

CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA SOUZA
ETEC TRAJANO CAMARGO
ENSINO TÉCNICO INTEGRADO AO MÉDIO EM QUÍMICA

GUSTAVO DE SOUZA MOSELLI
LIA NAOMI OKADA
NICOLAS FERNANDES SOARES

ESTUDO TÉCNICO DOS PROCESSOS OXIDATIVOS AVANÇADOS

LIMEIRA – SP

2021

CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA SOUZA
Etec TRAJANO CAMARGO
ENSINO TÉCNICO INTEGRADO AO MÉDIO EM QUÍMICA

GUSTAVO DE SOUZA MOSELLI
LIA NAOMI OKADA
NICOLAS FERNANDES SOARES

ESTUDO TÉCNICO DOS PROCESSOS OXIDATIVOS AVANÇADOS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Banca Examinadora, como exigência parcial para a obtenção de título de Técnico em Química, da Escola Técnica Trajano Camargo de Limeira, sob a orientação da Prof.^a DRA. Gislaine Aparecida Barana Delbianco e Prof. Sérgio Delbianco Filho.

LIMEIRA – SP

2021

GUSTAVO DE SOUZA MOSELLI
LIA NAOMI OKADA
NICOLAS FERNANDES SOARES

ESTUDO TÉCNICO DOS PROCESSOS OXIDATIVOS AVANÇADOS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Banca Examinadora, como exigência parcial para a obtenção de título de Técnico em Química, da Escola Técnica Trajano Camargo de Limeira, sob a orientação da Prof.^a DRA. Gislaine Aparecida Barana Delbianco e Prof. Sérgio Delbianco Filho.

Limeira, ____ de _____ de _____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. (Nome do orientador)
Afiliações

Prof. (Nome do professor avaliador)
Afiliações

Prof. (Nome do professor avaliador)
Afiliações

RESUMO

No Brasil, cerca de 57% do esgoto é coletado no país, porém apenas 45% são tratados adequadamente, o que pode causar diversos danos ambientais e riscos à saúde em contato com a água não tratada. Um dos fortes indicadores da falha do sistema de tratamento de água e esgoto, é a presença de poluentes orgânicos, como os "PPCP's" (*Pharmaceuticals and Personal Care Products*), tais como bifenois, codeínas, coprostranol, colesterol, fragrâncias, entre outras. Este estudo visa compreender os POA's (Processos Oxidativos Avançados), suas metodologias e suas aplicações. Aplicando o processo FENTON, devido sua fácil execução e materiais de fácil aquisição, sendo possível realizar em escala laboratorial para a análise de sua efetividade na decomposição de um poluente sintético de concentração conhecida. Neste caso, optou-se pela utilização do corante alaranjado de metila como reagente de estudo de degradação, por conta da simplicidade do método de análises quantitativos e qualitativos. O processo oxidativo foi realizado utilizando como reagente peróxido de hidrogênio (30V) e o peróxido de hidrogênio com emulsificante, na presença de sulfato de ferro II, e um tampão ácido. A solução sofreu uma agitação durante uma hora e teve seu pH corrigido, em seguida, o precipitado de hidróxido de ferro formado foi filtrado por papel de filtro. A análise no espectrofotômetro indicou uma redução na absorção de luz na faixa de 464nm, conforme os cálculos realizados, o peróxido hidrogênio (30V) apresentou o melhor resultado com uma diminuição de concentração de. Logo, novos estudos devem ser realizados buscando determinar os compostos formados durante a decomposição.

Palavras-chave: Tratamento de água; Estudo Técnico; Processos Oxidativos Avançados.

ABSTRACT

In Brazil, around 57% of the sewage is collected, but only 45% is properly treated, which can cause various environmental damage and health risks with the contact with untreated water. One of the strongest indicators of the water treatment and sewage failure, is the presence of organic pollutants, like the "PPCP's" (Pharmaceuticals and Personal Care Products), such as, biphenols, codeines, coprostranol, cholesterol, fragrances, among others. This study aims to understand the AOP's (Advanced Oxidative Processes), their methodologies and their applications. Applying the FENTON process, due to its easy execution and easy acquisition materials, it is possible to perform it on a laboratory scale for the analysis of its effectiveness in the decomposition of a synthetic pollutant of known concentration. In this case, we chose to use methyl orange dye as a degradation study reagent, due to the simplicity of the quantitative and qualitative analysis method. The oxidative process was carried out using 38% hydrogen peroxide and hydrogen peroxide (30V creamy) as reagent, in the presence of iron II sulfate, and an acid buffer. The solution was stirred for one hour and had its pH corrected, then the formed iron hydroxide precipitate was filtered through a filter paper. The analysis in the spectrophotometer indicated a reduction in light absorption in the 464nm range, according to the calculations performed, hydrogen peroxide (30V) presented the best result with a decrease in concentration of 91.65%. Therefore, further studies must be carried out to determine the compounds formed during decomposition.

Keywords: Waterwaste Treatment; Technical Study; Advanced Oxidation Process.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Métodos de POA's - FENTON	18
Figura 2: Métodos de POA's - Fotoativado.....	19
Figura 3: Fotoativação do TiO ₂	22
Figura 4: Métodos de POA's - Ozônio.	23
Figura 5: Atividades experimentais desenvolvidas	26
Figura 6: Curva de calibração - Alaranjado de Metila.	29
Figura 7: Solução-tampão	30
Figura 8: Sistema da solução de peróxido de hidrogênio (30 vol. Cremosa e 38% Líquida). 31	
Figura 9: Sistema pós-agitação (30 vol. Cremosa).	32
Figura 10: Sistema pós-agitação (38% Líquida).	32
Figura 11: Faixa de pH - Alaranjado de Metila.	33
Figura 12: Sistema pós-adição de NaOH.	33
Figura 13: Sistema pós-filtragem.	34
Figura 14: Fórmula da degradação do corante.	35
Figura 15: Produtos formados.	36

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Sistemas Típicos de Processos Oxidativos Avançados	15
Tabela 2: Agentes oxidantes normalmente utilizados.....	16
Tabela 3: Comprimento de onda.	24
Tabela 4: Ensaios da curva padrão do Alaranjado de Metila	29
Tabela 5: Análises do Alaranjado de Metila.	34

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA	10
2. OBJETIVOS	13
2.1. Objetivo Geral.....	13
2.2. Objetivos Específicos	13
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	14
3.1. Histórico dos Processos Oxidativos Avançados	14
3.2. Processos Oxidativos Avançados	15
3.2.1. FENTON	17
3.2.2. FOTO-FENTON	19
3.2.3. H ₂ O ₂ /UV.....	19
3.2.4. O ₃ /UV	20
3.2.5. TiO ₂ /UV	21
3.2.7. O ₃ /OH ⁻	23
3.3. As vantagens e desvantagens do uso dos processos oxidativos avançados	23
3.3.1. Vantagens	23
3.3.2. Desvantagens.....	24
3.4. Irradiação UV	24
3.5. Produtos de cuidado pessoal (PCP's) - Pharmaceuticals and Personal Care Products..	24
3.6. Alaranjado de Metila.....	25
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	26
4.1. Preparo da curva padrão do espectrofotômetro	27
4.2. Preparo da solução-tampão	27
4.3. Montagem dos sistemas (H ₂ O ₂ 30vol. Cremosa e 37% Líquida).....	27
4.4. Correção do pH e filtragem do ferro.....	27
4.5. Análise das amostras no espectrofotômetro.....	28
5. DISCUSSÃO DE RESULTADOS.....	29
5.1. Preparo da curva padrão do espectrofotômetro	29
5.2. Preparo da solução-tampão	29
5.3. Montagem dos sistemas (H ₂ O ₂ 30vol. Cremosa e 37% Líquida).....	30
5.4. Correção do pH e filtragem do ferro.....	32
5.5. Análise das amostras no espectrofotômetro.....	34

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	37
REFERÊNCIAS	39

1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

A busca pela acessibilidade da água potável no futuro, tem sido uma das discussões mais recorrentes atualmente, visto que os métodos tradicionais apresentam ser ineficientes e insustentáveis, quando se trata da eliminação de agentes tóxicos no tratamento da água. (GOSH, 2018).

