluentes industriais essa relação pode variar bastante em função de cada atividade. A partir dessa relação podemos tirar algumas conclusões sobre a biodegradabilidade dos despejos e do melhor método de tratamento a ser empregado (VON SPERLING, 2005). Na Tabela 1 estão indicados os valores das relações e as respectivas interpretações.

Tabela 1 – Relação DQO/DBO_5 indicando as possíveis interpretações

$DQO/DBO_5 < 2,5$	Fração biodegradável elevada	Indicação de tratamento biológico
DQO/DBO_5 entre 2,5 e 3,5	Fração biodegradável não é elevada	Estudos de tratabilidade para verificar viabilidade do tratamento biológico
$DQO/DBO_5 > 3,5$	Fração inerte (não biodegradável) elevada	Possível indicação de tratamento físico-químico

Fonte: Von Sperling (2005).

3.5. PROCESSOS CONVENCIONAIS DE TRATAMENTO DE ESGOTO

As Estações De Tratamento de Esgotos (ETEs) são hoje, o tratamento mais adequado para os efluentes, nelas, por meio de processos físicos, químicos e biológicos de decomposição. O líquido resultante do tratamento é devolvido aos cursos naturais de água, atendendo aos padrões impostos pelas Resoluções CONAMA nº 357 de 17 de março de 2005, que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento

de efluentes, e dá outras providências (BRASIL, 2005) e a CONAMA nº 430 de 13 de maio de 2011, a qual dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução CONAMA nº 357/05 (BRASIL, 2011).

Entretanto, deve-se levar em consideração, as legislações estaduais, quando houver, pois essas muitas vezes são mais restritivas com intuito de proteção ambiental. No estado do Paraná a Lei que dispõe sobre licenciamento ambiental, estabelece condições e padrões ambientais e dá outras providências, para empreendimentos de saneamento é a da - Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos – SEMA, em sua Resolução nº 021 de 22 de abril de 2009 (PARANÁ, 2009).

3.5.1. Estação De Tratamento de Esgoto (ETE)

Segundo a Companhia Catarinense de Água e Saneamento (CASAN), Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) é a unidade operacional do sistema de esgotamento sanitário que através de processos físicos, químicos ou biológicos removem as cargas poluentes do esgoto, devolvendo ao ambiente o produto final, efluente tratado, em conformidade com os padrões exigidos pela legislação ambiental.

Conforme Santos (2007), os processos físicos de tratamento englobam fenômenos físicos ocorrendo à remoção ou a transformação dos poluentes dos resíduos líquidos. Normalmente são utilizados para separar sólidos em suspensão nos efluentes, mas também podem ser utilizados para equalizar e homogeneizar os mesmos. Podemos citar os dispositivos utilizados para essa finalidade, as grades de limpeza, peneiras, caixas de areia, tanques de retenção de materiais flutuantes, decantadores, leitos de secagem de lodo, filtros prensa e a vácuo, centrífugas, entre outros.

Os processos químicos são processos em que a utilização de produtos químicos é necessária para aumentar a eficiência da remoção de um elemento ou substância, modificar seu estado ou estrutura, ou simplesmente alterar suas características químicas. Quase sempre são empregados em conjunto aos processos físicos e as vezes a processos biológicos. Os principais são:

coagulação-floculação, precipitação química, flotação por ar dissolvido, oxidação, cloração, neutralização ou correção do pH.

Já os processos biológicos são assim denominados por dependerem da ação de microrganismos aeróbios ou anaeróbios. São fenômenos inerentes à respiração e à alimentação desses microrganismos para a transformação da matéria orgânica, sob a forma de sólidos dissolvidos e em suspensão, em compostos simples como sais minerais, CO₂, H₂O e outros. São eles: lodos ativados e suas variações, filtros biológicos anaeróbios ou aeróbios, lagoas aeradas, lagoas de estabilização facultativas e anaeróbias, digestores anaeróbios de fluxo ascendente.

De acordo com Campos (1999), existem diversas alternativas para o tratamento de esgoto, assim, cada cidade, em função de suas próprias características, deve sempre escolher a solução que corresponda uma eficiência e custos compatíveis com as circunstâncias que prevalecem no local. A caracterização do efluente a ser tratado é importantíssima, pois ela será necessária para tomada de decisões, quanto à tecnologia mais adequada de tratamento e os custos do processo de tratamento.

Os requisitos a serem atingidos são em função de legislação específica, que prevê padrões de qualidade para o efluente e para o corpo receptor. O tratamento dos esgotos é normalmente classificado em preliminar, primário, secundário e eventualmente terciário (VON SPERLING, 2005). Normalmente, as ETEs chegam até o nível secundário de tratamento, porém em algumas situações é obrigatório o nível terciário (CAMPOS, 1999).

O tratamento preliminar visa apenas a remoção dos sólidos grosseiros, enquanto o tratamento primário objetiva a remoção de sólidos sedimentáveis e parte da matéria orgânica, predominando em ambos mecanismos físicos de remoção de poluentes. No tratamento secundário, há predominância de mecanismos biológicos, o foco principal é a remoção da matéria orgânica e eventualmente nutrientes como nitrogênio e fósforo. Os tipos mais comuns de tratamento secundário são as lagoas de estabilização e suas variantes, lodos ativados e suas variantes e biofilmes ou filtros biológicos. O tratamento terciário, quando empregado, objetiva a remoção de poluentes específicos tóxicos e compostos não biodegradáveis, ou ainda a remoção complementar

de poluentes não removidos no tratamento secundário (VON SPERLING, 2005).

Nas etapas descritas ocorre a geração de subprodutos sólidos, tais como, material gradeado, areia, espuma, lodo primário, lodo secundário e o lodo químico (caso haja etapa físico-química), sendo o tratamento desses subprodutos formados uma etapa importantíssima do tratamento de esgotos (VON SPERLING, 2005), tendo em vista que normalmente os poluentes são transferidos para essa fase.

Os principais tratamentos destinados ao lodo envolvem o adensamento para a remoção da umidade e conseqüentemente redução do volume, a estabilização objetivando a remoção da matéria orgânica, condicionamento seguido da desidratação e higienização (remoção de organismos patogênicos) e por fim a disposição final ambientalmente adequada (VON SPERLING, 2005).

3.6. PROCESSOS ALTERNATIVOS DE TRATAMENTO DE ESGOTO

O tratamento de efluentes se tornou um instrumento de pesquisa muito importante, tendo em vista que a comunidade científica busca o desenvolvimento de métodos e tecnologias há alguns anos. Novos processos estão sendo desenvolvidos e aplicados, e processos usados há décadas são estudados, refinados e melhorados (FEDALA et al., 2015).

Os métodos convencionais empregados no tratamento dos efluentes nas ETEs podem apresentar limitações e inconvenientes, como por exemplo, a necessidade de utilização de grandes áreas para sua instalação e os altos custos para sua implantação e manutenção, e até mesmo o fato de não promoverem a completa destruição de vários compostos (LETTERMAN, 1999).

Uma tecnologia que vem ganhando bastante atenção nos últimos anos para o tratamento de efluentes são os reatores UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) ou RAFA (Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente), são reatores que funcionam em ambiente anaeróbio. Segundo o Programa de Pesquisas em Saneamento Básico – PROSAB (2006), o esgoto é lançado ao fundo do reator onde se encontra grande concentração da biomassa, denominado de leito de lodo. A estabilização da matéria orgânica é realizada

por microrganismos anaeróbios, gerando biogás e novas células microbianas. Na parte superior do reator, existe um mecanismo de separação trifásica, o qual permite o encaminhamento correto das fases sólida, líquida e gasosas presentes dentro da unidade.

Entretanto o uso de substâncias adsorvente para a remoção de poluentes contidos nos esgotos e também nas águas de abastecimento, tem despertado bastante interesse nos últimos anos, como é o caso do carvão ativado, o qual possui grande área superficial porosa, sendo uma das suas grandes vantagens, o poder de regeneração, ou seja, é possível reativar seu poder de adsorção. Promove a remoção de cor, fenóis, nutrientes, sólidos em suspensão, matéria orgânica não biodegradável, entre outros. Na remoção da matéria orgânica dissolvida, além da adsorção, há também a assimilação através de microrganismos, onde o carvão serve de suporte para o desenvolvimento e adaptação, contribuindo para regenerar o carvão, apesar de não ser esse o principal objetivo (NUNES, 2012). A adsorção é o processo de transferência de um ou mais constituintes (adsorbatos) de uma fase fluida para a superfície de uma fase sólida (adsorvente) (RUTHVEN, 1994). A capacidade de adsorção de um carvão ativado é normalmente atribuída ao seu volume interno de poros que estão distribuídos numa faixa variando de microporos a macroporos (GREEG; SING, 1982).

Outra tecnologia que vem sendo utilizada no tratamento de esgoto é o biorreator de membrana, definido por apresentar-se associado a um sistema de microfiltração ou ultrafiltração, alcançando a retenção completa dos sólidos suspensos bem como da biomassa (SCHNEIDER; TSUTIYA, 2001). Assim, Giacobbo (2010) caracteriza o biorreator de membrana como um tratamento híbrido, que combina um processo biológico, geralmente aeróbio, a um processo físico de filtração por membranas. De acordo com Judd (2011) o termo biorreator de membrana é um processo de tratamento da água ou esgoto que integra uma membrana de permeabilidade seletiva a um reator biológico.

No entanto, tratamentos empregando fortes oxidantes estão cada vez mais sendo incorporados nas ETEs. Neste contexto, surgem os processos oxidativos avançados (POAs), os quais possibilitam que o composto não seja apenas transferido de fase, mas destruído e transformado em dióxido de carbono, água e ânions inorgânicos, através de reações de degradações que

envolvem espécies oxidantes (TEIXEIRA; JARDIM, 2004). Contudo, cabe ressaltar que em alguns casos os subprodutos da degradação dos POAs podem ser mais tóxicos e menos biodegradáveis que os compostos originais (VALLEJO et al., 2015), desta maneira se faz imprescindível a avaliação da toxicidade desses resíduos líquidos quando submetidos a esse tratamento.

3.7. PROCESSOS OXIDATIVOS AVANÇADOS (POAs)

Os processos oxidativos avançados (POAs) são vistos como tecnologias limpas, pois nesse processo não ocorre a formação de lodo e nem a transferência de fase dos poluentes (SOUZA, 2010). Por esse motivo os POAs têm-se tornado cada vez mais importantes no tratamento de efluentes que apresentam substâncias tóxicas, perigosas e/ou não biodegradáveis (BLANCO et al., 2008).

De uma maneira geral, os POAs caracterizam-se por utilizarem a geração de espécies altamente oxidantes, em especial o radical hidroxila ($\cdot\text{OH}$), o qual possui alto poder oxidante, com potencial de oxidação de $E^\circ = 2,8 \text{ V}$, e baixa seletividade podendo promover a degradação de vários compostos poluentes em poucos minutos, convertendo-os em espécies inofensivas (HIRVONEN et al., 1996; NOGUEIRA; JARDIM, 1998; SILVA, 2007; VINODGOPAL et al., 1998).

De acordo com Dias (2013) os POAs apresentam diversas vantagens, tais como:

- ✓ Normalmente não geram resíduos que requeiram processos posteriores de tratamento e disposição;
- ✓ Transformam produtos refratários em compostos biodegradáveis;
- ✓ Podem ser combinados com outros processos, como pré e pós tratamento;
- ✓ Degradam contaminantes presentes em baixas concentrações, por exemplo, em ppb;
- ✓ Normalmente não formam subprodutos em suas reações, caso aconteça, estarão em baixíssimas concentrações. Entretanto, deve-se realizar testes de toxicidades, a fim de verificar o potencial de a amostra causar danos

a organismos vivos, tendo em vista que apesar de estar presente em baixas concentrações poderá ser muito tóxico.

Os POAs podem ser divididos em sistemas homogêneos e heterogêneos, nos quais os radicais hidroxila podem ser gerados com ou sem radiação ultravioleta, descritos na Tabela 2.

Tabela 2 – Sistemas típicos dos POAs.

Processos	Com irradiação	Sem irradiação
Homogêneos	O ₃ /UV H ₂ O ₂ /UV O ₃ /H ₂ O ₂ /UV Foto-Fenton	O ₃ /HO ⁻ O ₃ / H ₂ O ₂ Reativo de Fenton
Heterogêneos	Fotocatálise Heterogênea (TiO ₂ /O ₂ /UV)	O ₃ /Catalisador

Fonte: Adaptado de Souza (2010).

De acordo com Rodrigues (2017), os sistemas homogêneos são caracterizados pela ausência de catalisadores sólidos, com presença ou não de irradiação. A degradação do poluente orgânico pode ocorrer por meio de dois mecanismos, a fotólise direta com radiação ultravioleta (UV), onde a luz é a exclusiva fonte na destruição dos poluentes, sendo o outro mecanismo a partir da geração de radicais hidroxila, um forte oxidante, com geração podendo ocorrer na presença de oxidantes fortes como o H₂O₂ e O₃.

Nos sistemas heterogêneos há a presença de catalisadores semicondutores, os quais aumentam a velocidade da reação para se atingir o equilíbrio químico, sem sofrerem alteração química (CIOLA, 1981). Segundo Davis e Huang (1989), semicondutores que atuam como fotocatalisadores possuem duas regiões energéticas: a banda de valência (BV) região de energia mais baixa, onde os elétrons não possuem movimento livre e a região de energia mais elevada denominada de banda de condução (BC), onde os elétrons são livres para se movimentarem, produzindo condutividade elétrica semelhante a dos metais. Entre essas duas regiões existe a zona de “bad-gap”, essa é a energia mínima necessária para excitar o elétron e promove-lo da banda BV para a BC.

3.7.1. Fotólise direta (UV)

Na fotólise direta ocorre a interação irreversível entre a luz ultravioleta (UV) e as moléculas, levando a sua destruição parcial ou total. A luz pode ser caracterizada através da energia do fóton, sendo inversamente proporcional ao comprimento de onda (ASSALIN, 2001).

Os comprimentos de onda estão na faixa de 40 a 400 nm, e de acordo como Comitê Internacional de Iluminação, tem sido dividida em três subfaixas onde o UV-A variam entre 400 e 315 nm, o UV-B entre 315 a 280 nm, e o UV-C menor que 280 nm. O Sol é uma fonte natural de radiação ultravioleta, já como fontes artificias utilizam-se normalmente as lâmpadas à vapor de mercúrio (CAYRES, 2006).

Nesse processo para ser destruído o poluente deve absorver a irradiação incidente, resultando em sua degradação a partir de seu estado excitado. Desta maneira, a baixa eficiência da foto-dissociação acaba por limitar suas aplicações quando comparados com processos que envolvem a geração de radicais hidroxila, os quais não requerem que o contaminante alvo absorva a radiação incidente. Entretanto, há casos nos quais os poluentes absorvem significativamente a irradiação UV, tornando a fotólise direta eficiente e atrativa, tendo em vista seu baixo custo e simplicidade (PARSONS, 2005).

Além da sua utilização na degradação de contaminantes, a radiação ultravioleta pode ser muito útil na destruição de microrganismos patogênicos. A irradiação em comprimentos de onda de 254 nm, apesar de não eliminar compostos orgânicos do efluente, é muito eficiente na sua desinfecção. Esses comprimentos de onda específicos podem agir no material genético dos microrganismos, levando a danos em seu DNA ou RNA, e a sua inativação ocorre ao passo que os mesmo não conseguirão mais se reproduzir (MIERZWA, 2008). Evidenciando assim, sua utilização no tratamento de esgotos domésticos, os quais possuem uma elevada carga de patógenos.