A notável preocupação pela busca de parâmetros para frear uma severa escassez de água potável pode vir a atingir diversos países que não tem um sistema de tratamento confiável com um dos seus grandes agravantes sendo a contaminação provocada pelo tratamento ineficaz e descarte incorreto de resíduos contaminantes e poluentes, o que conseqüentemente impossibilitará sua utilização e/ou reutilização (GAYDECZKA, *et al.*, 2016).

De acordo com Oliveira (2018), no Brasil, cerca de 57% do esgoto é coletado no país, porém apenas 45% são tratados adequadamente, já em São Paulo, de 87% de esgoto coletado, apenas 62% é tratado, o que pode causar diversos danos ambientais e riscos à saúde para quem entrar em contato com a água não tratada.

Um dos fortes indicadores da falha do sistema de tratamento de água e esgoto, é a presença de poluentes orgânicos na água da torneira, como a cafeína, proveniente de agrotóxicas e rejeitos industriais. Além desses poluentes, podem ser encontrados compostos na água da torneira que são denominados “PPCP’s” (*Pharmaceuticals and Personal Care Products*), tais como bifenóis, codeínas, coprostanol, colesterol, fragrâncias, entre outras (TUBBS, *et al.*, 2017).

De modo geral, o processo biológico no tratamento de efluentes exige um baixo custo e apresenta versatilidade de oxidação de poluentes, sendo fatores que contribuem para sua atuação em unidades de tratamento de água atualmente, podendo ser anaeróbia e aeróbia. Embora, consiga tratar em grande escala, a técnica apresenta dificuldades operacionais, o que demanda uma constante manutenção, sem contar o controle da produção de metano, cujo sobreaquece o ambiente, como subproduto da ação das bactérias e a geração de biomassa (ECOS, 2020).

Diante disso, os Processos Oxidativos Avançados (POA’s) apresentam ser um grande candidato para a remoção de uma vasta quantidade desses poluentes orgânicos, visto que possuem a capacidade de mineralizá-los, transformá-los em dióxido de carbono (CO₂) ou até mesmo quebrar estes compostos em outros mais simples e menos contaminantes, tudo isso realizado em condições sustentáveis. Esse processo poderia substituir os processos utilizados

atualmente, que usam principalmente o cloro e o ozônio, que apesar de cumprirem seus papéis, não são ambientalmente saudáveis, já que precisam ser retirados antes do consumo humano, pois seus subprodutos são mais carcinogênicos que o composto de origem (GOSH, 2018).

Segundo Almeida (2017), poluentes emergentes são descritos como as substâncias que ainda não estão classificadas em programas de monitorização, todavia nada impede sua inclusão futura na regulamentação. Em suma, os poluentes emergentes descrevem um grupo de químicos sintéticos, correspondentes a fármacos, pesticidas, esteróides, hormônios, agentes industriais, entre outras.

Sabendo disso, é importante diferenciar os poluentes orgânicos emergentes e os poluentes orgânicos persistentes (POP's), que são mais aprofundados e regulamentados por decretos mais rigorosos (SILVA, 2018).

Conforme as Resoluções CONAMA n° 357/2005 e CONAMA n° 430/2011 estabelece diversos parâmetros químicos e microbiológicos sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes nos corpos hídricos e a preservação da vida aquática. Entretanto, apesar da legislação apresentar diversas exigências, nenhuma se afirma sobre os poluentes emergentes e seu regulamento (ALBERT, *et al.*, 2021).

Considerando que o Decreto Legislativo n° 204, de 7 de maio de 2004, que foi aprovado pelo Congresso Nacional, a implementação do Plano Nacional de Implementação (NIP) no artigo 7° da Convenção de Estocolmo, adotada pelo Brasil cita os POP's como obrigação no diagnóstico da gestão desses poluentes (CETESB, 2021).

No Decreto Legislativo N°5.472, de 20 de junho de 2005, confere o reconhecimento dos poluentes orgânicos persistentes têm propriedades tóxicas e são resistentes a degradação, salientando a importância de assumir a responsabilidade de fabricantes em diminuir os efeitos prejudiciais causados pelos POP's. Além disso, entender a importância em desenvolver outras substâncias alternativas e ambientalmente amigáveis.

Desse modo, ao longo dos anos houve uma crescente de artigos publicados sobre o uso dos POA's. Uma pesquisa da Universidade Federal do Triângulo Mineiro (UFTM), em Uberaba (MG), cerca de 260 artigos científicos foram publicados em 2006 e 918 em um espaço de 10 anos, em 2015. Esse aumento reflete o interesse a respeito dessa técnica no Brasil, porém ainda pouco conhecida pelos pesquisadores nacionais, visto que, a base de dados do Instituto Nacional da Propriedade (INIP) consta que apenas 7 documentos foram depositados durante esse período (ANTONELLI, 2016).

De acordo com Ghime e Ghosh (2020), os Processos de Oxidação Avançados utilizam de reações de oxidação extremamente poderosas para a formação do radical hidroxila (OH^\cdot),

utilizado na quebra compostos orgânicos na água, visto que, esse radical reage indiscriminadamente com moléculas orgânicas quebrando-as em moléculas menores, menos tóxicas e mais simples, possibilitando que micro-organismos consigam se alimentar dessas moléculas. Existem vários tipos de Processos Oxidativos Avançados, onde são usados diferentes reagentes ou catalisadores para a liberação do OH⁻, como por exemplo: o processo foto ativado que utiliza a luz UV (ultravioleta) para a formação do radical, e como sua fonte de radicais utiliza o peróxido de hidrogênio (H₂O₂) (SIMONENKO, 2014).

Logo, o presente projeto será com base no estudo dos Processos Oxidativos Avançados e discutir sua efetividade em comparação aos processos convencionais.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Estudar a fundo a química por trás dos processos oxidativos avançados e as suas formas, para assim criar uma metodologia simples de eliminação de poluentes orgânicos indesejados na água utilizando o processo FENTON, que pode ser analisada e quantificada com métodos simples no laboratório. Com o objetivo de verificar a eficácia da metodologia aplicada.

2.2. Objetivos Específicos

- Estudar a metodologia do processo FENTON no tratamento de um corante;
- Estudar as metodologias envolvendo os processos oxidativos;
- Verificar por meio de espectrofotometria UV-VIS mudanças do pico de absorção de luz;
- Compreender as variações físicas e químicas durante a degradação do corante;
- Comparar a efetividade do processo com métodos convencionais;
- Discutir a viabilidade desse processo considerando custos x benefícios;
- Verificar a diminuição da concentração de corante na amostra estudada.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1. Histórico dos Processos Oxidativos Avançados

O tratamento da água através do uso de fortes oxidantes ocorre a muito tempo, tendo sido realizado pela primeira vez em 1886 por *De Metitens* com o procedimento envolvendo principalmente o ozônio. Porém, uma terminologia só foi usada em 1973, da qual seria “Tecnologias de Oxidação Avançada, foi decidida durante o primeiro Simpósio Internacional em Ozônio para Tratamento de Águas e Efluentes. No processo citado anteriormente, era utilizado a combinação entre ozônio e radiação ultravioleta para oxidar complexos de de cianeto. Além disso, em 1972, Fujishima e Honda descrevem a oxidação da água em suspensão de TiO_2 gerando hidrogênio e oxigênio e em 1976 foi publicado o primeiro trabalho utilizando fotocatalise heterogênea na degradação de contaminantes, tanto em fase aquosa quanto gasosa (GÁLVEZ, *et al.*, 2011).

O desenvolvimento dos POA's pode ser resumidamente dividido em 4 etapas: a primeira ocorreu entre os anos de 1976 e 1985, entretanto os conteúdos sobre o tema são escassos e a aplicação dos processos ainda não era devidamente correta. A segunda, entre 1985 e início da década de 90, onde nota-se uma preocupação crescente da comunidade científica internacional por temas relacionados ao meio ambiente e, com o êxito das primeiras experiências, muitos estudiosos veem esses processos como uma metodologia universal para a degradação de contaminantes orgânicos. A terceira entre meados e o final da década de 90, quando ocorre uma grande propagação de resultados incompatíveis, assim causando debates sobre suas aplicações, limitações e inconvenientes. A quarta etapa, que é a atual, caracteriza-se por uma visão mais realista das possibilidades desta tecnologia, onde o processo, se desenvolvido adequadamente, pode resultar numa aplicação viável e competitiva (DOMÈNECH, *et al.*, 2001).