3.7.2. Fotólise com peróxido de hidrogênio (sistema H₂O₂/UV)

O uso conjunto de dois fortes oxidantes conhecidos, o peróxido de hidrogênio (H₂O₂) e a radiação ultravioleta (UV), é um processo homogêneo de tratamento o qual se baseia na formação de radicais $\bullet\text{OH}$ (SOUZA, 2010).

A fotólise com H₂O₂ resulta na formação de dois radicais hidroxila a partir de uma molécula de H₂O₂ (Equação 1) existindo a possibilidade de ocorrer recombinação destes radicais voltando a molécula de H₂O₂ (TEIXEIRA; JARDIM, 2004).



Dentre as vantagens do processo de oxidação utilizando H₂O₂/UV, destacam-se: a não formação de lodo, expressiva redução na DQO e a facilidade em seu manuseio (ALATON et al., 2002).

A concentração de H₂O₂ tem um papel imprescindível na eficiência da reação, tendo em vista que em altas concentrações este atua como sequestrante dos radicais hidroxila já formados, desta forma acabam por competir com os poluentes orgânicos e levando a menores taxas de degradação (KOWALSKA et al., 2004).

3.7.3. Fotocatálise heterogênea (sistema TiO₂/UV)

Os processos de fotocatalise heterogênea tiveram origem na década de 70 (BRITO; SILVA, 2012). Os sistemas heterogêneos diferenciam-se dos homogêneos devido à presença dos catalisadores semicondutores sólidos, substâncias que aumentam a velocidade da reação, para se atingir o equilíbrio químico sem sofrerem alteração química. Os semicondutores são sólidos nos quais a diferença de energia (band gap) entre a banda de valência (BV) e a banda de condução (BC) é pequena. Nesse processo, a luz UV possui um papel indispensável, sendo responsável pela ativação do catalisador (RODRIGUES, 2017).

De acordo com Ramos (2012) a absorção de fótons na superfície de um semicondutor com energia igual ou maior à energia de “band gap” resulta na promoção de um elétron da banda de valência para a banda de condução,

gerando um par elétron/vacância. Esse par pode sofrer recombinação interna ou migrar para a superfície do catalisador. Na superfície, pode sofrer recombinação externa ou participar de reações de oxirredução, com espécies adsorvidas como H_2O , H^- , O_2 e compostos orgânicos (Figura 1). Este processo é resumido pela Equação 2.

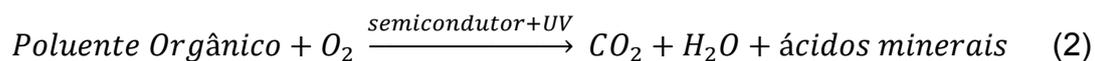
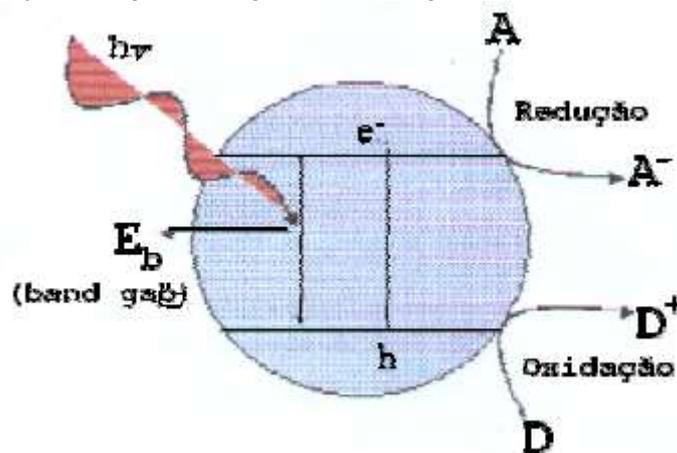


Figura 1 – Representação esquemática da geração do par elétron/vacância na superfície do semicondutor (A é a espécie aceptora e D a espécie doadora de elétrons).



Fonte: Sauer (2002).

Em meio aos compostos orgânicos capazes de serem mineralizados pela fotocatalise estão os alcanos, alcanos halogenados, alcenos halogenados, compostos aromáticos, álcoois, herbicidas, surfactantes, pesticidas e corantes (MATTHEWS, 1986; NOGUEIRA; GUIMARÃES, 1998).

Existem vários materiais semicondutores, como o dióxido de titânio (TiO_2), o sulfureto de cádmio (CdS), o óxido de zinco (ZnO) e o óxido de ferro III (Fe_2O_3), que podem atuar como sensibilizadores em processos redox sob ação da luz, devido à sua estrutura eletrônica que é caracterizada pela banda de valência estar preenchida e a banda de condução vazia (BAHNEMANN, 2004).

Um dos semicondutores mais utilizados é o dióxido de titânio (TiO_2) (HOFFMANN et al., 1995). Isso se deve as suas características químicas e físicas como elevada estabilidade química em solução aquosa para toda a

gama de valores de pH, a insolubilidade em água, a possibilidade de imobilização em sólidos, não toxicidade e baixo custo (FREIRE et al., 2000).

Para Teixeira e Jardim (2004), o catalisador pode ser utilizado em suspensão no meio líquido, apresentando a vantagem de estar presente em toda a solução. Assim, há um melhor aproveitamento dos fótons emitidos pela fonte luminosa e produzem maiores taxas de reação. Entretanto, para uma aplicação prática, apresenta como desvantagem que as partículas do mesmo devem ser separadas da fase líquida após o tratamento, seja por filtração, centrifugação ou coagulação e floculação. Porém, segundo Rodrigues (2017), muitos autores têm sugerido como alternativa a utilização de TiO_2 imobilizado em diversos materiais como por exemplo, fibra de vidro, fibra de carbono, matéria cerâmicas e polímeros.

Cabe aqui ressaltar que, um fator importante nessas reações de degradação é, não apenas o desaparecimento dos contaminantes alvos, mas também a conversão de carbono orgânico em carbono inorgânico na forma de CO_2 para que se assegure que tanto o contaminante quanto quaisquer subprodutos formados tenham sido degradados. A degradação parcial é aceita se o produto final for inócuo (GÁLVEZ et al., 2001).

De acordo com Teixeira e Jardim (2004), o monitoramento pode ser feito através de várias análises, conforme o objetivo, a necessidade e até mesmo a estrutura disponível. Uma análise muito importante é a toxicidade, a qual mede a eficiência do tratamento em relação aos efeitos nocivos dos subprodutos formados a partir da degradação. Não existe um procedimento único ou um organismo único para medi-la, pois ela depende da necessidade requerida. Este é um parâmetro de extrema importância, pois nos processos de degradação, muitas vezes podem ser formados produtos mais tóxicos que o composto inicial.

3.8. AVALIAÇÃO DA TOXICIDADE ATRAVÉS DE BIOINDICADORES

A toxicidade é a propriedade intrínseca de substâncias químicas de causar efeitos adversos a organismos quando este é exposto, durante certo tempo, a determinadas concentrações de meios tóxicos (APHA, 1995).

O termo “bioindicadores” é utilizado para indicar os membros da fauna e da flora de um habitat que possui seu grau de tolerância reduzido e específico quando exposto a um fator ambiental, apresentando uma resposta clara diante de pequenas variações na qualidade do ambiente (DIAS et al, 2002).

O monitoramento de uma determinada amostra através das análises físico-químicas nos reportam a quantidade e a qualidade dos poluentes presentes nela, mas não trazem informações a respeito dos efeitos sobre as comunidades existentes e sobre o funcionamento do sistema exposto a ela. Neste sentido testes de toxicidade apresentam-se como ferramentas importantes para a compreensão dos efeitos dos contaminantes sobre compartimento biótico, utilizando-se organismos vivos que atuam como bioindicadores (DORNFELD, et al. 2001).

De acordo com Costa et al. (2008), os testes de toxicidade não substituem as análises físico-químicas tradicionais. Enquanto essas análises identificam e quantificam as concentrações de substâncias tóxicas, os testes de toxicidade avaliam o efeito dessas substâncias sobre sistemas biológicos. Desta maneira, as análises físico-químicas e os testes de toxicidade se complementam.

Segundo Gherardi et al. (1990), os testes de toxicidade podem ser classificados em agudos e crônicos, diferindo-se na duração e nas respostas finais que são medidas. Os testes de toxicidade aguda são utilizados para medir os efeitos de agentes tóxicos sobre espécies durante um curto período de tempo em relação ao período de vida do organismo-teste. Eles têm como objetivo estimar a dose ou concentração de um agente tóxico que seria capaz de produzir uma resposta específica mensurável em um organismo-teste ou população, em um período de tempo relativamente curto, geralmente de 24 a 96 horas.

Já os ensaios de toxicidade crônica, caracterizam-se por uma exposição prolongada, que podem abranger todo o ciclo de vida dos organismos-teste, e avaliam parâmetros subletais como reprodução, deformidades e até mesmo o crescimento (BORRELY, 2001).

Existem mais de 200 testes de curta duração, utilizando uma ampla variedade de organismos-teste (microrganismos, vegetais e animais), com a finalidade de avaliar poluentes ambientais potencialmente causadores de danos (VANZELLA, 2006). A escolha do organismo depende do objetivo do estudo, e da disponibilidade deste para validação dos métodos (MIELLI, 2008).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo realizou-se com amostras de efluentes coletados na SANEPAR – Companhia de Saneamento do Paraná, em sua Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) do município de Marmeireiro, localizado no Sudoeste do estado do Paraná. A ETE em questão faz o lançamento dos efluentes tratados no Rio Marmeireiro, manancial de abastecimento de água do município.

As análises bem como os ensaios foram realizados no Laboratório de Águas e Efluentes, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Francisco Beltrão, exceto as análises de coliformes termotolerantes que foram encaminhadas ao Laboratório de Qualidade Agroindustrial – LAQUA, localizado na UTFPR – Campus Pato Branco.

4.1. ÁREA DE ESTUDO

Marmeireiro é um município do Sudoeste do Paraná, como podemos observar na Figura 2. O município está localizado a uma distância de 482 Km de Curitiba, capital do Estado, possuindo uma altitude de 653 metros acima do nível do mar (MARMELEIRO, 2017).

Segundo dados do IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, em 2010, o município de Marmeireiro possuía uma população de 13.900 habitantes e uma área territorial de 387,860 Km². A sua economia é estritamente voltada à agricultura e a pecuária, onde a maioria das empresas e indústrias do município é direcionada ao segmento de agronegócio (IBGE, 2010).

Figura 2 – Mapa de localização do município de Marmeleiro no estado do Paraná.



Fonte: Wikipédia (2017).

De acordo com a classificação de Köppen, o clima predominante na região sudoeste do estado do Paraná é do tipo subtropical, no qual a temperatura média no mês mais frio é inferior a 18°C (mesotérmico) e acima de 22°C no mês mais quente. Na região a ocorrência de geadas não é frequente, os verões são quentes, concentrando nessa estação a ocorrência de chuvas, apesar de a estação seca não ser definida (ITCG, 2008a).

No município, a geomorfologia predominante é o Planalto Cascavel Baixo Iguaçu (ITCG, 2008b) e os solos dominantes são latossolo, neossolo e nitossolo (ITCG, 2008c).

4.1.1. Bacia Hidrográfica do Rio Marmeleiro

A bacia hidrográfica do Rio Marmeleiro situa-se no município de Marmeleiro, possui uma extensão de aproximadamente 47 Km, contando com 14 afluentes, onde praticamente todos estão distribuídos na zona rural do município. Esta bacia é considerada de extrema importância, pois é único manancial de abastecimento do município, além de receber ao longo do seu percurso o efluente da estação de tratamento de esgoto do município, conforme a Figura 3 (THIEL et al., 2016).

Figura 3 – Localização da ETE do município de Marmeleiro/PR.



Fonte: Google Earth (2017).

4.2. COLETA DAS AMOSTRAS

A coleta das amostras ocorreu no dia 29 de outubro de 2018, sendo realizada no ponto de chegada dos efluentes na ETE (efluente bruto – EB), e outra após passar pelo processo convencional de tratamento (efluente tratado – ET) (Figura 4). Coletou-se 10 litros de cada amostra, conforme metodologias descritas no “Standard Methods” (APHA, 1998).

Figura 4 – Identificação dos pontos de coletas na ETE.



Fonte: Arquivo pessoal (2018).

EB= efluente bruto; ET= efluente tratado pela ETE.

4.3. CARACTERIZAÇÃO DOS EFLUENTES

Os efluentes bruto (EB) e tratado pela ETE (ET), foram caracterizados, antes e após cada tratamento empregando os POAs, analisando-se os seguintes parâmetros: temperatura, pH, turbidez, cor, oxigênio dissolvido (OD), demanda química de oxigênio (DQO), demanda bioquímica de oxigênio após incubação por 5 dias à 20°C (DBO₅), nitrogênio total, fósforo total e coliformes termotolerantes. Todas as análises foram realizadas seguindo a metodologia descrita no “Standard Methods” (APHA, 1998; APHA 2005).

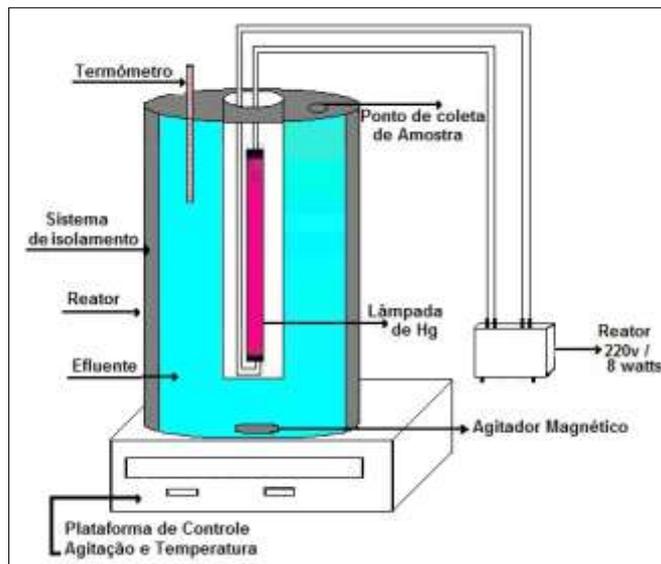
4.4. SISTEMAS DE TRATAMENTO

Os testes foram conduzidos em escala de laboratório em um reator fotocatalítico descontínuo, com um volume útil de 2 litros. Os processos empregados no tratamento do efluente bruto (EB) e do efluente tratado pela ETE (ET) foram: UV, H₂O₂/UV e TiO₂/UV.

Nos processos envolvendo a fotocatalise heterogênea utilizou-se o TiO₂ (P25), em suspensão como catalisador, em uma concentração de 1 g/L de amostra, sendo que ao final do processo realizou-se uma filtração à vácuo para recuperação do mesmo. No sistema H₂O₂/UV utilizou-se o peróxido de hidrogênio (30% w/w) em uma concentração de 1,8 g/L de amostra.

O reator utilizado (Figura 5 e 6) era composto por um tubo de vidro transparente, com diâmetro interno de 11 cm e altura de 37 cm. A fonte de radiação ultravioleta foi a mesma para todos os processos, sendo ela de vapor de mercúrio (Osram) de 8 watts de potência, que foi fixada no centro do reator com um tubo de quartzo para sua proteção, sendo as dimensões do tubo de 3 cm de diâmetro por 30 cm de altura. O tempo de retenção das amostras no reator para o tratamento foi de 2 horas, em temperatura ambiente. Com intuito de se promover a homogeneização das amostras, fez-se o uso de um agitador magnético. A parte externa do reator foi revestida com papel alumínio com o objetivo de evitar o contato externo dos raios ultravioleta, tendo em vista que o mesmo é prejudicial à saúde.