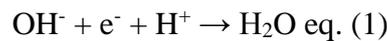
De acordo com Gálvez *et al* (2011), na América Latina parte destas tecnologias, em especial a fotocatalise heterogênea, tem sido amplamente discutida dentro do Programa Libero - Americano de Ciência e Tecnologia para o Desenvolvimento (CYTED), criado em 1984 e que conta com representantes da Argentina, Brasil (esse assunto é objeto de estudo de vários grupos de pesquisa espalhados pelo país. Grande parte pôde se reunir no EPOA – Encontro Sobre Aplicações Ambientais de Processos Oxidativos Avançados), Colômbia, Cuba, Chile, Espanha, México, Panamá, Peru e Uruguai.

3.2. Processos Oxidativos Avançados

Os POA's (que significa "Processos Oxidativos Avançados") são sistemas baseados na reação entre oxidantes potentes ou entre oxidantes e catalisadores metálicos, em alguns sob a ação da irradiação, que são dissociados para gerar radicais livres hidroxila (OH^\cdot), substâncias altamente oxidantes, instáveis e não seletivas, que mineralizam a matéria orgânica presente no esgoto a dióxido de carbono, água e íons inorgânicos. Os POA's também possuem a capacidade de remover substâncias como fenóis, clorofenóis, álcoois, corantes, aromáticos, entre outros. Assim, agindo como um ótimo meio para a extração de várias classes de compostos (FURTADO, 2011).

Segundo pesquisas realizadas sobre os radicais livres hidroxila pode-se afirmar

[...] em meio a diferentes compostos orgânicos, o radical hidroxila é capaz de reagir de forma muito rápida de diversas formas diferentes e entre elas estão através da formação de ligação de hidrogênio; adição a ligações insaturadas e anéis aromáticos e através de transferência de elétrons. Como resultado das reações, ocorre a formação de radicais orgânicos que posteriormente irão reagir como o oxigênio, dando origem a uma sucessão de reações de degradação das quais podem formar CO_2 e H_2O [...]. (FIOREZE; SANTOS; SCHMACHTENBERG, 2013).



E desta forma "[...] o radical surge por meio de reações que sucedem à combinação de oxidantes, estes que podem ser o ozônio e o peróxido de hidrogênio, com radiação ultravioleta (UV) ou visível (Vis), e catalisadores, como íons metálicos ou semicondutores." (FIOREZE; SANTOS; SCHMACHTENBERG, 2013).

Os POA's podem ser classificados em sistemas homogêneos ou heterogêneos.

Tabela 1: Sistemas Típicos de Processos Oxidativos Avançados

Processo	Homogêneo	Heterogêneo
Com Irradiação	O_3/UV	
	H_2O_2	Fotocatálise Heterogênea
	$\text{O}_3/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$	($\text{TiO}_2/\text{O}_2/\text{UV}$)
Sem Irradiação	Foto-Fenton	
	$\text{O}_3/\text{OH}^\cdot$	
	$\text{O}_3/\text{H}_2\text{O}_2$	$\text{O}_3/\text{catalisador}$
	Reativo de Fenton	

Fonte: h2oengenharia.com.br

Os heterogêneos ocorrem em sistema polifásico na presença de catalisadores sólidos, enquanto os homogêneos seriam em apenas uma fase, ou seja, a degradação do poluente orgânico pode ser efetuada por dois mecanismos distintos: Fotólise direta com UV e Geração de radical hidroxila. Estes sistemas geralmente utilizam-se de semicondutores sólidos que aumentam a velocidade de reação para atingirem o equilíbrio químico e diferentemente de alguns sistemas homogêneos, têm como principal vantagem evitar a adição de produtos químicos assim como a recuperação do catalisador (FLORES, 2018).

Tabela 2: Agentes oxidantes normalmente utilizados.

Agente Oxidante	Potencial de Oxidação
Flúor	3,06
Radical Hidroxila	2,80
Oxigênio Atômico	2,42
TiO ₂ + <i>hν</i>	2,35
Ozônio	2,08
Persulfato	2,01
Perbromato	1,85
Peróxido de Hidrogênio	1,78
Radical Perhidroxila	1,70
Hipoclorito	1,49
Bromato	1,48
Cloro	1,36
Dicromato	1,33
Dióxido de Cloro	1,27
Permanganato	1,24
Oxigênio (molecular)	1,23
Perclorato	1,20
Bromo	1,09
Iodo	0,54

Fonte: Ameta, 2018.

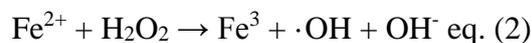
Segundo Davis, *et al* (1989), os catalisadores são classificados em: Condutores – onde os níveis de energia são contínuos e não há separação entre BV (Banda Valência) e BC (Banda

de Condução); Semicondutores – onde existe uma descontinuidade de energia entre as bandas, porém os elétrons, em algumas condições, podem superá-la, sendo promovidos da BV para a BC, gerando um par elétron/lacuna (e^-/h^+) e, com isso, apresentar condutividade elétrica; Não condutores – onde existe uma descontinuidade muito grande de energia entre as bandas, sendo impossível a promoção eletrônica.

Para o tratamento dos efluentes líquidos o processo convencional mais utilizado é a oxidação biológica, onde bactérias aeróbias e anaeróbias convertem os poluentes presentes em CO_2 e H_2O (aeróbios) ou CH_4 e CO_2 (anaeróbios). Porém apesar de ser um processo barato, algumas aplicações ficam limitadas, como os tratamentos de solos e processos com grande variação de concentrações e pH que precisam ser controlados, pois esse processo perde eficiência frente às oscilações das características dos efluentes e também sob a presença de alguns compostos tóxicos, sendo então uma técnica limitada e restrita a alguns tipos de efluentes (TEIXEIRA, 2002).

3.2.1. FENTON

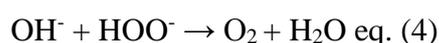
O Fenton é um tipo de POA, no qual ocorre a oxidação do Fe^{2+} e a decomposição do peróxido de hidrogênio, como mostra na Equação 2.



O reagente de Fenton é geralmente um sal de ferro e a formação do radical hidroxila promoverá a oxidação do poluente orgânico complexo, o qual é bastante resistente à degradação biológica (HOLKAR, *et al.*, 2016).

Ebrahiem, *et al* (2017), se refere a tecnologia Fenton como uma combinação de peróxido de hidrogênio e íon ferroso, na qual o peróxido de hidrogênio funciona como agente oxidante e o óxido de ferro como catalisador. A decomposição do peróxido de hidrogênio (H_2O_2) ocorre em meio aquoso e em condições ácidas, resultando na formação de radicais hidroxila altamente reativos, e oxidando Fe^{2+} a Fe^{3+} , como foi mostrado na equação anteriormente citada.

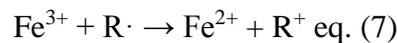
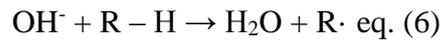
Esses radicais podem participar de outras reações durante este processo, com o peróxido de hidrogênio e/ou com os radicais hidroperoxila (HO_2^-), como pode ser visto na Equação 3 e Equação 4.



Em compensação, pode haver regeneração de íons ferrosos (Fe^{2+}) através de um processo redox.



As moléculas orgânicas poluentes (R) podem ser oxidadas pelos radicais hidroxila através de alguns métodos de degradação.