Figura 5 – Esquema do sistema de tratamento fotocatalítico.



Fonte: Autor (2018).

Figura 6 – Sistema de tratamento fotocatalítico



Fonte: Arquivo pessoal (2018).

4.5. AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DOS PROCESSOS

A porcentagem de eficiência na remoção da DBO₅ e DQO dos tratamentos foi obtida pelas Equações 3 e 4:

$$\%eficiência = \left(\frac{DBOi - DBOf}{DBOi} \right) * 100\% \quad (3)$$

$$\%eficiência = \left(\frac{DQOi - DQOf}{DQOi} \right) * 100\% \quad (4)$$

Onde:

- DBOi = demanda bioquímica de oxigênio inicial;
- DBOf = demanda bioquímica de oxigênio final;
- DQOi = demanda química de oxigênio inicial;
- DQOf = demanda química de oxigênio final.

Para avaliação da biodegradabilidade do efluente em relação à matéria orgânica, calculou-se a relação entre os valores de DQO/DBO₅, tanto para o efluente bruto (EB), como para o efluente tratado pela ETE (ET), antes e após a aplicação dos POAs, conforme parâmetros apresentados na Tabela 1.

4.6. AVALIAÇÃO DA TOXICIDADE

4.6.1. Bioensaio com *Artemia salina* L.

O teste de imobilidade/mortalidade com *A. salina* foi conduzido pelo método proposto por Guerra (2001), com modificações baseadas na ABNT NBR 13373. Inicialmente cistos de *A. salina* foram incubados em solução de sal marinho sintético (30 g/L), aerados, com luminosidade e temperatura de 25°C, para induzir sua eclosão.

Após a eclosão dos cistos, 10 náuplios do microcrustáceo foram transferidos para poços de placas de cultivo, contendo: 2 mL da solução salina (controle negativo salino), 2 mL da água mineral (controle negativo doce) e 2 mL das amostras na concentração de 100%.

Após 24 horas de incubação, a 25 °C, realizou-se a contagem do número de náuplios mortos, considerados como tal aqueles que permaneceram imóveis durante 20 segundos de observação. Com os valores médio e desvios-padrões de mortalidade realizou-se a análise estatística através do Teste de Tukey ao nível de significância de 5% (n=3), pelo programa GraphPad InStat.

4.6.2. Bioensaio com *Allium cepa* L. (cebola)

O teste de citotoxicidade e mutagenicidade foi feito com *A. cepa* L. (cebola), seguindo os procedimentos descritos por Fiskesjö (1985). Primeiramente, os bulbos de cebola foram colocados para enraizar em frascos com água mineral à temperatura ambiente, aerada e no escuro. Após enraizamento, foram separadas e utilizadas 5 cebolas por grupo e, antes de cada tratamento, duas raízes foram coletadas e fixadas (3 metanol: 1 ácido acético) para servirem de controle do próprio bulbo (CO-0h). Posteriormente, estes bulbos foram colocados em contato com as amostras iniciais (EB e ET), bem como após as reações de fotocatalise heterogênea (TiO₂/UV), permanecendo por 24 horas e, ao final deste período foram retiradas e fixadas mais duas raízes (TR-24h). A próxima etapa foi a de recuperação dos eventuais danos ocorridos, em que os bulbos foram lavados e colocados novamente em água mineral, e decorrido 24 horas, mais duas raízes foram retiradas e fixadas (RE-48h). Um grupo de cebolas permaneceu durante todo o tempo em água mineral (Controle Negativo – CO-), e outro foi colocado em contato com uma solução de paracetamol (800mg/L) no TR-24h (Controle Positivo – CO+).

A preparação das raízes foi feita pela reação de Feulgen, onde estas permaneceram refrigeradas em fixador por 24 horas, depois foram lavadas e colocadas em 5mL de ácido clorídrico (HCl 1N a 60°C), por 10 minutos na estufa a 60°C. Retiradas da estufa, foram novamente lavadas e coradas com 5mL de reativo Schiff por 45 minutos no escuro.

As lâminas foram confeccionadas utilizando a região mais corada das raízes, macerando com orceína acética. A análise das lâminas foi realizada, em microscópio óptico com objetiva de 40 vezes.

O Índice Mitótico (IM%) e o Índice de Mutagenicidade (IMG%) foram calculados após análise de 1000 células por bulbo, totalizando 5000 células por grupo em cada tempo amostral. Para o cálculo do IM%, foi feita a razão do número de células em divisão pelo número de células analisadas, multiplicado por 100. As células alteradas estruturalmente foram divididas em: metáfase com cromossomo solto, colchicínica e desorganizada, anáfase com cromossomo solto, desorganizada e com ponte. O IMG% foi determinado pela razão do número de células alteradas pelo número total de células analisadas, multiplicado por 100. A análise estatística foi feita por meio do Teste de Tukey ao nível de significância de 5% (n=5), pelo programa GraphPad InStat.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1. CARACTERIZAÇÕES FÍSICO-QUÍMICAS

De acordo com as condições experimentais os resultados obtidos para a caracterização físico-química inicial, bem como após dos tratamentos empregando os processos oxidativos avançados (POAs) estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Resultados das caracterizações físico-químicas.

Parâmetros	Inicial		Final					
	EB	ET	EB1	EB2	EB3	ET1	ET2	ET3
Temperatura (°C)	22,00	22,50	22,00	22,00	22,00	24,00	24,00	24,00
pH	7,32	7,37	7,24	6,96	7,73	6,58	6,60	7,75
Turbidez (NTU)	63,36	27,29	53,60	26,39	76,23	7,05	2,71	71,96
Cor (mgPtCo/L)	573,70	143,08	312,11	336,25	831,27	118,93	70,64	811,15
OD (mgO ₂ /L)	3,54	7,92	6,04	56,25	6,25	8,75	26,04	8,96
DQO (mgO ₂ /L)	332,34	70,72	304,65	324,09	139,73	56,21	198,44	38,79
DBO (mgO ₂ /L)	380,87	118,19	154,32	97,84	110,34	77,48	-	61,43
Nitrogênio Total (mg/L)	422,66	252,96	395,56	337,69	245,25	197,14	284,12	140,20
Fósforo Total (mg/L)	0,51	0,40	0,31	0,25	0,27	0,25	-	0,12

Fonte: Autor (2018).

Legenda: EB= efluente bruto da ETE; ET= efluente tratado pela ETE; EB1= tratamento do EB com fotólise direta (UV); EB2= tratamento do EB pelo sistema H₂O₂/UV; EB3= tratamento do EB pelo sistema TiO₂/UV; ET1= tratamento do ET com fotólise direta (UV); ET2= tratamento do ET com o sistema H₂O₂/UV; EB3= tratamento do ET pelo sistema TiO₂/UV.

A partir dos resultados apresentados na Tabela 3, em relação à temperatura, podemos notar que houve pouca variação nesse parâmetro, o aumento nas últimas amostras (24°C) pode estar relacionado ao fato que os

experimentos foram conduzidos em temperatura ambiente, podendo ter sofrido então influência das alterações climáticas.

O CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente, em sua Resolução nº 430 de 2011, a qual dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357 de 2005 do CONAMA, em sua Seção III, que diz respeito das Condições e Padrões para Efluentes de Sistemas de Tratamento de Esgotos Sanitários, estabelece que a temperatura do efluente para lançamento no corpo receptor deve ser inferior a 40°C (BRASIL, 2011). Desta maneira, podemos constatar que os tratamentos testados não elevaram significativamente a temperatura da amostra.

A elevação da temperatura aumenta as reações químicas e biológicas, reduz a solubilidade dos gases, podendo liberar gases com odores desagradáveis durante o tratamento do esgoto, bem como reduz a concentração de oxigênio dissolvido, contribuindo com a depleção dos níveis de oxigênio (VON SPERLING, 2005; METCALF; EDDY, 2003).

Assim como a temperatura, o pH é outro parâmetro que afeta diretamente as condições do ambiente e a biodiversidade. O pH influencia diversas reações que ocorrem durante o tratamento de esgoto, tais como a precipitação química de metais tóxicos, a oxidação química de cianeto e o arraste de amônia convertida à forma gasosa ocorrem em pH elevado (CETESB, 2009).

Analisando a Tabela 3, pode-se verificar que também não ocorreram variações significativas entre os tratamentos empregando os POAs (UV, H₂O₂/UV, TiO₂/UV) e as amostras iniciais (EB e ET). A resolução do CONAMA nº 430/11 estabelece que para o lançamento desses efluentes o pH deve estar entre 5 e 9 para critérios de proteção à vida aquática (BRASIL, 2011). Portanto, todas as amostras apresentaram-se dentro da faixa estabelecida pela legislação.

A análise de turbidez das amostras tratadas e do efluente tem como finalidade avaliar a presença de sólidos em suspensão. Os resultados obtidos para esse parâmetro no efluente bruto (EB) foi igual a 63,36 NTU, o tratamento empregando apenas a fotólise direta (UV) e a fotólise com o peróxido de hidrogênio (H₂O₂/UV) reduziram cerca de 15% e 60% da turbidez respectivamente. Enquanto para o efluente tratado pela ETE (ET) a turbidez foi

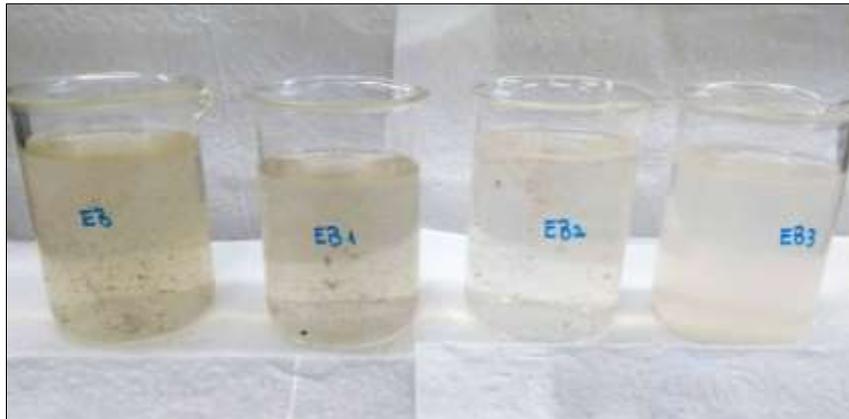
de 27,29 NTU e os mesmo processos (UV e H₂O₂/UV) possibilitaram uma remoção de 74% e 90% respectivamente. Porém, os processos envolvendo a fotocatalise heterogênea com o TiO₂ como catalisador, apresentaram turbidez superiores as amostras iniciais EB e ET, sendo 76,23 NTU e 71,96 NTU respectivamente, fato esse que pode estar relacionado com a maneira como foi utilizado o catalisador (em suspensão) dificultando sua recuperação ao final do processo, tendo em vista que suas partículas são ultrafinas.

Um aumento na turbidez reduz a fotossíntese de vegetação submersa e algas, podendo por sua vez, inibir a produtividade de peixes. Assim, esse parâmetro pode influenciar nas comunidades biológicas aquáticas. Além do mais, afeta adversamente os usos doméstico, industrial e de recreação de um manancial (CETESB, 2009).

Contudo, todas as amostras apresentaram-se dentro da faixa estabelecida pela Resolução do CONAMA n° 357 de 2005, a qual dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências, em seu Art. 15, que diz respeito às águas doces de classe 2, estabelece que a turbidez no efluente deve ser de no máximo 100 NTU, para ser lançado no corpo receptor, o qual nesse estudo é o Rio Marmeleiro/PR, enquadrando-se na classe 2 (BRASIL, 2005). As diferenças na turbidez das amostras podem ser observadas nas Figuras 6 e 7.

Através da análise de cor das amostras buscou-se avaliar a remoção de sólidos dissolvidos presentes nos efluentes. As reações fotocatalíticas testadas apresentaram remoção de 46% para o processo de fotólise no efluente bruto (EB/UV) e, 42% para a fotólise com o peróxido de hidrogênio (EB/H₂O₂/UV). No efluente tratado pela ETE (ET), obtiveram-se eficiência na remoção de 17% para ET/UV e 50% para a fotólise com o peróxido de hidrogênio (ET/H₂O₂/UV). As amostras submetidas à fotocatalise heterogênea também não apresentaram redução nesse parâmetro, e assim como para a turbidez, pode ter ocorrido interferência do catalisador o qual foi utilizado em suspensão. Nas Figuras 7 e 8 pode-se observar a diferença nesse parâmetro para as amostras.

Figura 7 – Amostras inicial e finais para o efluente bruto (EB).



Fonte: Arquivo pessoal (2018).

EB= efluente bruto da ETE; ET= efluente tratado pela ETE= EB1: tratamento do EB com fotólise direta; EB2= tratamento do EB pelo sistema H_2O_2/UV ; EB3= tratamento do EB pelo sistema TiO_2/UV .

Figura 8 – Amostras inicial e finais para o efluente tratado pela ETE (ET).



Fonte: Arquivo pessoal (2018).

ET= efluente tratado pela ETE; ET1= tratamento do ET com fotólise direta; ET2= tratamento do ET com o sistema H_2O_2/UV ; ET3= tratamento do ET pelo sistema TiO_2/UV .

Um parâmetro muito importante para a qualidade da água é a quantidade de oxigênio dissolvido (OD) presente no efluente, pois diversas formas de vida aquática dependem desse parâmetro. Para Piveli (2001), o OD é o elemento fundamental no metabolismo dos microrganismos aeróbios que habitam as águas naturais. Assim como, é indispensável também para outros seres vivos, especialmente os peixes, onde a maioria das espécies não resiste a concentrações de oxigênio dissolvido na água inferiores a $4,0 \text{ mgO}_2 \cdot \text{L}^{-1}$, correspondendo, portanto, um parâmetro de extrema relevância no controle para lançamento de efluentes.

Os valores obtidos nesse estudo para as amostras foram de $3,54 \text{ mgO}_2 \cdot \text{L}^{-1}$ para o efluente bruto (EB), e para os processos testados (UV, TiO_2/UV) foram de $6,04 \text{ mgO}_2 \cdot \text{L}^{-1}$ e $6,25 \text{ mgO}_2 \cdot \text{L}^{-1}$, respectivamente. A amostra

inicial do efluente tratado pela ETE (ET) apresentou valor de $7,92 \text{ mgO}_2\cdot\text{L}^{-1}$ e, após os tratamentos com os POAs foi de $8,75 \text{ mgO}_2\cdot\text{L}^{-1}$ (UV) e $8,96 \text{ mgO}_2\cdot\text{L}^{-1}$ (TiO_2/UV). As amostras submetidas à fotólise com o peróxido de hidrogênio ($\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$) apresentaram valores elevados de OD (acima de $36,04 \text{ mgO}_2\cdot\text{L}^{-1}$), mas, tendo em vista que o método utilizado na determinação desse parâmetro foi o titulométrico, pode ter ocorrido interferência da presença do peróxido de hidrogênio (H_2O_2) com os reagentes empregados na determinação desse parâmetro.

De acordo com Lopes (2014) o aumento do teor de oxigênio na amostra pode estar associado à clivagem da molécula de água pela radiação, com a consequente liberação do oxigênio que se dissolve no meio aquoso.

A Resolução do CONAMA n° 357/05, em seu Art. 15, estabelece um valor mínimo de $5 \text{ mgO}_2\cdot\text{L}^{-1}$, para lançamento de efluentes em um corpo receptor de classe 2 (BRASIL, 2005). Portanto, pode-se verificar que os valores obtidos nos tratamentos com UV e TiO_2/UV para ambas as amostras apresentaram-se dentro do limite estabelecido.