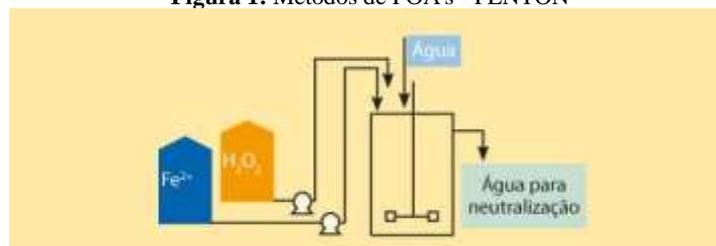


O reagente de Fenton tem sido empregado com sucesso no tratamento de vários tipos de poluentes orgânicos, tais como: clorofenóis, surfactantes, corantes, etc. Além disso, o mesmo pode preceder um tratamento biológico objetivando diminuir a toxicidade do efluente, aumentando a biodegradabilidade do contaminante (DUTTA, *et al.*, 2001).

Segundo Gaydeczka, *et al.* (2016), a potencialidade do uso desse processo para o tratamento de efluentes se deve principalmente à sua simplicidade, uma vez que a reação ocorre à temperatura e pressão ambientes e se aplica a uma grande variabilidade de compostos, além de o ferro ser o quarto elemento mais abundante da crosta terrestre.

Entretanto, atualmente a utilização da tecnologia Fenton tem comumente se defrontado com altos custos operacionais derivados da temperatura elevada para que a reação ocorra, além da necessidade de elevadas dosagens de peróxido e catalisadores. Todavia, a oxidação Fenton pode ser usada em condições mais otimizadas como pré-tratamento antecedendo a uma depuração biológica quando o objetivo principal for privilegiar o aumento da biodegradabilidade e/ou a redução da toxicidade dos despejos deixando para a fase biológica a incumbência de reduzir a maior parte da matéria orgânica. Neste caso, esta associação pode ficar economicamente mais atrativa (CAVALCANTI, 2016).

Figura 1: Métodos de POA's - FENTON

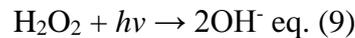


Fonte: Peróxidos Brasil e PUC - RJ.

3.2.2. FOTO-FENTON

O processo Foto-Fenton envolve a reação entre os íons de Ferro e peróxido de oxigênio ($\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+} + \text{H}_2\text{O}_2$) para formar espécies reativas capazes de oxidar diferentes componentes orgânicos, assistidos por radiação UV, na presença de luz, uma alta quantidade de OH^- é produzido, elevando o potencial de degradação em comparação com processos não irradiados. Os maiores problemas deste tipo de processo são pH variando entre 2 e 3 no meio onde a reação ocorre e a presença de carbonatos dentro da água (GUERRA, *et al.*, 2019; DIAS, 2018).

A fonte de luz utilizada pode ser uma lâmpada UV, luz visível ou luz solar. A absorção de um fóton por uma molécula de H_2O_2 gera dois radicais de hidroxila.

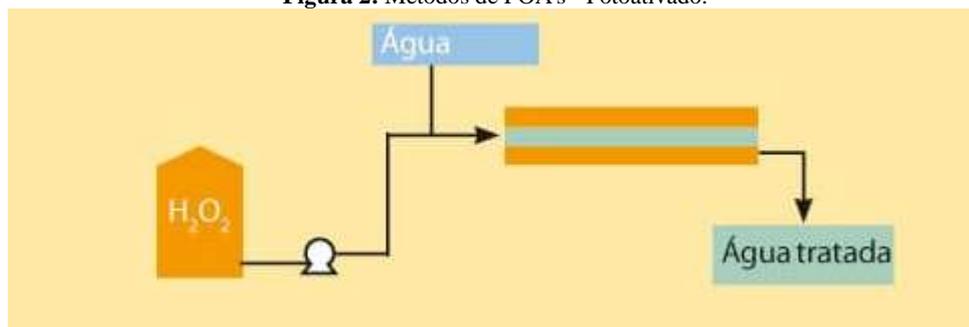


Muitas técnicas que utilizam fontes de luz requerem fótons de alta energia gerados por luz UV, tornando o custo do processo muito alto para aplicações práticas. Contudo, o processo Foto-Fenton pode ser executado utilizando fótons de baixa energia na região visível do espectro, como, por exemplo, os fornecidos pela luz branca, tornando esta técnica economicamente viável (TORRADES, *et al.*, 2004).

3.2.3. $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$

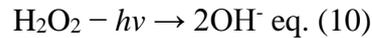
A fotólise do peróxido de hidrogênio por irradiação UV ($\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$) é um processo que pode ocorrer naturalmente, constituindo em uma alternativa para degradar compostos orgânicos tóxicos. O H_2O_2 pode ser fotolisado por irradiação UV em comprimentos de onda de 200 a 300 nm (representado como $h\nu$) ocasionando a quebra da ligação O-O da molécula de H_2O_2 gerando radicais hidroxila (HO^-) que agem na degradação de espécies orgânicas (HERNANDEZ, *et al.*, 2002).

Figura 2: Métodos de POA's - Fotoativado.



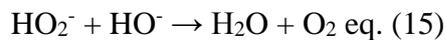
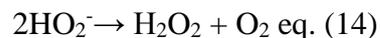
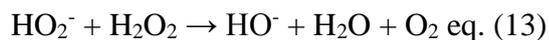
Fonte: Peróxidos Brasil e PUC - RJ.

Segundo Huang, *et al* (1993) e Legrini, *et al* (1993), o mecanismo mais comumente aceito para a fotólise de H₂O₂ com UV e a quebra da molécula em radicais hidroxila com um rendimento de dois OH[•] para cada molécula de H₂O₂. Entretanto, é importante mencionar que também existe a possibilidade de recombinação desses radicais, transformando-se em H₂O₂.



A eficiência no tratamento de poluentes orgânicos recalcitrantes em efluentes aquosos com utilização de espécies oxidantes precursoras como o peróxido de hidrogênio tem sido investigado sob radiação UV. A aplicação das fontes de radiação UVA e UVB para melhorar o processo de despoluição podem oferecer muitas vantagens. Seguindo essa ideia, complexos de ferro estão sendo usados para iniciar ou melhorar a remoção de poluentes com a utilização de H₂O₂ ativado na presença da radiação UV do espectro solar (HUANG, *et al.*, 2018).

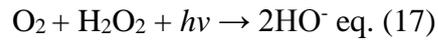
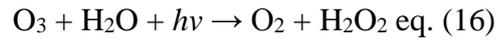
Assim, os Processos Oxidativos Avançados “[...] através da utilização de radiação UV combinam radiação com algum catalisador, a exemplo do peróxido de hidrogênio ou outro promotor de radicais para, simultaneamente, realizar a fotólise e oxidar micro poluentes em águas contaminadas através da produção de radicais hidroxila altamente reativos e não seletivos.” (ULLIMAN, *et al.*, 2018).



Utilizado principalmente: Degradação de éter metiltercbutílico (MTBE); Degradação de corantes; Pré-tratamento para aumentar a biodegradabilidade de surfactantes.

3.2.4. O₃/UV

No processo combinado de ozônio e irradiação UV (O₃/UV) os radicais hidroxila (HO[•]) são produzidos direta e indiretamente, aumentando a degradação da matéria orgânica. Em solução aquosa, o O₃ absorve irradiações UV entre 200 e 360 nm, gerando radicais hidroxila (HERNANDEZ, *et al.*, 2002).



Estas espécies, quando utilizadas na oxidação de compostos orgânicos, iniciam uma reação em cadeia e, como resultado, compostos normalmente refratários a simples ozonização são rapidamente convertidos à CO_2 e H_2O .

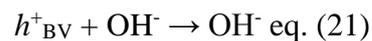
Desta forma:

[...] Ocorre a degradação de micro poluentes presente em fontes de água potável, os encontrados em águas residuárias, de indústrias têxtil, na degradação de efluentes agrícolas, etc. É utilizado principalmente na remoção de cor e metais, degradação de matéria orgânica em água natural, MBTE, degradação de herbicidas [...]. (ADAMS, *et al.*, 1995).