A demanda química de oxigênio (DQO) é um parâmetro útil na determinação da quantidade de oxigênio necessária para oxidar quimicamente a matéria orgânica e inorgânica presente no esgoto (HAMMER, 2007). No presente trabalho obtiveram-se resultados satisfatórios na remoção desse parâmetro, evidenciando uma elevada eficiência dos processos testados, como será melhor detalhado na seção 5.3.

As Resoluções n° 357/05 e n° 430/11 do CONAMA não fazem referência ao parâmetro de DQO na classificação dos corpos d'água e nos padrões de lançamento de efluentes líquidos, estabelecendo parâmetros apenas para demanda bioquímica de oxigênio (DBO_5). Entretanto a Resolução n° 021 de 2009 da SEMA – Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos, a qual dispõe sobre licenciamento ambiental, estabelece condições e padrões ambientais e dá outras providências, para empreendimentos de saneamento no estado do Paraná, em seu Artigo 11, aborda o parâmetro DQO como padrão de lançamento de efluentes de ETEs, onde estabelece que não poderá ser superior a $225 \text{ mgO}_2\cdot\text{L}^{-1}$ (PARANÁ, 2009). Para o efluente bruto (EB) apenas o processo de fotocatalise heterogênea (TiO_2/UV) atendeu a essa legislação ($139,73 \text{ mgO}_2\cdot\text{L}^{-1}$). Com relação ao efluente tratado pela ETE (ET), todos os

tratamentos atenderam a legislação estadual, porém, vale destacar que este efluente já tratado pela ETE possui DQO de $70,72 \text{ mgO}_2\cdot\text{L}^{-1}$, valor já dentro do estabelecido pelo CONAMA.

De acordo com Von Sperling (2005), a demanda bioquímica de oxigênio, medida após 5 dias a 20°C (DBO_5), está associada à fração biodegradável dos componentes orgânicos. Nas análises realizadas para esse parâmetro obtiveram-se valores de remoção para o efluente bruto (EB) de cerca de 59% para o processo apenas com UV, 74% para $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$ e 71% na fotocatalise heterogênea (TiO_2/UV). Para o efluente tratado pela ETE (ET) remoção de 34% para UV e 48% no sistema de fotocatalise heterogênea (TiO_2/UV), não sendo possível aferir a DBO_5 da amostra ET/ $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$. Contudo, essa eficiência será melhor detalhada na seção 5.3.

Os aumentos em termos de DBO_5 , em um corpo hídrico, são provocados por despejos de origem predominantemente orgânica, em especial esgoto doméstico. A presença de um alto teor de matéria orgânica pode induzir ao completo esgotamento do oxigênio dissolvido na água, provocando o desaparecimento de peixes e outras formas de vida aquática (CETESB, 2009).

Todas as legislações consultadas no presente estudo abordam padrões máximos aceitáveis para DBO_5 . Entretanto, a legislação estadual (SEMA n° 021/09) é a mais restritiva para esse parâmetro, apresentando limite máximo de $90 \text{ mgO}_2\cdot\text{L}^{-1}$ (PARANÁ, 2009), enquanto a Resolução n° 430/11 do CONAMA estabelece limite de até $120 \text{ mgO}_2\cdot\text{L}^{-1}$ (BRASIL, 2011). Levando-se em conta que a legislação Estadual é mais restritiva a esse parâmetro, com intuito de proteção ambiental, esta prevalecerá em relação a Federal. Neste caso, somente os tratamentos com UV e TiO_2/UV do ETE atingiram o limite imposto pela legislação para a DBO_5 , apresentando valores de 77,48 e 61,43 $\text{mgO}_2\cdot\text{L}^{-1}$, respectivamente.

Já para o nitrogênio total, pode-se observar resultados significativos em sua remoção pelos POAs, exceto para a amostra ET/ $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$ que apresentou valor maior que na amostra inicial. Em relação aos valores obtidos para o EB, ocorreu uma remoção de cerca de 6% para o tratamento envolvendo apenas UV, 20% para $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$ e, 42% para o sistema de fotocatalise heterogênea (TiO_2/UV). Contudo, para as amostras do ET, os POAs apresentaram remoção de 22% para UV e 45% para TiO_2/UV .

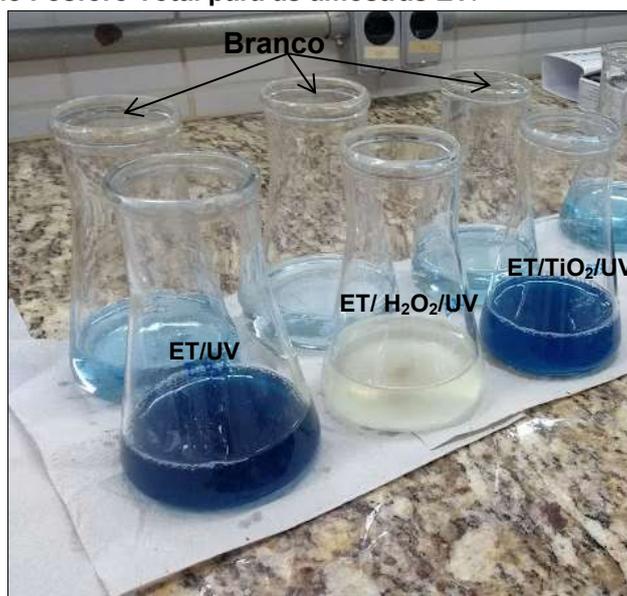
De acordo com a CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (2009), a presença de nitrogênio nos esgotos sanitários é oriunda da matéria proteica e da ureia. Os compostos de nitrogênio são nutrientes relacionados a processos biológicos e são caracterizados como macronutrientes, pois, depois do carbono, é o elemento exigido em maior quantidade pelas células vivas. Quando lançados em um corpo hídrico, juntamente com o fósforo e outros nutrientes presentes nos despejos, provocam o enriquecimento do meio, tornando-o eutrofizado. A eutrofização possibilita o crescimento mais intenso de seres vivos que utilizam esses nutrientes, principalmente as algas. Podendo trazer prejuízos aos múltiplos usos dessa água, prejudicando o abastecimento público ou causando poluição decorrente da morte e decomposição desses organismos.

Em relação às legislações consultadas nesse trabalho, tanto Federais como Estadual nenhuma faz menção ao parâmetro nitrogênio total como padrão de lançamento de efluentes.

Na análise de fósforo total, os tratamentos testados com o EB apresentaram remoção de 40% com UV, 51% com H_2O_2/UV e 47% para fotocatalise heterogênea (TiO_2/UV). Para o ET os procedimentos analisados removeram cerca de 38% (UV) e 70% na fotocatalise heterogênea (TiO_2/UV), para o processo envolvendo ET/ H_2O_2/UV não foi possível a determinação desse parâmetro, tendo em vista que a amostra não atingiu a coloração necessária para comparação no branco, como pode ser observado na Figura 9.

Entretanto, as concentrações de fósforo total nos efluentes ainda se encontram acima do que determina a CONAMA n° 357/05, a qual estabelece que para corpos de água enquadrados como classe 2, limite de $0,030\text{ mgL}^{-1}$ para lançamento em ambientes lênticos (BRASIL, 2005).

Figura 9 – Análise de Fósforo Total para as amostras ET.



Fonte: Arquivo pessoal (2018).

Assim como o nitrogênio, o fósforo também é essencial para o crescimento biológico, além de ser um elemento chave na composição da membrana celular, a ausência desse elemento pode inibir o crescimento biológico e reduzir a eficiência do processo biológico de tratamento de esgoto. Suas principais fontes nos esgotos incluem os fertilizantes, detergentes e os produtos de limpeza (WEF et al., 2005).

5.2. COLIFORMES TERMOTOLERANTES

Os resultados obtidos para as análises de coliformes termotolerantes para o EB e ET, bem como para as reações fotocatalíticas testadas, estão apresentados na Tabela 4 e 5, respectivamente. Os laudos referentes a essas análises podem ser observados nos Anexos 4 ao 11.

As análises indicaram uma concentração de 6,9 NMP/100mL, tanto para o EB quanto para o ET, visto que não há definições para coliformes na Resolução nº 021/09 da SEMA (PARANÁ, 2009), tampouco na Resolução CONAMA nº 430/2011 (BRASIL, 2011). No entanto, a remoção de coliformes deve ser eficiente quando o corpo receptor dos efluentes for destinado ao abastecimento público ou de contato primário de balneabilidade em ponto jusante ao lançamento (PARANÁ, 2009).

Tabela 4 – Resultados das análises de Coliformes Termotolerantes para o efluente bruto (EB) e os tratamentos testados com os POAs.

Tratamentos	Coliformes Termotolerantes NMP*/100mL
EB	6,9
EB/UV	6,9
EB/H ₂ O ₂ /UV	Ausência
EB/TiO ₂ /UV	6,9

Fonte: Autor (2018).

*Número Mais Provável.

Tabela 5 – Resultados das análises de Coliformes Termotolerantes para o efluente tratado pela ETE (ET) e os tratamentos testados com os POAs.

Tratamentos	Coliformes Termotolerantes NPM*/100mL
ET	6,9
ET/UV	6,9
ET/H ₂ O ₂ /UV	Ausência
ET/TiO ₂ /UV	1,1

Fonte: Autor (2018).

*Número Mais Provável.

Assim, a tomada de decisão para implantar ou não uma unidade de desinfecção do efluente dependerá do uso preponderante do corpo receptor. No presente estudo o corpo receptor é o Rio Marmeleiro/PR, onde verifica-se que não há contato primário em ponto jusante ao lançamento dos efluentes da ETE, não se fazendo necessário a desinfecção do mesmo conforme a Resolução SEMA n° 021/09 (PARANÁ, 2009).

A desinfecção mais empregada atualmente faz uso do cloro, onde poderá favorecer a formação subprodutos mais nocivos ao meio ambiente. Entretanto, sabe-se do potencial impactante dos coliformes termotolerantes pode vir a causar no corpo hídrico, demonstrando a real importância de buscar tecnologias capazes de promover a desinfecção do efluente sem deixar residual.

Nos processos avaliados de fotólise com peróxido de hidrogênio ($\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$), tanto no EB como no ET, obtiveram-se resultados satisfatórios, apresentando uma eficiência de desinfecção de 100%, indicando a ausência de coliformes termotolerantes em 100 mL da amostra, resultado esse que pode estar relacionado ao poder oxidante do H_2O_2 .

O peróxido de hidrogênio apresenta uma grande eficácia bactericida e tem sido demonstrada no tratamento de águas e alimentos, sendo os organismos gram-negativos mais suscetíveis à ação deste agente. A ação antimicrobiana está relacionada com a habilidade do H_2O_2 em formar espécies oxigenadas reativas, tais como os radicais hidroxila ($^*\text{OH}$) e superóxido (O_2^{*-}). Esses radicais podem danificar o DNA microbiano, bem como os componentes da membrana celular (SCHURMAN, 2001).

O tratamento submetendo o ET a fotocatalise heterogênea (TiO_2/UV), apresentou uma remoção de cerca de 84% nesse parâmetro. Porém para os demais testes não foi constatado inativação de coliformes termotolerantes.

5.3. AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DOS PROCESSOS

A Tabela 6 apresenta os resultados da eficiência na remoção de DQO, bem como DBO_5 , e os valores de biodegradabilidade (DQO/DBO_5) obtidos para o efluente bruto (EB) da ETE, em relação aos tratamentos empregando os POAs. Verifica-se que houve uma eficiência considerável na remoção da demanda química de oxigênio (DQO), principalmente no tratamento envolvendo a fotocatalise heterogênea com o TiO_2 como catalisador, apresentando uma remoção de cerca de 58% nesse parâmetro. Já no que diz respeito à remoção de demanda bioquímica de oxigênio (DBO_5), obteve-se uma maior eficiência (74%) no tratamento empregando a fotólise com o peróxido de hidrogênio ($\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$).

Tabela 6 – Eficiência e biodegradabilidade para os tratamentos avaliados com o efluente bruto (EB).

Tratamentos	DQO (mgO ₂ /L)	DBO ₅ (mgO ₂ /L)	Eficiência remoção DQO (%)	Eficiência remoção DBO ₅ (%)	Biodegradabilidade (DQO/DBO ₅)
EB	332,24	380,87	-	-	0,90
EB/UV	304,65	154,32	8,3	59	1,97
EB/H ₂ O ₂ /UV	324,09	97,84	2,45	74	3,31
EB/TiO ₂ /UV	139,73	110,34	57,94	71	1,26

Fonte: Autor (2018).

Em relação à biodegradabilidade observa-se que de acordo com as comparações apresentadas na Tabela 1 propostas por Von Sperling (2005) exceto no processo H₂O₂/UV, não houve diminuição da biodegradabilidade dos tratamentos em relação à amostra inicial, os quais apresentaram uma relação DQO/DBO₅ inferior a 2,5, indicando uma fração biodegradável elevada onde os efluentes poderiam ser facilmente degradados por tratamento biológico.

Na Tabela 7 estão apresentados os resultados obtidos para o efluente tratado pela ETE (ET), em relação aos tratamentos empregando os POAs. Observa-se que ocorreu uma remoção significativa na DQO, nos processos testados, exceto para que utilizou-se o H₂O₂, onde houve um aumento do valor de DQO, isso pode estar relacionado a possível formação de produtos intermediários no período reacional. Da mesma forma não foi possível determinar a DBO₅, indicando uma possível interferência do H₂O₂ na determinação final desses parâmetros. O processo envolvendo a fotocatalise heterogênea (TiO₂/UV) apresentou a maior remoção de ambos os parâmetros, atingindo eficiência de cerca de 45% para DQO e 48% para DBO₅.

Tabela 7 – Eficiência e Biodegradabilidade para os tratamentos realizados com o efluente tratado (ET).

Tratamentos	DQO (mgO ₂ /L)	DBO ₅ (mgO ₂ /L)	Eficiência remoção DQO (%)	Eficiência remoção DBO ₅ (%)	Biodegradabilidade (DQO/DBO ₅)
ET	70,72	118,19	-	-	0,60
ET/UV	56,21	77,48	20,52	34	0,73
ET/H ₂ O ₂ /UV	198,44	-	-	-	-
ET/TiO ₂ /UV	38,79	61,43	45,15	48	0,63

Fonte: Autor (2018).

Na correlação DQO/DBO₅ para conhecimento da biodegradabilidade, constatou-se que o tratamento empregando apenas a fotólise direta (UV) e a fotocatalise heterogênea (TiO₂/UV) não diminuíram a biodegradabilidade dos efluentes, evidenciando a presença de uma fração biodegradável elevada (<2,5) sendo possível o seu tratamento por processos biológicos.

5.4. AVALIAÇÃO DA TOXICIDADE

5.4.1. Bioensaio com *Artemia salina* L.

Os bioensaios utilizando a espécie *A. salina* evidenciam a toxicidade aguda das amostras, referente ao efeito que agentes podem causar a organismos vivos, efeito este que se manifestam rapidamente e de forma severa (DEZOTTI et al., 2008).

Os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 8 (EB) e 9 (ET). Os dados para o EB mostram que todos os efluentes foram tóxicos para a *A. salina*, apresentando mortalidade média estatisticamente maior que o controle salino. Entretanto, o processo utilizando a fotocatalise heterogênea com o TiO₂ como catalisador, apresentou média de organismos mortos estatisticamente menor e diferente do efluente bruto e dos demais tratamentos, indicando melhor eficiente deste em relação à redução da toxicidade para *A. salina*.

Além disso, de acordo com Cunha (2011), a amostra apresenta-se tóxica ao bioindicador *A. salina*, se a mortalidade for de, pelo menos 80%. Neste caso a amostra do EB submetida ao tratamento de fotocatalise heterogênea

(TiO₂/UV) apresentou taxa de mortalidade igual a 77% e, considerando o proposto pelo autor, essa não apresentou-se tóxica ao bioindicador *A. salina*.

Vale destacar ainda que os POAs aplicados ao efluente bruto reduziram seus parâmetros físico-químicos e microbiológicos, como discutido anteriormente, mas não resultaram na formação de subprodutos tóxicos ao bioindicador *A. salina*.

Tabela 8 – Número individual e médio de organismos mortos e percentual de mortalidade (%) para o efluente bruto (EB) e os tratamento com UV, H₂O₂/UV e TiO₂/UV.

Grupo	Concentração	Mortalidade	%	Média / Desvio Padrão
Controle Salino	100%	3	26,70	2,67±0,58 a
		3		
		2		
EB	100%	10	96,70	9,67±0,58 b
		9		
		10		
EB/UV	100%	10	96,7	9,67±0,58 b
		10		
		9		
EB/H ₂ O ₂ /UV	100%	10	100	10,00±0,00 b
		10		
		10		
EB/TiO ₂ /UV	100%	8	76,70	7,67±0,58 c
		7		
		8		

Fonte: Autor (2018).

Letras iguais indicam médias estatisticamente iguais pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de significância (n=3).

Com relação ao efluente tratado pela ETE (ET) e os processos avaliados com os diferentes POAs (UV, H₂O₂/UV, TiO₂/UV) (Tabela 9), pode-se verificar que todos os tratamentos foram tóxicos para a *A. salina*, pois apresentaram mortalidade média estatisticamente maior e diferente do controle negativo com solução salina.

Entretanto, considerando que com os POAs não foram estatisticamente diferentes do tratamento com o ET, estes não criaram subprodutos mais tóxicos quando comparados à amostra inicial.

Tabela 9 – Número individual e médio de organismos mortos e percentual de mortalidade (%) para o efluente tratado pela ETE (ET) e os tratamentos com UV, H₂O₂/UV e TiO₂/UV.

Grupo	Concentração	Mortalidade	%	Média / Desvio Padrão Teste de Tukey Tukey ($\alpha=0,05$; n=3)
Controle Salino	100%	3	26,7	2,67±0,58 a
		3		
		2		
ET	100%	10	96,7	9,67±0,58 b
		10		
		9		
ET/UV	100%	9	90	9,00±1,00 b
		10		
		8		
ET/H ₂ O ₂ /UV	100%	10	100	10,00±0,00 b
		10		
		10		
ET/TiO ₂ /UV	100%	8	90	9,00±1,00 b
		10		
		9		

Fonte: Autor (2018).

Letras iguais indicam médias estatisticamente iguais pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de significância (n=3).

Para Figueiredo et al. (2013) os testes utilizando a *A. salina* como organismo indicador são úteis, baratos e de fácil execução e podem ser utilizados para análise preliminar da toxicidade das amostras, sendo recomendado testes mais específicos para determinar de fato a existência de substâncias tóxicas na amostra.

Os bioensaios utilizados para analisar a toxicidade, podem ser considerados como uma alternativa complementar as análises físico-químicas, uma vez que muitos destas análises não são capazes de detectar certas toxinas, bem como o efeito que eles causam nos organismos, sendo este o objetivo principal destes testes (RODRIGUES, 2012).

5.4.2. Bioensaio com *Allium cepa* L. (cebola)

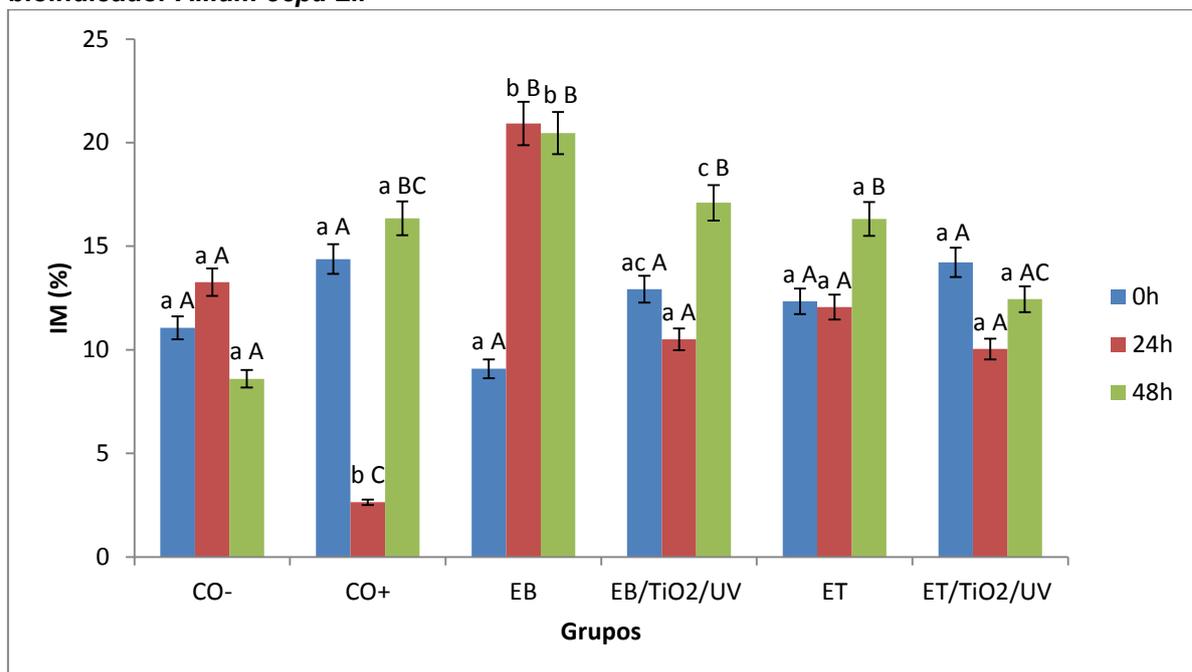
Os testes citogenéticos propiciam a compreensão dos diversos efeitos combinados de substâncias tóxicas e mutagênicas sobre os organismos-teste e demonstram ser eficientes quando empregados no biomonitoramento da extensão de uma poluição (MORAES, 2000).

Alguns vegetais têm sido apontados como excelentes organismos indicadores de efeitos genotóxicos e mutagênicos em ambientes com presença de substâncias químicas (SHARMA; PANNEERSELVAN, 1990). Assim, bioensaios utilizando esse grupo de organismos são úteis para avaliar amostras ambientais complexas, como o esgoto (GROVER; KAUR, 1999).

A Figura 10 apresenta os resultados obtidos para os Índices Mitóticos médios para os controles bem como para cada amostra avaliada, obtidos no bioensaio com o bioindicador *A. cepa*.

Os dados mostram que o EB se mostrou citotóxico a *A. cepa*, pois apresentou média de índice mitótico estatisticamente diferente do controle negativo (CO- 24h), assim como do controle do próprio bulbo (EB 0h), com estímulo da proliferação celular. Isto pode ser explicado pelas características físico-químicas do efluente, onde observou-se uma elevada quantidade de nutrientes como nitrogênio e fósforo (Tabela 3), sendo estes macronutrientes essenciais para crescimento vegetal. Além disso, no tempo de 48h, o qual serve para verificar a resiliência do organismo-teste depois de exposto à amostra, o EB 24h demonstrou média estatisticamente igual ao EB 48h, evidenciando assim que a *A. cepa* não conseguiu se recuperar dos danos causados pela exposição ao efluente bruto da ETE (EB). Desta forma, caso este efluente fosse descarregado em um corpo hídrico sem tratamento, mesmo após a autodepuração do ambiente, as espécies expostas continuariam se proliferar, resultando em eutrofização do meio ou desenvolvimento de tumores nas espécies vegetais. Segundo Fernandes et al. (2007), o potencial citotóxico é relacionado com o aumento ou diminuição do Índice Mitótico (IM). Para Bonomo (2014) o IM reflete diretamente os níveis de proliferação celular, consistindo em um parâmetro importante para avaliar a taxa de crescimento radicular das plantas.

Figura 10 – Percentuais dos do Índices Mitóticos médios e desvios-padrões para os grupos controle negativo (CO-) e positivo (CO+) e tratados com o efluente bruto (EB) e tratado (ET) da ETE e tratados com a fotocatalise heterogênea (TiO₂/UV) com o bioindicador *Allium cepa* L..



Fonte: Autor (2018).

Letras minúsculas iguais indicam médias estatisticamente iguais dentro do mesmo grupo para cada tempo (0h, 24h e 48h) e letras maiúsculas iguais indicam médias estatisticamente iguais entre os diferentes grupos dentro de cada tempo pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância (n=5).

Contudo, os valores obtidos para o tratamento empregando a fotocatalise heterogênea (TiO₂/UV) no EB, mostram que o POA conseguiu reduzir significativamente a citotoxicidade da amostra em questão, onde o EB/TiO₂/UV apresentou média estatisticamente igual ao controle negativo (CO-24h) e também do controle do seu próprio bulbo (EB 0h).

O tratamento com o ET e ET/TiO₂/UV não foram citotóxicos a espécie estudada (Figura 10), apresentando médias estatisticamente iguais ao controle negativo em todos os tempos analisados. Cabe ressaltar que no tempo 24h o efluente tratado pelos processos convencionais da ETE (ET), apresentou média estatisticamente igual ao processo empregando a fotocatalise heterogênea (ET/TiO₂/UV), porém o ET demonstrou uma média de IM ligeiramente maior quando comparado com o tratamento fotocatalítico, evidenciando que esse tratamento em questão poderá devolver ao corpo receptor um efluente de melhor qualidade.

A Tabela 10 contém os dados obtidos para o Índice de Mutagenicidade médio das amostras iniciais e tratadas pela fotocatalise heterogênea, bem como apresenta os tipos de alterações encontradas nas fases de divisão celular.

Os dados mostram que a única amostra que apresentou potencial mutagênico para o bioindicador *A. cepa* foi o efluente bruto da ETE (EB), onde no tempo de contato com a amostra (EB 24h) apresentou percentuais médios de mutagenicidade estatisticamente diferente do controle negativo (CO- 24h) e também do controle do seu próprio bulbo (EB 0h). Entretanto, a amostra EB após passar pelo processo de fotocatalise heterogênea não apresentou potencial mutagênico no organismo-teste. Estes dados esses corroboram com as informações apresentadas na Figura 10, onde observou-se que o EB após passar pelo tratamento fotocatalítico não apresentou citotoxicidade. Sugerindo assim que, além de conseguir diminuir os parâmetros físico-químicos e eliminar o potencial citotóxico e mutagênico do efluente bruto (EB), o POA não formou subprodutos ainda mais letais ao bioindicador *A. cepa*.

A análise dos principais tipos de alterações cromossômicas encontradas (Tabela 10) e visualizadas na Figura 11, mostram grande incidência sobre as fases mitóticas da metáfase e anáfase. Assim, é possível que os agentes mutagênicos tenham atuado sobre a formação das fibras do fuso, seja impedindo sua formação ou sua união ao cromossomos, resultando na formação incorreta da placa metafásica e/ou a não-separação ou não-disjunção ordenada das cromátides-irmãs para os pólos da célula.

Tabela 10 – Tipos e números totais de alterações e índice de mutagenicidade (%) obtidas para o grupo controle negativo, controle positivo e os grupos tratados com o efluente bruto (EB) e tratado (ET) pela ETE bem como para as reações envolvendo a fotocatalise heterogênea (TiO₂/UV).

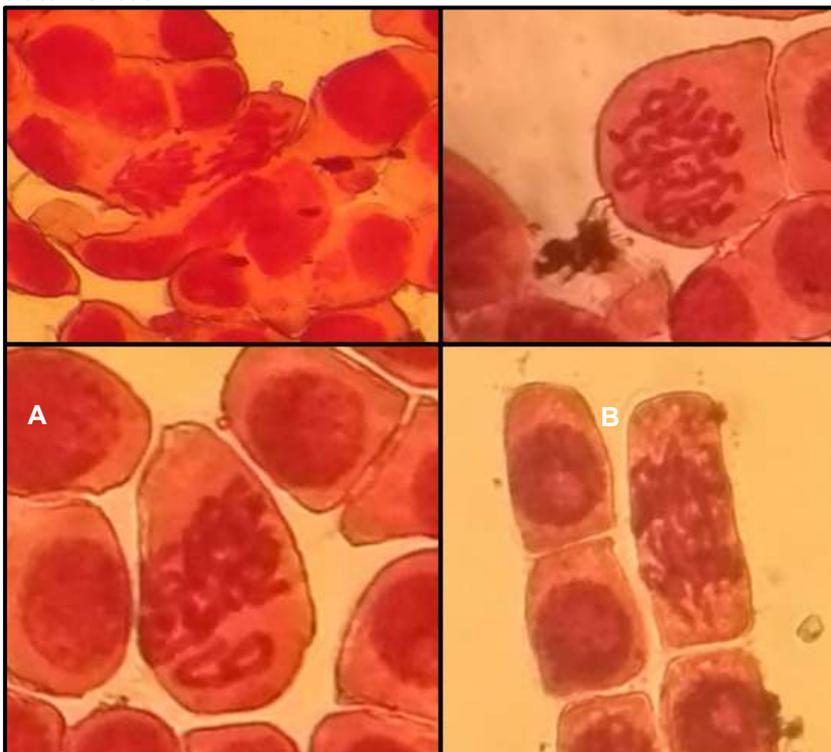
Grupos/tempo		Fases da Mitose						Total de Alterações	Índice de Mutagenicidade (%)
		Metáfase			Anáfase				
		D	CS	MC	D	CS	P		
Controle Negativo	0h	0	0	0	1	1	0	2	0,04 a A
	24h	1	1	1	6	0	1	10	0,20 a A
	48h	2	0	2	1	0	3	8	0,16 a A
Controle Positivo	0h	1	0	0	1	0	0	2	0,04 a A
	24h	0	0	0	0	0	0	0	0,00 a A
	48h	16	1	4	0	0	0	21	0,42 a A
EB	0h	0	0	0	0	0	0	0	0,00 a A
	24h	32	17	0	13	0	7	69	1,38 b B
	48h	9	4	14	5	0	4	36	0,72 ab A
EB/TiO ₂ /UV	0h	6	2	1	4	2	2	17	0,34 a A
	24h	2	0	0	2	0	0	4	0,08 a A
	48h	0	2	0	5	0	0	7	0,14 a A
ET	0h	6	0	2	4	0	0	12	0,24 a A
	24h	11	1	6	5	0	2	25	0,50 a A
	48h	9	0	0	7	0	9	25	0,50 a A
ET/TiO ₂ /UV	0h	4	0	0	0	0	0	4	0,08 a A
	24h	3	0	2	3	0	0	8	0,16 a A
	48h	23	4	0	0	0	2	29	0,58 a A

Fonte: Autor (2018).

MC= Metáfase colchicínica; D= Desorganizada; CS= Cromossomo Solto; P= Com ponte.

Letras minúsculas iguais indicam médias estatisticamente iguais dentro do mesmo grupo para cada tempo (0h, 24h e 48h) e letras maiúsculas iguais indicam médias estatisticamente iguais entre os diferentes grupos dentro de cada tempo pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância (n=5).

Figura 11 – Alterações cromossômicas observadas em *Allium cepa* L. após diferentes tratamentos.



Fonte: Arquivo pessoal (2018).

A= Anáfase com ponte; B= Metáfase colchicínica; C Metáfase desorganizada com cromossomo solto; D= Anáfase desorganizada.