3.2.5. TiO_2/UV

Esse processo é baseado na absorção de luz pelo semicondutor TiO_2 para produzir pares de elétrons, que reagem com a interface e produzem espécies oxidantes como a hidroxila (OH^\cdot) ou radical superóxido, os OH^\cdot têm sido considerados como sendo uma espécie de maior atividade durante a reação de oxidação fotocatalítica. Entretanto, a utilização de nanopartículas de TiO_2 em suspensão é um problema para a recuperação do fotocatalisador após o tratamento. Para resolver tal problema, vários sistemas de fotocatalise que suportam o uso de TiO_2 estão em constante desenvolvimento (M'BRA, *et al.*, 2019).

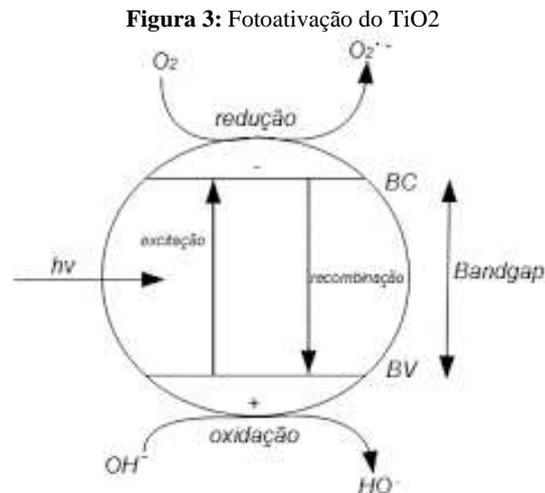
O TiO_2 é o semicondutor mais usado na fotocatalise e muitos catalisadores contendo TiO_2 foram desenvolvidos para melhorar a produção do OH^\cdot , reduzir a energia do gap da banda, retardar a recombinação e^-/h^+ , aumentar sua área de reação e afinidade por compostos orgânicos e reduzir custos de recuperação do catalisador após o uso (ARCANJO, *et al.*, 2018).



Segundo Vandevivere, *et al* (1998), a eficiência do processo de Fotocatalise Heterogênea depende da competição entre o processo em que o elétron é retirado da superfície do semicondutor pelo oxigênio, evitando o processo de recombinação do par elétron-lacuna.

O processo de oxidação pode ocorrer por via direta e indireta. O processo por via direta se dá quando a lacuna fotogerada na banda de valência do semicondutor reage diretamente com

o composto orgânico. Já o processo de oxidação por via indireta ocorre quando a lacuna foto gerada na banda de valência reage com a molécula de H₂O adsorvida na superfície do semicondutor produzindo o radical hidroxil, o qual vai oxidar a matéria orgânica (CHOI & HOFFMANN, 1997).



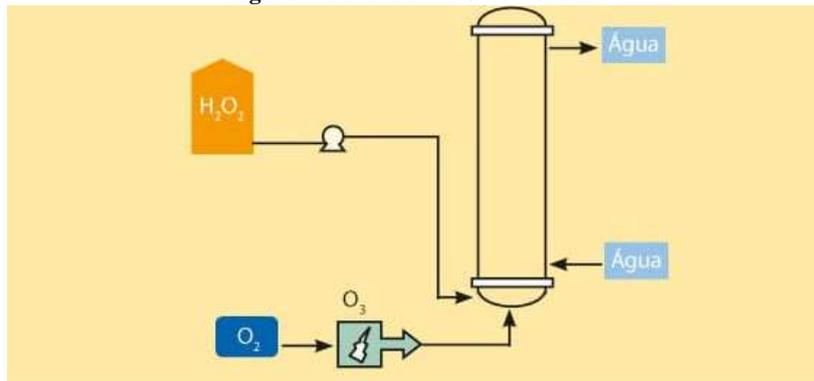
Fonte: researchgate.net

As reações que ocorrem entre eles iniciam-se com uma transferência eletrônica do peróxido de hidrogênio, produzindo o íon hidropéroxido. Numa segunda etapa, o íon hidropéroxido reage com ozônio para produzir O₃⁻ e o radical hidropéroxido. Estes produtos podem formar radicais hidroxila e, desde que esses radicais estejam formados, a geração de outros radicais hidroxila segue o mecanismo autocatalítico (TEXEIRA, 2002).



Segundo Marcelino (2014), a ozonização assistida com peróxido de hidrogênio é utilizada em tratamento de efluentes para aumentar a taxa de decomposição do ozônio em radicais de hidroxila e favorecer, assim, a degradação dos poluentes presentes no líquido. Além disso, a decomposição do H₂O₂ adicionado promove a formação de mais radicais de hidroxila no meio. É importante destacar que a adição de peróxido de hidrogênio em excesso no meio pode funcionar como sequestrantes de radicais de hidroxilas, consumindo radicais formados e diminuindo a eficiência do processo. Desta maneira, um estudo da concentração ótima de peróxido de hidrogênio a ser adicionada em cada caso de aplicação se faz necessário.

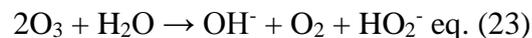
Figura 4: Métodos de POA's - Ozônio.



Fonte: Peróxidos Brasil e PUC - RJ.

3.2.7. O_3/OH^-

A utilização dos sistemas utilizando ozônio juntamente com peróxido de hidrogênio é utilizada para a remoção de cor, degradação de herbicidas, produtos farmacêuticos, glicina, efluentes contaminados com óleo, degradação de ácido oxálico, MBTE, fenol, chorume, RDX (1, 3, 5 – trinitroazaciclohexano), degradação de matéria orgânica em água natural (TEXEIRA, 2002).



3.3. As vantagens e desvantagens do uso dos processos oxidativos avançados

3.3.1. Vantagens

- Não é apenas a troca de fase do contaminante que é proporcionada, mas também sua transformação química, diferente dos processos de absorção ou no tratamento de carvão ativo;
- De forma geral é possível a mineralização total dos contaminantes, quando se compara com as tecnologias convencionais, essas que usam espécies extremamente oxidantes e não conseguem a oxidação completa;
- Adequado para efluente com toxicidade em um grau muito elevado aos quais podem causar dificuldades inoportunas na operação dos sistemas biológicos, levando a operação com alto tempo de resistência ou podendo causar até mesmo a morte de micro-organismos;
- Extremamente eficientes para que a concentração de compostos formados por pré-tratamento alternativo seja diminuída, por exemplo, na desinfecção.

3.3.2. Desvantagens

- Custos de operação relativamente altos devido a produtos químicos e/ou entrada de energia;
- Formação de intermediários de oxidação potencialmente tóxicos;
- Engenheiros são necessários para o projeto e, muitas vezes, também para a operação;
- Tecnologias emergentes (ainda é necessária muita pesquisa) (MAZILLE & SPUHLER, 2020).

3.4. Irradiação UV

A radiação ultravioleta de 3 faixas de comprimento de onda: UVC, UVB e UVA, sendo que a faixa de radiação ultravioleta que se propaga no ar tem comprimento de onda entre 200 e 400nm. O espectro visível vai de 400 a 800nm, na seguinte sequência: violeta, azul, verde, amarelo, laranja e vermelho. A UVC tem duas faixas de comprimento de onda: uma que se propaga no vácuo, de 10nm a 200nm, e a outra, de 200nm a 290nm. Essas radiações são absorvidas, não atingindo a superfície terrestre; a UVB, situada entre 290nm e 320nm é prejudicial a quase todas as formas de vida e é a maior responsável pelas lesões na pele; a UVA inicia-se em 320nm indo até o visível (400nm). É composta por UVA2- de 320nm – 340nm que é mais eritematosa e o UVA1, menos eritematosa (o eritema é o sinal de alerta para o dano causado à pele). A radiação UVA é de 800 a 1000 vezes menos ativa que o UVB na pele, porém penetra, pelas suas características físicas, mais profundamente, provocando danos principalmente na derme (CETESB, 2020).

Tabela 3: Comprimento de onda.

Tipo	Faixa de Comprimento de Onda (nm = 10⁻⁹ m)
UVC Invisível	100 - 280
UVB Invisível	280 - 315
UVA Invisível	315 - 400
Visível	400 - 800
Infra Vermelho	>800

Fonte: Cetesb.sp.gov.br

3.5. Produtos de cuidado pessoal (PCP's) - Pharmaceuticals and Personal Care Products

Produtos de cuidado pessoal (PCPs) incluem diversos itens como sabonetes, loções, pasta de dente, perfumes, cosméticos e protetor solar. Os PCPs possuem em sua composição óleos, surfactantes, bactericidas, compostos de alto peso molecular, absorvedores de radiação ultravioleta, agentes sequestrantes, pigmentos e fragrâncias, dentre outros (VECCHIO, 2019).