6. CONCLUSÃO

Os processos fotocatalíticos se mostraram eficientes no tratamento dos resíduos líquidos da Estação de Tratamento de Esgoto do município de Marmeleiro – PR, sendo que os tratamentos envolvendo a fotocatalise heterogênea (TiO_2/UV) e a fotólise do peróxido de hidrogênio ($\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$) se mostram mais satisfatórias.

Além disso, a aplicação da fotocatalise heterogênea no efluente bruto da ETE (EB) alcançou valores na remoção de matéria orgânica e nutrientes muito próximos ao tratamento convencional empregado pelo ETE, inclusive em alguns desses parâmetros se mostraram mais eficientes. Além do mais, quando aplicada ao efluente tratado pela ETE (ET), foi capaz de reduzir ainda mais os parâmetros físico-químicos. Nas análises microbiológicas obteve-se eficiência de 100% na inativação de coliformes termotolerantes para os processos envolvendo a fotólise do peróxido de hidrogênio ($\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$). Apesar de ser reconhecido o potencial de desinfecção do H_2O_2 , poucos estudos de aplicação têm sido publicados.

As análises de toxicidade comprovaram que nas reações fotocatalíticas avaliadas não houve a formação de subprodutos tóxicos, sendo que, para a *A. salina* o EB/ TiO_2/UV não apresentou efeito tóxico. Os bioensaios frente à *A. cepa* indicaram que além de não ter ocorrido a formação de subprodutos, a fotocatalise heterogênea teve o potencial de diminuir os efeitos citotóxicos e mutagênicos do efluente bruto (EB).

Evidenciando assim que, os POAs poderiam tanto ser usados como um tratamento alternativo ao tratamento convencional, tendo como vantagem a não formação do lodo, o qual necessitará de uma disposição final ambientalmente adequada, e degradaria os poluentes, não realizando apenas uma transferência de fase. Assim como se mostraram muito úteis como um tratamento complementar ao processo convencional, devolvendo um efluente de melhor qualidade para o corpo receptor, corroborando com a proteção do meio ambiente e promoção da saúde pública.

Sugere-se para estudos futuros que, verifique-se qual a melhor forma de utilização do catalisador, tendo em vista a dificuldade de recuperação do mesmo nas amostras do presente estudo. Ou então, que a filtração à vácuo

seja seguida por uma centrifugação, afim de evitar a interferência desse em algumas análises. Outra sugestão seria, a verificação da eficiência de um processo fazendo o uso conjunto do catalisador (TiO_2) e o peróxido de hidrogênio (H_2O_2) e radiação ultravioleta (UV), constituindo assim um sistema $\text{TiO}_2/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$, considerando a alta eficiência obtida nos processos individuais.

7. REFERÊNCIAS

AISSE, M. M. et al. Estudo comparativo do Reator UASB e do Reator Anaeróbio Compartimentado Sequencial no Tratamento de Esgoto Sanitário. **XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental**, 2000. Disponível em: <http://intranetdoc.epagri.sc.gov.br/producao_tecnico_cientifica/DOC_3688.pdf> Acesso em: 12 out. 2018.

ALATON, Idil Arslan; BALCIOGLU, Isil Akmehmet; BAHNEMANN, Detlef W. Advanced oxidation of a reactive dye bath effluent: comparison of O₃, H₂O₂/UV-C and TiO₂/UV-A processes. **Water Research**, v. 36, n. 5, p. 1143-1154, 2002.

ALVES, L. M. C. **Qualidade da água de múltiplos usos na microrregião de Itapecuru-Mirim-MA**. Tese – Medicina Veterinária, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias - UNESP, Campus de Jaboticabal, 2010.

AMORIM, S. M., et al. **Desenvolvimento de tintas fotocatalíticas com estabilidade aumentada utilizando fotocatalisadores à base de microesferas de dióxido de titânio**. 2017. 126f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017. Disponível em: < <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/178988/347263.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 26 out. 2018.

ANTONELO, D. I. ; DUSMAN, E. ; MANOSSO, F. C. ; TONIAL, I. B. ; RESTREPO, J. C. P. S.; SAUER, T. P. Caracterização físico-química e avaliação da toxicidade de efluentes industriais e das águas de Rios, usando como bioindicadores *Allium cepa* L. e *Artemia* sp. In: XXI Seminário de Iniciação Científica e tecnológica da UTFPR, 2016, Francisco Beltrão. **Anais**. 2016.

APHA. **Standard Methods for the examination of water and wastewater**. 20. ed. Washington DC: APHA, 1998.

APHA. **Standard Methods for the examination of water and wastewater**. 21. ed. Washington DC: APHA, 2005.

ASSALIN, Marcia Regina et al. **Aplicação da fotólise e fotocátalise heterogênea na desinfecção de águas contaminadas com E. coli**. 69 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 2001.

BAHNEMANN, D. Photocatalytic water treatment: solar energy applications. **Solar energy**, v. 77, n. 5, p. 445-459, 2004.

BLANCO, J. et al. . Review of feasible solar energy applications to water processes. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 2008.

BRASIL. Ministério Do Meio Ambiente. Conselho Nacional Do Meio Ambiente, CONAMA. Resolução nº 357 de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**. Brasília, 18 mar. 2005.

BRASIL. Ministério Do Meio Ambiente. 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 CONAMA nº 357. **Diário Oficial da União**. Brasília, 16 mai. 2011.

BRASIL. **Portaria nº 2.914 de 12 de dezembro de 2011**. Ministério da Saúde. Brasília, 2011

BONOMO, M. M.; **Efeitos citogenéticos, bioquímicos, morfológicos e anatômicos da aplicação de lodo de esgoto higienizado em caricapapaya I**. 2014. 86 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Biologia Vegetal, Biologia Vegetal, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2014.

BORRELY, S.I. **Redução da toxicidade aguda de efluentes industriais e domésticos tratados por irradiação por feixes de elétrons avaliada com as espécies *V. fischeri*, *D. similis* e *P. reticulata***. Tese (Doutorado) — Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo, 2001.

BRITO, N. N. D.; SILVA, V. B. M. Processos oxidativos avançados e sua aplicação ambiental. **Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, v. 1, n. 3, p. 36-47, 2012.

CAMPOS, J. R. **Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo**, Rio de Janeiro: ABES, 464p., 1999.

CARITÁ, R.; MARIN MORALES, M. A. **Efeito genotóxico e mutagênico de amostras de águas coletadas em rios que recebem efluentes urbanos e industriais de um pólo ceramista por meio do sistema-teste *Allium cepa***. Universidade Estadual Paulista (UNESP), Rio Claro, 2010.

CAYRES, V.P. **Processo de degradação e adsorção de compostos orgânicos aromáticos em água residual e efluente da indústria do petróleo**. 2006. 79f. Dissertação (Mestrado em Química dos Recursos Naturais) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina. 2006. Disponível em: <<http://livros01.livrosgratis.com.br/cp033641.pdf>>. Acesso em: 05 nov. 2017. CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Qualidade das águas interiores no estado de São Paulo**: Significado ambiental e sanitário das variáveis de qualidade das águas e dos sedimentos e metodologias analíticas e de amostragem. Série Relatórios. 2009.

CETESB, Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/agua/%C3%81guas-Superficiais/34-Vari%C3%A1veis-de-Qualidade-das-%C3%81guas#temperatura>>. Acesso em: 11 out. 2018.

CIOLA, R. **Fundamentos da catálise**. 1º ed. Editora da Universidade de São Paulo, 377 p, 1981.

COELHO, D. A.; SILVA, P. M. F.; VEIGA, S. M. O. M.; FIORINI, J. E. Avaliação da qualidade microbiológica de águas minerais comercializadas em supermercados da cidade de Alfenas, MG. **Revista Higiene Alimentar**, São Paulo, v. 21, n. 151, p. 88-92, 2007

COMPANHIA CATARINESE DE ÁGUA E SANEAMENTO (CASAN). Disponível em: <<http://www.casan.com.br/menu-conteudo/index/url/ete-estacao-de-tratamento-de-esgotos-sanitarios#0>>, Acesso em: 01 nov. 2018.

COSTA, C.R.; *et al.*. A Toxicidade em ambientes Aquáticos: Discussão e Métodos de Avaliação. **Revista Química Nova**, v. 31, n. 7, p. 1820-1830, 2008.

CUNHA, B.M. **Avaliação Ecotoxicológica de Distintos Dipos de Efluentes Mediante Ensaio de Toxicidade Aguda Utilizando *Artemia salina* e *Lactuca sativa***. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Química). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 42f, 2011.

DAVIS, A. P.; HUANG, C. P. Removal of phenols from water by a photocatalytic oxidation process. **Water Science & Technology**, v. 21, p. 455-464, 1989.

DEZOTTI, M. **Processos e técnicas para o controle ambiental de efluentes líquidos**. Rio de Janeiro : E-papers, 2008.

DIAS, A; AIRES, C.; SILVA, M; CATARINO, R; **Testes de toxicidade em Artemia salina: Contaminante (K₂CrO₇) e efluentes químicos (tratado e não tratado)**. Universidade do Algarve, Faculdade de Ciências do Mar e do Ambiente. Faro, 2002.

DIAS, F. F. S.. **Aplicação de processo oxidativos avançados em diferentes reatores no tratamento de efluente contaminado com corante Remazol Preto B com otimização e análise de custos**. 2013. 165f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2013. Disponível em: < <http://repositorio.ufpe.br/bitstream/handle/123456789/10401/TESE%20Fernando%20Ferreira%20da%20Silva%20Dias.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 16 ago. 2018.

DORNFELD, C. B. *et al.* **Caracterização Ecotoxicológica do Sedimento da Represa do Lobo (Itirapina-Brotas, SP) e seus Tributários**. In: ESPINDOLA, E. L. G., ed. Impactos Ambientais em Recursos Hídricos: Causas e Consequências. Editora Rima. p. 245-259, 2001.

FEDALA, N. et al. RETRACTED: Physical parameters affecting coagulation of turbid water with *Opuntia ficus-indica* cactus. **Ecological Engineering**, v. 77, p.33-36, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2015.01.007>>. Acesso em: 15 ago. 2018.

FERNANDES, T.C.C.; MAZZEO, D.E.C.; MARIN-MORALES, M.A. Mechanism of micronuclei formation in polyploidized cells of *Allium cepa* exposed to trifluralin herbicide. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, San Diego, v.88, n.3, p. 252-259, 2007

FERNANDEZ, A. T.; SANTOS, V. C. Avaliação de parâmetros físico-químicos e microbiológicos da água de abastecimento escolar, no município de Silva Jardim, RJ. **Revista Higiene Alimentar**, São Paulo, v. 21, n. 154, p. 93-98, 2007.

FERNÁNDEZ-IBÁÑEZ, P. et al. Application of the colloidal stability of TiO₂ particles for recovery and reuse in solar photocatalysis, **Water Research**, 37, 3180-3188, 2003.

FIGUEIREDO, R. F. et al. Avaliação da toxicidade e análise microbiológica de águas minerais de Caxambu – MG. **Revista pesquisa inovação farmacêutica**, São Paulo, v.5, n.1, p.23-30, 2013.

FISKESJÖ, G. The Allium test as a standard in environmental monitoring. **Hereditas**, v.102, n° 1, p. 99-112, 1985.

FREIRE, R. S.; PELEGRINI, R.; KUBOTA, L. T.; DURÁN, N.; PERALTA-ZAMORA, P. Novas técnicas para o tratamento de resíduos industriais contendo espécies organocloradas. **Química Nova**, v.23, p.504-511, 2000.
FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE – FUNASA. **Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAS**. Brasília, 2014. Disponível em: <http://www.funasa.gov.br/site/wp-content/files_mf/manualcont_quali_agua_tecnicos_trab_emetas.pdf>. Acesso em: 07 set. 2018.

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE – FUNASA. **Manual de saneamento**. 3 ed. Brasília, 2004 Disponível em: <http://bvsmis.saude.gov.br/bvs/publicacoes/manual_saneamento_3ed_rev_p1.pdf>. Acesso em: 10 set. 2018.

GÁLVEZ, J. B.; RODRÍGUEZ, S. M., GASCA, C. A. E.; BANDALA, E. R.; GELOVER, S.; LEAL, T. Purificación de aguas por fotocátalisis heterogénea: estado del arte. In: CYTED. **Eliminación de Contaminantes por Fotocátalisis Heterogénea**, 2001.

GIACOBBO, A. **Biorreator à membrana aplicado ao tratamento de efluentes**. 2010. 77 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/26538>>. Acesso em: 29 out. 2018.

GREGG, S. J.; SING, K. S. W. **Adsorption, Surface Area and Porosity**. Academic Press, London, p. 121-189. 1982.

GROVER, I. S.; KAUR, S. Genotoxicity of waster samples from sewage and industrial effluent detected by the *Allium cepa* root anaphase aberration and micronucleus assay. **Mutation Research**, Amsterdam, v. 469, p. 183-18, 1999.

HAMMER, M. J.; JR HAMMER, M. J. **Water and Wastewater Technology**. 6 ed. New Jersey: Prentice Hall International Inc, 2007.

HINCAPIÉ, M. et al. Solar photocatalytic degradation and detoxification of EU priority substances. **Catalysis Today**, v. 101, n. 3, p. 203-210, 2005.

HIRVONEN, A. et al. Treatment of TCE- and PCE contaminated groundwater using UV/H₂O₂ and O₃/H₂O₂ oxidation processes. **Wat. Sci. Tech.**, v.33, p.67-73, 1996.

HOFFMANN, M. R. et al. Environmental Applications of Semiconductor Photocatalysis. **Chem. Rev.**, v.95, p.69-96, 1995.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Município de Marmeleiro, Paraná**. 2010. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pr/marmeleiro/panorama>>. Acesso em 10 out. 2017

INSTITUTO TRATA BRASIL. **Saneamento: principais estatísticas no Brasil**. Disponível em: <<http://www.tratabrasil.org.br/saneamento/principais-estatisticas/no-brasil/esgoto>> Acessado em: 25 out. 2018,

ITCG (Instituto de Terras, Cartografias e Geociências). **Geomorfologia – estado do Paraná**, 2008b. Disponível em: <http://www.itcg.pr.gov.br/arquivos/File/Produtos_DGEO/Mapas_ITCG/PDF/Mapa_Geomorfologico_A3.pdf>. Acesso em: 21 out. 2018.

ITCG (Instituto de Terras, Cartografias e Geociências). **Solos – estado do Paraná**, 2008c. Disponível em: <http://www.itcg.pr.gov.br/arquivos/File/Produtos_DGEO/Mapas_ITCG/PDF/Mapa_Solos.pdf>. Acesso em: 21 out. 2018.

ITCG (Instituto de Terras, Cartografias e Geociências). **Clima – Estado do Paraná**. 2008a. Disponível em: <http://www.itcg.pr.gov.br/arquivos/File/Produtos_DGEO/Mapas_ITCG/PDF/Mapa_Climas_A3.pdf>. Acesso em: 21 out. 2018.

JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. **Tratamento de Esgotos Domésticos**. 5. ed. Rio de Janeiro: ABES, 2009.

JUDD, S. **The MBR Book: Principles and Applications of Membrane Bioreactors for Water and Wastewater Treatment**. 2^o ed – Elsevier Ltd, Oxford, UK, 2011.

KOWALSKA, E. et al. H₂O₂/UV enhanced degradation of pesticides in wastewater. **Water Science and Technology**, v. 49, n. 4, p. 261-266, 2004.

LEME, D. M.; MARIN-MORALES, M. A. *Allium cepa* est in environmental monitoring: A review on its application. **Mutation Research**, v.682, p. 71-81, 2009.