Como os PCPs são utilizados em larga escala sua presença em águas está recebendo atenção crescente da comunidade científica com recentes estudos indicando o potencial tóxico desses compostos no meio ambiente (BRAUSCH; RAND, 2011).

Eles são considerados como sendo potencialmente perigosos pelo fato de que muitos deles são persistentes e biologicamente ativos, assim como os hormônios, os PCPs também são classificados como desreguladores endócrinos (CALIMAN; GAVRILESCU, 2009).

3.6. Alaranjado de Metila

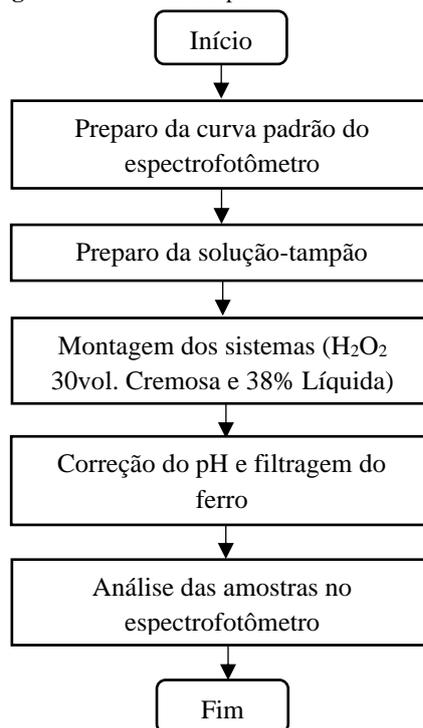
A substância química alaranjado de metila é um produto orgânico, ocorrendo na forma de pó cristalino na temperatura ambiente, de coloração amarelo alaranjado, praticamente inodoro; solúvel em água quente e insolúvel em álcool é usualmente usada como indicador em titulações (FISPQ, 2005).

Os corantes são substâncias normalmente utilizadas em análises laboratoriais, assim gerando uma grande quantidade de resíduos lançados para efluentes, causando danos tanto ao meio ambiente quanto à saúde de pessoas. Entre os mais utilizados se encontra o grupo cromóforo azo, do qual o Alaranjado de Metila faz parte, sendo assim um ótimo exemplo a ser utilizado durante o procedimento de eficiência do uso dos Processos Oxidativos Avançados (DAVIS, *et al.*, 2011).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

As práticas do projeto foram realizadas nos laboratórios da ETEC Trajano Camargo, todos os equipamentos e reagentes foram providenciados pela mesma, e a prática foi realizada sob supervisão da orientadora e do coorientador, respeitando as medidas de prevenção ao COVID-19. A prática consistiu na avaliação do método FENTON na quebra de um corante orgânico, o Alaranjado de Metila.

Figura 5: Atividades experimentais desenvolvidas



Fonte: Acervo pessoal, 2021.

4.1. Preparo da curva padrão do espectrofotômetro

Para a calibração do espectrofotômetro, fez-se uma solução de Alaranjado de Metila a 0,003M como solução base para a criação da curva. Foram adicionados 1 ml de solução em balões volumétricos de 25 ml, 50 ml e 100 ml que foram completos com água destilada em seguida. Logo após foram adicionados 0,5 ml do corante a um balão de 25ml e completou-se com água destilada. As soluções foram analisadas em um espectrofotômetro utilizando um comprimento de onda de 464nm.

4.2. Preparo da solução-tampão

Preparou-se cerca de 100 ml de uma solução-tampão ácida a base de acetato de sódio e ácido acético, a solução foi preparada diluindo 5ml de ácido acético P.A. a 95ml de água destilada e logo após adicionou-se 1,10g de acetato de sódio P.A.

4.3. Montagem dos sistemas (H₂O₂ 30vol. Cremosa e 37% Líquida)

Para os estudos dos sistemas FENTON foram preparadas duas soluções com única diferença sendo o tipo de peróxido de hidrogênio utilizado. Utilizou-se 1 ml da solução base de corante, 0,5g de sulfato de ferro II, 5 ml da solução-tampão ácida para ambas as soluções, em seguida ao primeiro béquer adicionou-se 8ml de água oxigenada 35% enquanto ao outro béquer foi adicionado 8 ml da água oxigenada cremosa 30vol. (ADV Beauty), as soluções foram levadas aos 100 ml utilizando água destilada cada uma em um béquer de 250ml, o pH das soluções foi verificado utilizando um papel indicador de pH universal, constando em ambas um pH entre 3 e 4. Cerca de 5ml de cada amostra foi separado em dois béqueres de 50ml para análise espectrofotômetro posteriormente. As amostras foram tampadas utilizando uma placa de petri para cada e levadas a dois agitadores magnéticos (NT103 Novatecnica) por uma hora em velocidade média. Ao término do processo as amostras foram transferidas para dois frascos de vidro e deixadas em repouso.

4.4. Correção do pH e filtragem do ferro

Para a correção do pH da solução foi preparado 100ml uma solução 1,385M de hidróxido de sódio P.A., adicionou-se com uma pipeta graduada 8ml da base a cada uma das amostras, agitou-se bastante com a baqueta de vidro. O pH foi verificado utilizando um papel indicador universal de pH. Levaram-se as amostras a repouso e montou-se dois sistemas simples de filtragem utilizando papel de filtro qualitativo. Filtrou-se as duas amostras ao decorrer de cinco minutos, o procedimento foi repetido uma segunda vez e o filtro foi lavado com água

destilada ao final de cada filtração. Após a filtração, corrigiu-se novamente o pH utilizando gotas de ácido clorídrico 0,1M.

4.5. Análise das amostras no espectrofotômetro

Preparou-se uma solução branco, utilizando a mesma formulação das amostras dessa vez sem o analito, o espectrofotômetro foi calibrado para um comprimento de onda de 464nm e após aclimação das cubetas foi posicionou-se no aparelho, respectivamente a cubeta blank e as cubetas com amostras antes do acontecimento do processo, anotou-se os resultados e as cubetas de amostras foram substituídas por outras duas já aclimatadas com os analitos pós processo, anotou-se os resultados, as cubetas foram removidas e lavadas utilizando água destilada e papel higiênico macio.

5. DISCUSSÃO DE RESULTADOS

5.1. Preparo da curva padrão do espectrofotômetro

Os resultados obtidos durante os ensaios no espectrofotômetro foram os descritos e caracterizados na Tabela 4.

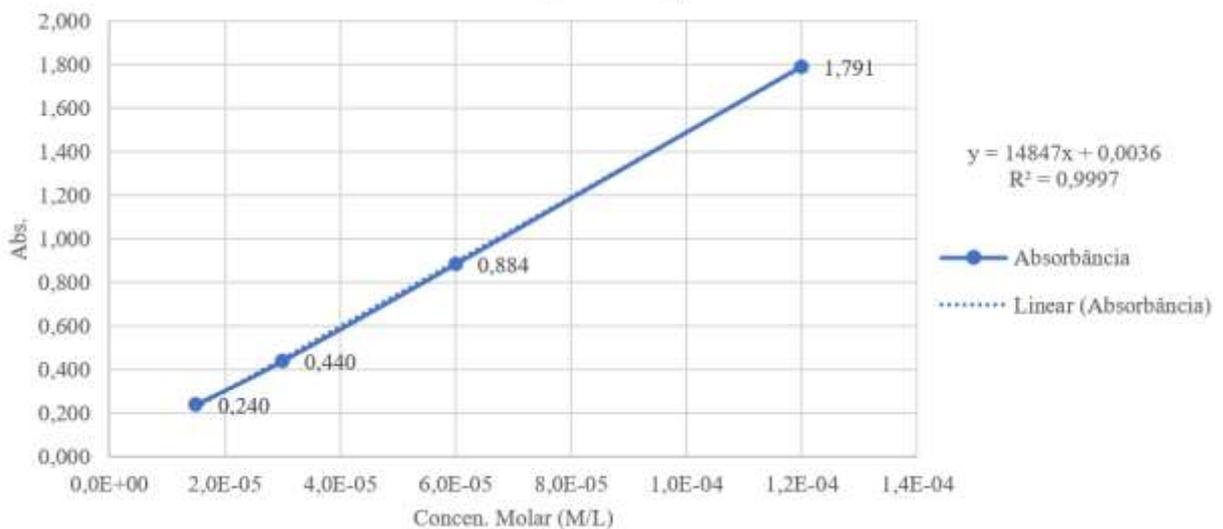
Tabela 4: Ensaios da curva padrão do Alaranjado de Metila

Concentração Mol p/ Litro:	1,5E-05M (M/L)	3,0E-05M (M/L)	6,0E-05M (M/L)	1,2E-04M (M/L)
Absorbância:	0,240	0,440	0,884	1,791

Fonte: Acervo pessoal, 2021.

A partir dos resultados obtidos a organização de uma curva padrão nos permite calcular a concentração de alaranjado de metila nas amostras, entrando com o valor da absorbância no comprimento de onda 464nm, na curva de calibração da absorbância, formado em função da concentração de alaranjado de metila que se encontra exposto na Figura 4. A curva tem Coeficiente de Determinação (R^2) igual a 0,9997 com sua fórmula presente na Figura 6 (VOGEL, 2008).

Figura 6: Curva de calibração - Alaranjado de Metila.
Curva de calibração - Alaranjado de Metila

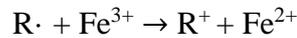


Fonte: Acervo pessoal, 2021.

5.2. Preparo da solução-tampão

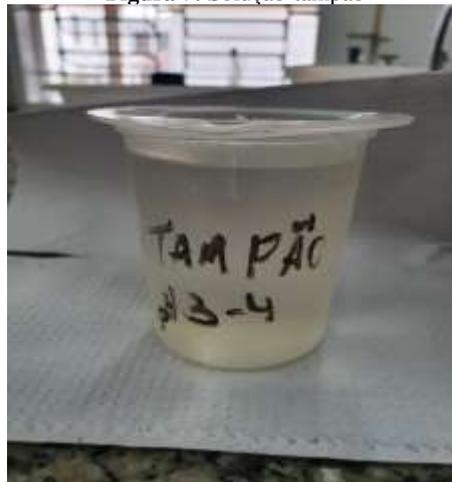
A solução tampão se tornou necessária durante o experimento, devido a possível precipitação do íon Fe^{3+} em sua forma básica, $Fe(OH)_3$, na presença de OH^- , quando a solução

não se encontra ácida. O que não é desejável, pois isso diminuiria, ou até mesmo impediria com que certa quantidade de Fe^{3+} que reagisse novamente com o peróxido de hidrogênio, renovando-o para Fe^{2+} observado na Equação 24, para a continuação do processo (NOGUEIRA, 2007).



Visto que a precipitação do $\text{Fe}(\text{OH})_3$, era de ser evitado durante o processo, o grupo escolheu o uso de uma solução-tampão ácida, como meio evitar a precipitação, como apresentado por CAVALCANTI (2016), é improvável a formação do $\text{Fe}(\text{OH})_3$ quando o processo ocorre na faixa de pH ácida, com preferência observada de 3-4. Escolhido então uma mistura a base ácido acético e acetato de sódio, por sua facilidade de obtenção e manuseio, ao fim do preparo obteve-se 100ml do tampão utilizado nos sistemas H_2O_2 . Seu pH foi constado a 3,54 utilizando um pHmetro calibrado anteriormente.

Figura 7: Solução-tampão



Fonte: Acervo pessoal, 2021.

5.3. Montagem dos sistemas (H_2O_2 30vol. Cremosa e 37% Líquida)

O tratamento do efluente sintético, objeto de estudo neste trabalho, foi analisado de dois modos diferentes, utilizando peróxido de hidrogênio 38% P.A. e peróxido de hidrogênio 30vol. cremoso, obtido comercialmente, ambos sob o processo FENTON. Baseado nos ensaios de SALES (2019, p. 3), “[...]foi constatado que, ao utilizar $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ como catalisador, a relação de $\text{Fe}:\text{H}_2\text{O}_2$ 1:18 apresentou a maior eficiência após 60 minutos de tempo de reação, com eficiência de remoção do corante de 90,3% [...]”, o grupo seguiu os processos de modo similar, utilizando a mesma proporção (0,5g e 9ml), com o mesmo tempo de reação de 60

minutos. Os dois ensaios preparados simultaneamente foram posicionados sobre agitadores magnéticos e tampados utilizando placas de petri, a fim de evitar os respingos.

Figura 8: Sistema da solução de peróxido de hidrogênio (30 vol. Cremosa e 38% Líquida).



Fonte: Acervo pessoal, 2021.

Durante o processo a coloração observada nos dois ensaios foram tons avermelhados inicialmente devido ao pH baixo da solução que fazia com que o corante obtivesse uma cor vermelha vibrante, mas que ao decorrer do tempo e ao decorrer do processo escureceram, possivelmente pela formação do íon Fe^{3+} no sistema a partir da principal reação da metodologia FENTON, sendo a análise que utilizava peróxido de hidrogênio cremoso, apresentou uma coloração mais escura ainda como observado na Figura 8, observado também durante o processo no sistema de peróxido cremoso, houve a formação de uma espessa camada de bolhas mostrado na Figura 9, derivada da presença de uma base auto emulsionante na composição do peróxido, composta de álcool cetílico, cloreto de cetrimônio, Cetareth-20 e etanol, que tinha como objetivo de acordo com Focus Química (2018) “[...]fornece uma rica textura, espuma ultra refinada e um exclusivo toque sedoso. Proporciona hidratação prolongada e aumenta a biodisponibilidade de ativos da fórmula [...]”.

O ensaio utilizando peróxido P.A. não foi observado nenhuma mudança posterior na aparência da amostra além do escurecimento devido ao Fe^{3+} , vale notar que houve uma quantidade pequenas de bolhas formadas provavelmente devido a agitação mediana constante do agitador magnético Figura 10.

Figura 9: Sistema pós-agitação (30 vol. Cremosa).



Fonte: Acervo pessoal, 2021.

Figura 10: Sistema pós-agitação (38% Líquida).



Fonte: Acervo pessoal, 2021.

5.4. Correção do pH e filtragem do ferro

Devido a sensibilidade de mudança de cor do corante a mudança de pH observado na Figura 11. O pH das soluções objetos de estudo devem serem corrigidas para neutro onde foram feitas as medidas iniciais da curva padrão do alaranjado de metila. Visto que o íon Fe^{3+} também atrapalha a análise pois, se apresenta em solução com cor alaranjada escura, o método mais fácil para sua remoção e juntamente a correção do pH da solução foi a adição de hidróxido de

sódio forçando desse modo a precipitação íon em sua forma básica, hidróxido do ferro que acontece quando está presente em uma solução alcalina.

À medida que a base foi adicionada as soluções adquiriram uma cor escura (Figura 12), causada pela formação do hidróxido de ferro, que rapidamente precipitou para o fundo dos béqueres, o pH da solução foi levado até 10 e para a certeza de que todo o ferro precipitou, a solução foi agitada manualmente alguns segundos e foi deixada em repouso por um minuto.

Figura 11: Faixa de pH - Alaranjado de Metila.



Fonte: <https://www.researchgate.net/>.

Figura 12: Sistema pós-adicação de NaOH.



Fonte: Acervo pessoal, 2021.

Como pode ser observado na Figura 12, a esquerda, o experimento utilizando peróxido 38% P.A. o ferro precipitou totalmente para o fundo do béquer, mas a direita, o experimento que utilizava o peróxido cremoso, além da precipitação do ferro, houve a formação de um precipitado menos denso que a solução, possivelmente causado pela presença da base auto emulsionante. Após o repouso ambas foram levadas a filtragens simples utilizando filtros de papel qualitativo com objetivo de reter a precipitação do ferro e do auto emulsionante.