LEME, E. J. A. **Manual prático de tratamento de águas residuárias**. 2º ed. São Carlos: Edufscar, 2014.

LETTERMAN, R. D. **Water quality and treatment: a handbook of community water supplies**. New York: McGraw-Hill, 1999.

LIBÂNIO, Marcelo. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. Átomo, 2008.

LOPES, B. C. **Efeitos da fotólise e fotocatalise sobre a dinâmica de fármacos presentes em esgoto sanitário tratado biologicamente**. 2010. 160f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídrico). Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais. 2014.

MARMELEIRO. **Prefeitura Municipal de Marmeleiro**. Município de Marmeleiro, 2017. Disponível em: <<http://www.marmeleiro.pr.gov.br/sitio/municipio-de-marmeleiro.php>>. Acessado em: 10 out. 2017.

MARMELEIRO. **Prefeitura Municipal de Marmeleiro**. 2018. Disponível em: <<http://www.marmeleiro.pr.gov.br/sitio/noticia.php?notid=552>> Acessado em: 25 out. 2018.

MATTHEWS, R. W. Photo-oxidation of organix material in aqueous suspensions of titanium dioxide. **Water Research**. v. 20, n. 5, 1986.

MEDEIROS, D. M. et al. **Estudo sobre a aplicação de wetlands construídos para o tratamento de esgoto em loteamentos, condomínios e comunidades isoladas**. 2017. 191f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2017. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/179012/348175.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 10 out. 2018.

METCALF, L.; EDDY, H. **Wastewater Engineering: Treatment and Reuse**. 4 ed. Revisado por George Tchobanoglous, Franklin L. Burton, H. David Stensel. New York: McGraw -Hill, 2003.

MIELLI, A. C. ; MATTA, M. E. M.; NERSESYAN, A.; SALDIVA, P.H.N.; UMBUZEIRO, G.A. Evaluation of the genotoxicity of treated urban sludge in the Tradescantia micronucleus assay. Mutation Research/genetic Toxicology And Environmental Mutagenesis: Elsevier. São Paulo, p. 51-54. jan. 2009.

MIERZWA, J. C., 2008, **Tratamento Avançado de Águas de Abastecimento - Desinfecção de água de abastecimento por radiação ultravioleta**, PHD Hidráulica e Sanitária, Disciplina 5750, USP, São Paulo. Disponível em: <http://200.144.189.36/phd/default.aspx?id=95&link_uc=disciplina>. Acesso em: 10 nov 2018.

MIZUTORI, I. S.; SILVA, L. P.; CORRÊA, S. M. **Caracterização da qualidade das águas fluviais em meios peri-urbanos: o caso da bacia hidrográfica do Rio Morto – RJ**. 2009. 181f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2009. Disponível em: < http://www.peamb.eng.uerj.br/trabalhosconclusao/2009/IvanSantosMizutori_2009.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2018.

MORAES, D. S. L.; JORDÃO, B. Q. **Avaliação dos potenciais tóxico, citotóxico e genotóxico de águas ambientais de Corumbá- MS em raízes de *Allium cepa***. 2000. Dissertação (Mestrado) - Curso de Genética e Melhoramento, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2000.

NOGUEIRA, R. F. P.; JARDIM, W. F. Heterogeneous photocatalysis and its environmental. **Química Nova**, v.21, n.1, p.69-72, 1998.

NUNES, J. A. **Tratamento físico-químico de águas residuárias industriais**. 6º ed. Editora J. Andrade, 2012.

PARANÁ. Secretaria Estadual do Meio Ambiente – SEMA. **Resolução n. 021, de 22 de abril de 2009**. Dispõe sobre licenciamento ambiental, estabelece condições e padrões ambientais e dá outras providências, para empreendimentos de saneamento. Curitiba, PR, 22 de abril de 2009.

PARSONS, S. **Advanced Oxidation Processes for Water and Wasterwater Treatment**. London: IWA Publishing, 2005.

PIRES, Adriana M. M. **Uso agrícola do lodo de esgoto: Aspectos legais**. EMBRAPA: Meio Ambiente, p4, Jaguariúna, 2006.

PIVELI, R. P. Curso: “Qualidade das Águas e Poluição: Aspectos Físico-Químicos”. **Notas de aula, EEUSP**, 2001.

PROGRAMA DE SANEAMENTO BÁSICO – PROSAB. **Tratamento e Utilização de Esgotos Sanitários**. Rio de Janeiro: ABES, 2006. Disponível em: < https://www.finep.gov.br/images/apoio-e-financiamento/historico-de-programas/prosab/Esgoto-Prosab_-_final.pdf>. Acesso em: 17 ago. 2018.

RAMOS, D. D. **Estudo da degradação fotocatalítica do metilviologênio em nanopartículas de TiO₂ e TiO₂/Ag**. Tese (Doutorado em Química), Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2012.

RODRIGUES, L. C. A. **Toxicidade da água e sedimento do córrego do pântano, ALFENASMG: um estudo temporal e espacial**. 2012. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Tecnologia Ambiental) - Universidade Federal de Alfenas. Alfenas, 2012.

RODRIGUES, M. K. C. **Projeto, instalação e operação de reator de leito fixo para fotocatalise heterogênea**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. 2017. Disponível em: < https://monografias.ufrn.br/jspui/bitstream/123456789/4217/1/Projetoinstalacao_Monografia>. Acesso em: 12 out. 2018.

RUTHVEN, D. M. **Principles of Adsorption and Adsorption Process**. John Wiley & Sons, U.S.A., 1984.

SANEPAR – Companhia de Saneamento do Paraná. **SANEPAR em números**. Disponível em: < <http://site.sanepar.com.br/a-sanepar/sanepar-em-numeros>> Acessado em: 25 out. 2018.

SANTOS, A. B. **Avaliação técnica de sistemas de tratamento de esgotos**. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, 206p, 2007.

SAUER, T. **Degradação fotocatalítica de corante e efluente têxtil**, 2002. 124f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) Programa de Pós Graduação em Engenharia Química, UFSC, Florianópolis, 2002.

SAUER, T. **Tratamento de efluentes de curtume através do processo combinado de degradação fotocatalítica seguida por adsorção em carvão ativado**. 2006. 279f. Tese (Doutorado em Engenharia Química). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, UFSC, Florianópolis, 2006.

SCHNEIDER, R. P.; TSUTIYA, M. T. **Membranas Filtrantes para o tratamento de água, esgoto e água de reúso**. 1ª ed, ABES, São Paulo, 2001.

SCHURMAN, J. J., (2001). Antibacterial activity of hydrogen peroxide against *Escherichia coli* O157:H7 and *Salmonella spp.* in fruit juices, both alone and in combination with organic acids. **Master of Science**, Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University.

SILVA, A. M. **Avaliação da qualidade do rio São Lourenço, SP, sob influência de estações de tratamento de água e estações de tratamento de esgoto**. 176 f. Tese – Instituto de Pesquisa Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo, 2008.

SILVA, L. P. **Modificação e imobilização de TiO₂ visando a degradação de compostos orgânicos poluentes via o processo de fotocatalise heterogênea**. 2007. 115f. Dissertação (Mestrado em Química) – Instituto de Química, USP, 2007.

SHARMA, C. B. S. R.; PANNEERSELVAN, N. Genetic toxicology of pesticides in higher plant systems. **Crit. Ver. Plant. Sci.**, v. 9, p. 409-442, 1990.

SOUZA, B. M. **Avaliação de processos oxidativos avançados acoplados com carvão ativado granulado com biofilme para reuso de efluentes de refinaria de petróleo**. 2010. 160f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2010.

TEIXEIRA, C. P. A. B.; JARDIM, W. F. Processos oxidativos avançados: conceitos teóricos. **Caderno temático**, v. 3, p. 83, 2004.

THIEL, N. A. et al. Avaliação da qualidade de água para abastecimento público do município de Marmeleiro – PR. In: Congresso Nacional de Meio Ambiente, XIII, 2016, Poços de Caldas. **Anais**. 2016. 7 p.

TUNDISI, José Galizia. Recursos hídricos no futuro: problemas e soluções. **Estudos avançados**, v. 22, 2008.

VANZELLA, T. P. Efeitos genotóxicos e mutagênicos da fração solúvel do óleo diesel em uma espécie de peixe neotropical. 2006. 92 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Genética e Biologia Celular, Ciências Biológicas, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2006

VALLEJO, M. et al. Overview of the PCDD/Fs degradation potential and formation risk in the application of advanced oxidation processes (AOPs) to wastewater treatment. **Chemosphere**, v. 118, p. 44-56, 2015.

VINODGOPAL, K.; PELLER, J.; MAKOGON, O.; KAMAT, P.V., Ultrasonic mineralization of reactive textile azo dye, Remazol Black B. **Water Research**, v.32, 1998.

VON SPERLING, M. **Princípios do tratamento biológico de águas residuária – Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Vol. 1. 3º ed. Editora UFMG, 2005.

WEF – Water Environment Federation; American Society of Civil Engineers - ASCE; Environmental Water Resources Institute - EWRI. **Biological nutrient removal (BNR) operation in wastewater treatment plants** (ASCE/EWRI Manuals and Reports on Engineering Practice). McGraw-Hill, New York. 2005.

WHO (World Health Organization). **Guidelines for Drinking-Water Quality**, 2º ed. v. 1, Geneva: WHO, 1998.

ANEXOS

Anexo 1 – Tabela dos Índices mitóticos (IM), parciais e médio total, número total de células em diferentes fases do ciclo celular, obtidos para cada bulbo e diferentes grupos em células de raiz de *Allium cepa* L., grupo controle negativo (CO-), controle positivo (CO+) e tratados com os efluentes bruto (EB) e tratado (ET) da ETE bem como para os tratamento fotocatalítico (TiO₂/UV) avaliado. Tempo de 0h (Co).

Grupos	Cebolas	Total de Células	IM %	Número de Células				
				I	P	M	A	T
CO-	1	1000	11,1	889	74	12	18	7
	2	1000	7,6	924	70	1	3	2
	3	1000	15,6	844	111	23	15	7
	4	1000	11,1	889	99	4	7	1
	5	1000	9,9	901	90	4	2	3
	To	5000	11,06	4447	444	44	45	20
CO+	1	1010	14,6	854	125	7	3	11
	2	1086	12,4	876	91	17	9	7
	3	1000	16,2	838	100	15	27	20
	4	1000	14,4	856	109	7	14	14
	5	1000	14,3	857	96	12	10	24
	To	5000	14,38	4281	521	58	63	76
EB	1	1000	7,1	929	42	4	2	23
	2	1000	13,0	870	43	17	19	51
	3	1000	8,4	916	40	10	8	26
	4	1000	8,6	914	45	8	6	27
	5	1000	8,3	917	41	10	7	25
	To	5000	9,08	4546	211	49	42	152
EB/TiO ₂ /UV	1	1000	14,8	850	43	17	31	59
	2	1000	11,3	887	38	21	31	23
	3	1000	14,5	855	40	16	31	58
	4	1000	11,0	891	38	17	30	24
	5	1000	13,0	870	43	14	31	42
	To	5000	12,92	4353	202	85	154	206
ET	1	1000	12,1	879	61	15	16	29
	2	1000	13,8	862	58	19	21	40
	3	1000	11,0	889	50	14	17	30
	4	1000	12,2	878	57	14	20	31
	5	1000	12,6	874	55	17	19	35
	To	5000	12,34	4382	281	79	93	165
ET/TiO ₂ /UV	1	1000	15,6	844	70	16	10	60
	2	1000	12,9	871	60	11	8	50
	3	1000	14,1	859	65	13	8	55
	4	1000	14,6	854	60	16	10	60
	5	1000	13,9	861	70	11	8	50
	To	5000	14,22	4289	325	67	44	275

Fonte: Autor (2018).

I: Interfase, P: Prófase, M: Metáfase, A: Anáfase e T: Telófase.

Anexo 2 – Tabela dos Índices mitóticos (IM), parciais e médio total, número total de células em diferentes fases do ciclo celular, obtidos para cada bulbo e diferentes grupos em células de raiz de *Allium cepa* L., grupo controle negativo (CO-), controle positivo (CO+) e tratados com os efluentes bruto (EB) e tratado (ET) da ETE bem como para os tratamento fotocatalítico (TiO₂/UV) avaliado. Tempo de 24h (Tr).

Grupos	Cebolas	Total de Células	IM %	Número de Células				
				I	P	M	A	T
CO-	1	1000	20,2	799	155	19	14	14
	2	1000	14,7	852	108	15	11	14
	3	1000	13,3	867	100	11	11	11
	4	1000	9,3	907	65	10	13	5
	5	1000	8,8	912	56	8	9	15
	To	5000	13,26	4337	484	63	58	59
CO+	1	1000	1,4	986	10	0	0	4
	2	1000	1,0	990	8	0	0	2
	3	1000	1,2	988	9	0	0	3
	4	1000	4,8	952	36	0	0	12
	5	1000	4,8	952	36	0	0	12
	To	5000	2,64	4871	99	0	0	33
EB	1	1000	24,4	756	142	52	23	27
	2	1000	17,4	826	100	28	21	25
	3	1000	23,8	762	97	33	29	79
	4	1000	18,2	818	105	23	24	30
	5	1000	20,8	792	130	28	26	24
	To	5000	20,92	3954	574	164	123	185
EB/TiO ₂ /UV	1	1000	17,6	852	58	7	11	72
	2	1000	8,7	913	38	6	8	35
	3	1000	8,5	915	35	4	10	36
	4	1000	9,3	907	40	6	12	35
	5	1000	8,4	916	38	4	10	32
	To	5000	10,5	4503	209	27	51	210
ET	1	1000	11,8	882	60	12	11	35
	2	1000	12,6	874	63	14	11	38
	3	1000	10,7	893	55	8	11	33
	4	1000	12,4	876	62	14	11	37
	5	1000	12,8	872	63	14	13	38
	To	5000	12,06	4397	303	62	57	181
ET/TiO ₂ /UV	1	1000	11,1	890	27	6	6	71
	2	1000	11,3	887	41	15	17	40
	3	1000	10,1	899	30	12	9	50
	4	1000	9,5	905	35	14	6	40
	5	1000	8,2	918	27	6	7	42
	To	5000	10,04	4499	160	53	45	243

Fonte: Autor (2018).

I: Interfase, P: Prófase, M: Metáfase, A: Anáfase e T: Telófase.

Anexo 3 – Tabela dos Índices mitóticos (IM), parciais e médio total, número total de células em diferentes fases do ciclo celular, obtidos para cada bulbo e diferentes grupos em células de raiz de *Allium cepa* L., grupo controle negativo (CO-), controle positivo (CO+) e tratados com os efluentes bruto (EB) e tratado (ET) da ETE bem como para os tratamento fotocatalítico (TiO₂/UV) avaliado. Tempo de 48h (Re).

Grupos	Cebolas	Total de Células	IM %	Número de Células				
				I	P	M	A	T
CO-	1	1000	6,4	936	35	6	10	13
	2	1000	6,0	940	40	1	6	13
	3	1000	14,2	858	79	18	23	22
	4	1000	7,3	927	50	4	9	10
	5	1000	9,1	909	63	7	10	11
	To	5000	8,6	4570	267	36	58	69
CO+	1	1010	14,0	860	78	18	29	15
	2	1086	12,9	871	53	5	14	57
	3	1000	18,2	819	79	16	12	75
	4	1000	18,6	814	44	22	23	97
	5	1000	18,0	817	44	22	23	94
	To	5000	16,34	4181	298	83	101	338
EB	1	1000	16,2	838	118	17	23	4
	2	1000	19,8	802	115	17	21	45
	3	1000	20,2	799	117	21	21	43
	4	1000	22,5	775	126	29	22	48
	5	1000	23,6	766	130	29	27	50
	To	5000	20,46	3980	606	113	114	190
EB/TiO ₂ /UV	1	1000	17,4	827	126	21	11	16
	2	1000	16,5	835	120	20	10	15
	3	1000	17,3	827	126	19	12	16
	4	1000	17,3	828	124	17	15	17
	5	1000	17,0	830	123	19	12	16
	To	5000	17,1	4147	619	96	60	80
ET	1	1000	15,8	842	57	21	24	56
	2	1000	14,8	852	56	18	19	55
	3	1000	17,2	828	60	22	33	57
	4	1000	16,7	833	63	26	23	55
	5	1000	17,1	829	60	23	32	56
	To	5000	16,32	4184	296	110	131	279
ET/TiO ₂ /UV	1	1000	12,8	872	70	17	13	28
	2	1000	13,8	862	76	18	14	30
	3	1000	11,6	884	65	13	11	27
	4	1000	12,0	880	63	16	11	30
	5	1000	12,0	880	60	17	13	30
	To	5000	12,44	4378	334	81	62	145

Fonte: Autor (2018).

I: Interfase, P: Prófase, M: Metáfase, A: Anáfase e T: Telófase.

Anexo 4 – Laudo da análise de coliformes termotolerantes para o efluente bruto (EB).

	Ministério da Educação Universidade Tecnológica Federal do Paraná Laboratório de Qualidade Agroindustrial LAQUA - Alimentos e Água					
LAUDO DE ANÁLISE Nº CCA299/2018						
Solicitante: Jaqueline Bohrer Coletor da amostra: Jaqueline Bohrer Produto: Efluente Identificação da amostra: EB Data da Coleta: 30/10/18 Data Recepção: 30/10/18 Cidade/Estado: Francisco Beltrão - PR						
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 50%; text-align: center;">Parâmetros</th> <th style="width: 50%; text-align: center;">Resultado</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">Coliformes termotolerantes</td> <td style="text-align: center;">6,9 NMP*/100mL</td> </tr> </tbody> </table>			Parâmetros	Resultado	Coliformes termotolerantes	6,9 NMP*/100mL
Parâmetros	Resultado					
Coliformes termotolerantes	6,9 NMP*/100mL					
<p>*Número Mais Provável.</p> <p>Metodologia Utilizada: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, APHA, 2005, 21ª ed.</p> <p>Referência: PRC nº 5, de 28 de setembro de 2017, Anexo XX - Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.</p> <p>CONCLUSÃO: Esta amostra de água NÃO ESTÁ EM CONFORMIDADE com o padrão microbiológico expresso na PRC nº 5, de 28 de setembro de 2017, Anexo XX.</p>						
Pato Branco - PR, 20 de novembro de 2018.						
						
<hr style="width: 30%; margin: auto;"/> Prof. Me. Pedro Paulo Pereira CRQ 09300206 IX Região Responsável Técnico						
<i>Registro no CRQ – 02335 de acordo com a lei 2.800 de 18/06/1956</i>						
Via do Conhecimento km 01, Cx. Postal 571 – Pato Branco – PR CEP: 85.501-970 FONE: (46)3220-2537 e-mail: laqua-pb@utfpr.edu.br						

Anexo 5 – Laudo da análise de coliformes termotolerantes para o efluente tratado pela ETE (ET).

	Ministério da Educação Universidade Tecnológica Federal do Paraná Laboratório de Qualidade Agroindustrial LAQUA - Alimentos e Água					
LAUDO DE ANÁLISE Nº CCA298/2018						
Solicitante: Jaqueline Bohrer Coletor da amostra: Jaqueline Bohrer Produto: Efluente Identificação da amostra: ET Data da Coleta: 30/10/18 Data Recepção: 30/10/18 Cidade/Estado: Francisco Beltrão - PR						
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 50%; text-align: center;">Parâmetros</th> <th style="width: 50%; text-align: center;">Resultado</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">Coliformes termotolerantes</td> <td style="text-align: center;">6,9 NMP*/100mL</td> </tr> </tbody> </table>			Parâmetros	Resultado	Coliformes termotolerantes	6,9 NMP*/100mL
Parâmetros	Resultado					
Coliformes termotolerantes	6,9 NMP*/100mL					
<p>*Número Mais Provável.</p> <p>Metodologia Utilizada: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, APHA, 2005, 21ª ed.</p> <p>Referência: PRC nº 5, de 28 de setembro de 2017, Anexo XX - Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.</p> <p>CONCLUSÃO: Esta amostra de água NÃO ESTÁ EM CONFORMIDADE com o padrão microbiológico expresso na PRC nº 5, de 28 de setembro de 2017, Anexo XX.</p>						
Pato Branco - PR, 20 de novembro de 2018.						
						
<hr style="width: 30%; margin: auto;"/> Prof. Me. Pedro Paulo Pereira CRQ 09300206 IX Região Responsável Técnico						
<i>Registro no CRQ – 02335 de acordo com a lei 2.800 de 18/06/1956</i>						
Via do Conhecimento km 01, Cx. Postal 571 – Pato Branco – PR CEP: 85.501-970 FONE: (46)3220-2537 e-mail: laqua-pb@utfpr.edu.br						

Anexo 6 – Laudo da análise de coliformes termotolerantes para o efluente bruto submetido à fotólise direta (EB/UV).

	Ministério da Educação Universidade Tecnológica Federal do Paraná Laboratório de Qualidade Agroindustrial LAQUA - Alimentos e Água					
LAUDO DE ANÁLISE Nº CCA296/2018						
Solicitante: Jaqueline Bohrer Coletor da amostra: Jaqueline Bohrer Produto: Efluente Identificação da amostra: EB/UV Data da Coleta: 30/10/18 Data Recepção: 30/10/18 Cidade/Estado: Francisco Beltrão - PR						
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 50%; text-align: center;">Parâmetros</th> <th style="width: 50%; text-align: center;">Resultado</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">Coliformes termotolerantes</td> <td style="text-align: center;">6,9 NMP*/100mL</td> </tr> </tbody> </table>			Parâmetros	Resultado	Coliformes termotolerantes	6,9 NMP*/100mL
Parâmetros	Resultado					
Coliformes termotolerantes	6,9 NMP*/100mL					
<p>*Número Mais Provável.</p> <p>Metodologia Utilizada: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, APHA, 2005, 21ª ed.</p> <p>Referência: PRC nº 5, de 28 de setembro de 2017, Anexo XX - Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.</p> <p>CONCLUSÃO: Esta amostra de água NÃO ESTÁ EM CONFORMIDADE com o padrão microbiológico expresso na PRC nº 5, de 28 de setembro de 2017, Anexo XX.</p>						
Pato Branco - PR, 20 de novembro de 2018.						
						
<hr style="width: 30%; margin: auto;"/> Prof. Me. Pedro Paulo Pereira CRQ 09300206 IX Região Responsável Técnico						
<i>Registro no CRQ – 02335 de acordo com a lei 2.800 de 18/06/1956</i>						
Via do Conhecimento km 01, Cx. Postal 571 – Pato Branco – PR CEP: 85.501-970 FONE: (46)3220-2537 e-mail: laqua-pb@utfpr.edu.br						

Anexo 7 – Laudo da análise de coliformes termotolerantes para o efluente bruto submetido à fotólise do peróxido de hidrogênio (EB/H₂O₂/UV).

	<p>Ministério da Educação Universidade Tecnológica Federal do Paraná Laboratório de Qualidade Agroindustrial LAQUA - Alimentos e Água</p>					
<p>LAUDO DE ANÁLISE Nº CCA297/2018</p>						
Solicitante:	Jaqueline Bohrer					
Coletor da amostra:	Jaqueline Bohrer					
Produto:	Efluente					
Identificação da amostra:	EB/H ₂ O ₂ /UV					
Data da Coleta:	30/10/18					
Data Recepção:	30/10/18					
Cidade/Estado:	Francisco Beltrão - PR					
<table border="1"> <thead> <tr> <th data-bbox="392 824 555 860">Parâmetros</th> <th data-bbox="938 824 1082 860">Resultado</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="244 866 579 896">Coliformes termotolerantes</td> <td data-bbox="954 866 1066 896">Ausência</td> </tr> </tbody> </table>			Parâmetros	Resultado	Coliformes termotolerantes	Ausência
Parâmetros	Resultado					
Coliformes termotolerantes	Ausência					
*Número Mais Provável.						
<p>Metodologia Utilizada: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, APHA, 2005, 21ª ed.</p>						
<p>Referência: PRC nº 5, de 28 de setembro de 2017, Anexo XX - Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.</p>						
<p>CONCLUSÃO: Esta amostra de água ESTÁ EM CONFORMIDADE com o padrão microbiológico expresso na PRC nº 5, de 28 de setembro de 2017, Anexo XX.</p>						
<p>Pato Branco - PR, 20 de novembro de 2018.</p>						
						
<p>Prof. Me. Pedro Paulo Pereira CRQ 09300206 IX Região Responsável Técnico</p>						
<p>Registro no CRQ – 02335 de acordo com a lei 2.800 de 18/06/1956</p>						
<p>Via do Conhecimento km 01, Cx. Postal 571 – Pato Branco – PR CEP: 85.501-970 FONE: (46)3220-2537 e-mail: laqua-pb@utfpr.edu.br</p>						

Anexo 8 – Laudo da análise de coliformes termotolerantes para o efluente bruto submetido à fotocatalise heterogênea (EB/TiO₂/UV).

Parâmetros	Resultado
Coliformes termotolerantes	6,9 NMP*/100mL

*Número Mais Provável.

Metodologia Utilizada: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, APHA, 2005, 21ª ed.

Referência: PRC nº 5, de 28 de setembro de 2017, Anexo XX - Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.

CONCLUSÃO: Esta amostra de água **NÃO ESTÁ EM CONFORMIDADE** com o padrão microbiológico expresso na PRC nº 5, de 28 de setembro de 2017, Anexo XX.

Pato Branco - PR, 20 de novembro de 2018.



Prof. Me. Pedro Paulo Pereira
 CRQ 09300206 IX Região
 Responsável Técnico

Registro no CRQ – 02335 de acordo com a lei 2.800 de 18/06/1956

Via do Conhecimento km 01, Cx. Postal 571 – Pato Branco – PR CEP: 85.501-970
 FONE: (46)3220-2537 e-mail: laqua-pb@utfpr.edu.br



Ministério da Educação
 Universidade Tecnológica Federal do Paraná
 Laboratório de Qualidade Agroindustrial
 LAQUA - Alimentos e Água



LAUDO DE ANÁLISE Nº CCA295/2018

Solicitante: Jaqueline Bohrer
Coletor da amostra: Jaqueline Bohrer
Produto: Efluente
Identificação da amostra: EB/TiO₂/UV
Data da Coleta: 30/10/18
Data Recepção: 30/10/18
Cidade/Estado: Francisco Beltrão - PR

Anexo 9 – Laudo da análise de coliformes termotolerantes para o efluente tratado pela ETE submetido à fotólise direta (ET/UV).

Parâmetros	Resultado
Coliformes termotolerantes	6,9 NMP*/100mL

*Número Mais Provável.

Metodologia Utilizada: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, APHA, 2005, 21ª ed.

Referência: PRC nº 5, de 28 de setembro de 2017, Anexo XX - Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.

CONCLUSÃO: Esta amostra de água **NÃO ESTÁ EM CONFORMIDADE** com o padrão microbiológico expresso na PRC nº 5, de 28 de setembro de 2017, Anexo XX.

Pato Branco - PR, 20 de novembro de 2018.



Prof. Me. Pedro Paulo Pereira
 CRQ 09300206 IX Região
 Responsável Técnico

Registro no CRQ – 02335 de acordo com a lei 2.800 de 18/06/1956

Via do Conhecimento km 01, Cx. Postal 571 – Pato Branco – PR CEP: 85.501-970
 FONE: (46)3220-2537 e-mail: laqua-pb@utfpr.edu.br

Anexo 10 – Laudo da análise de coliformes termotolerantes para o efluente tratado pela ETE submetido à fotólise do peróxido de hidrogênio (ET/H₂O₂/UV).

Parâmetros	Resultado
Coliformes termotolerantes	Ausência
*Número Mais Provável.	
<p>Metodologia Utilizada: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, APHA, 2005, 21ª ed.</p> <p>Referência: PRC nº 5, de 28 de setembro de 2017, Anexo XX - Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.</p> <p>CONCLUSÃO: Esta amostra de água ESTÁ EM CONFORMIDADE com o padrão microbiológico expresso na PRC nº 5, de 28 de setembro de 2017, Anexo XX.</p>	
Pato Branco - PR, 20 de novembro de 2018.	
	
<p>Prof. Me. Pedro Paulo Pereira CRQ 09300206 IX Região Responsável Técnico</p>	
<p><i>Registro no CRQ – 02335 de acordo com a lei 2.800 de 18/06/1956</i></p>	
<p>Via do Conhecimento km 01, Cx. Postal 571 – Pato Branco – PR CEP: 85.501-970 FONE: (46)3220-2537 e-mail: laqua-pb@utfpr.edu.br</p>	



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Laboratório de Qualidade Agroindustrial
LAQUA - Alimentos e Água



LAUDO DE ANÁLISE Nº CCA294/2018

Solicitante: Jaqueline Bohrer
Coletor da amostra: Jaqueline Bohrer
Produto: Efluente
Identificação da amostra: ET/H₂O₂/UV
Data da Coleta: 30/10/18
Data Recepção: 30/10/18
Cidade/Estado: Francisco Beltrão - PR

Anexo 11 – Laudo da análise de coliformes termotolerantes para o efluente tratado pela ETE submetido à fotocatalise heterogênea (ET/TiO₂/UV).

	Ministério da Educação Universidade Tecnológica Federal do Paraná Laboratório de Qualidade Agroindustrial LAQUA - Alimentos e Água					
LAUDO DE ANÁLISE Nº CCA292/2018						
Solicitante: Jaqueline Bohrer Coletor da amostra: Jaqueline Bohrer Produto: Efluente Identificação da amostra: ET/TiO ₂ /UV Data da Coleta: 30/10/18 Data Recepção: 30/10/18 Cidade/Estado: Francisco Beltrão - PR						
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">Parâmetros</th> <th style="text-align: center;">Resultado</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">Coliformes termotolerantes</td> <td style="text-align: center;">1,1 NMP*/100mL</td> </tr> </tbody> </table>			Parâmetros	Resultado	Coliformes termotolerantes	1,1 NMP*/100mL
Parâmetros	Resultado					
Coliformes termotolerantes	1,1 NMP*/100mL					
*Número Mais Provável.						
Metodologia Utilizada: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, APHA, 2005, 21ª ed.						
Referência: PRC nº 5, de 28 de setembro de 2017, Anexo XX - Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.						
CONCLUSÃO: Esta amostra de água NÃO ESTÁ EM CONFORMIDADE com o padrão microbiológico expresso na PRC nº 5, de 28 de setembro de 2017, Anexo XX.						
Pato Branco - PR, 20 de novembro de 2018.						
						
<hr style="width: 30%; margin: auto;"/> Prof. Me. Pedro Paulo Pereira CRQ 09300206 IX Região Responsável Técnico						
<i>Registro no CRQ – 02335 de acordo com a lei 2.800 de 18/06/1956</i>						
Via do Conhecimento km 01, Cx. Postal 571 – Pato Branco – PR CEP: 85.501-970 FONE: (46)3220-2537 e-mail: laqua-pb@utfpr.edu.br						