Após duas filtrações e a lavagem do filtro foi observado que o filtrado não apresentava nenhuma coloração alaranjada ou amarelada (**Figura 13**), o que era de se esperar pela presença do alaranjado de metila, indicando que houve uma boa degradação do mesmo devido a metodologia FENTON aplicada. O pH das soluções foram verificados e corrigidos novamente usando ácido clorídrico 0,1M para o neutro, com objetivo de que as condições de análises no espectrofotômetro sejam as mesmas da curva padrão e que a cor do corante se ainda presente não seja alterada.

Figura 13: Sistema pós-filtragem.



Fonte: Acervo pessoal, 2021.

5.5. Análise das amostras no espectrofotômetro

As amostras foram analisadas no espectrofotômetro utilizando o comprimento de onda de 464nm, analisou-se também o branco preparado momentos antes, e o resultado foi comparado e compilado com os resultados antes do processo acontecer Tabela 5.

Tabela 5: Análises do Alaranjado de Metila.

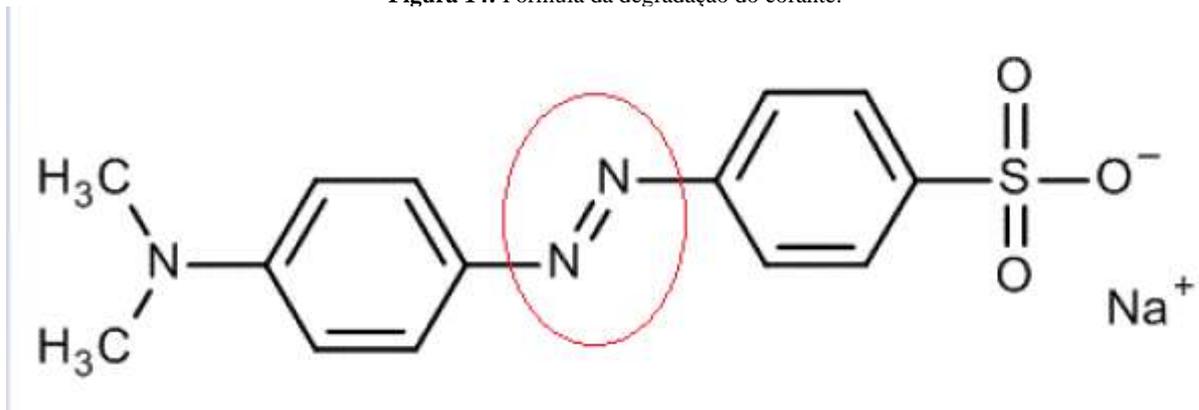
Amostra:	Peróxido 38% P.A.	Peróxido Cremoso 30Vol.
Concentração (M/L):	3E-05	3E-05
Absorbância (Antes):	0,425	0,438
Absorbância (Depois):	0,047	0,033

Fonte: Acervo pessoal, 2021.

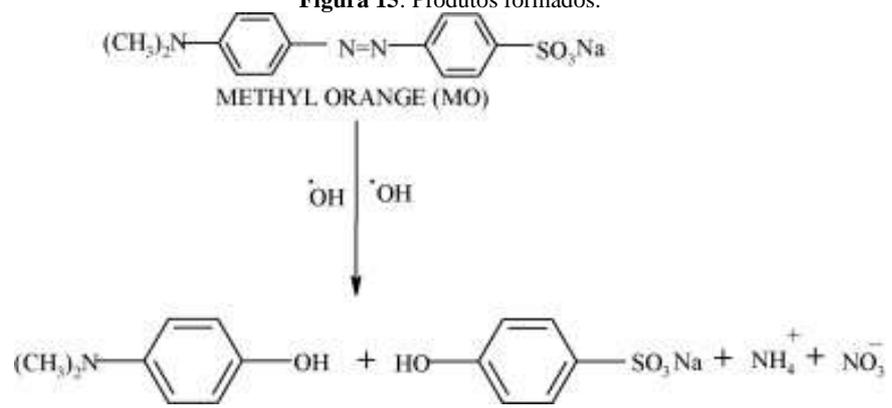
A absorvância obtida com os resultados, mostra que houve redução na concentração da maioria do corante, o que pode ser percebido na aparência da solução que aparece em maior parte incolor. Utilizando a fórmula da curva padrão foi observado que a concentração inicial das soluções se aproximava de $2,83E-5M$ para o peróxido 38% e $2,92E-5M$ para o peróxido cremoso, antes da aplicação do processo FENTON. Após o processo a concentração de ambos caiu drasticamente, para respectivamente $2,92E-6M$ e $1,9E-6M$, cerca de 10,24% e 6,5% de corante restante em cada amostra, mostrando que o processo teve uma eficiência geral de 91,65% na degradação do corante, compatível com os resultados de degradação de SALES (2019, p. 3) “[...]a relação de $Fe:H_2O_2$ 1:18 apresentou a maior eficiência após 60 minutos de tempo de reação, com eficiência de remoção do corante de 90,3% [...]”.

A degradação do corante se deu provavelmente na quebra da dupla ligação entre nitrogênios que liga as duas cadeias aromáticas do alaranjado de metila, destacado na Figura 14, apresentado nas pesquisas de GIRISH (2009), formando os produtos da Figura 15. 4-dimetilaminofenol, 4-hidroxibenzeno-1-sulfonato de sódio, amônio e o íon nitrato. Vale ressaltar que a degradação não necessariamente termina nessa reação, ela pode reagir com os produtos da primeira reação e degradá-los, em compostos menores e menos complexos.

Figura 14: Fórmula da degradação do corante.



Fonte: <https://www.sciencedirect.com/>.

Figura 15: Produtos formados.

Fonte: <https://www.sciencedirect.com/>.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A tecnologia dos Processos Oxidativos Avançados (POAS) apresenta ser uma alternativa para o tratamento de poluentes orgânicos tóxicos presentes na água, visto que demonstra uma rápida mineralização de resíduos químicos de grande valor ambiental.

O estudo empregou uma metodologia simples, o processo FENTON, para observar e discutir sua eficiência perante o tratamento de resíduos orgânicos em um meio aquoso, com a presença de um corante como poluente. Além disso, discutir sobre sua viabilidade e suas variações físicas e químicas no processo de degradação.

O processo FENTON baseia-se na oxidação do Fe^{2+} e a decomposição do peróxido de hidrogênio. A combinação destes dois reagentes funciona como catalisador e reagente oxidante, respectivamente, agindo na decomposição do peróxido de hidrogênio (H_2O_2) em meio aquoso com caráter ácido, formando radicais de hidroxila extremamente reativos, oxidando Fe^{2+} a Fe^{3+} . Em suma, as moléculas orgânicas poluentes poderão ser oxidadas pelos radicais hidroxila e podem ser analisadas em um espectrofotômetro.

A partir dos fundamentos desse processo oxidativo, foram preparadas 2 soluções com mesmas proporções de reagentes, apenas se diferenciando pela utilização de peróxido de hidrogênio diferentes. As amostras continham 0,5ml de alaranjado de metila, 0,5g de sulfato de ferro II, 5 ml da solução tampão e a adição de peróxido de hidrogênio (37%) na primeira amostra e peróxido de hidrogênio emulsificado (30V) na segunda amostra. Após a agitação e repouso das soluções, houve a correção do pH adicionando 8 ml de hidróxido de sódio (1,385M) em uma solução de 100ml e 7 gotas de ácido clorídrico (0,1M). Em seguida as soluções mantidas em descanso, foram filtradas 2 vezes seguidas e analisadas no espectrofotômetro calibrado na faixa de 464nm.

A solução I que continha o peróxido de hidrogênio (37%), apresentou uma coloração vermelha vibrante, enquanto a solução II que continha o peróxido de hidrogênio emulsificado (30v), obteve um tom vermelho escuro. Vale ressaltar que durante o processo de agitação, as duas soluções escureceram, possivelmente pela formação de Fe^{3+} . Além disso, houve a formação de uma espessa camada de bolhas na solução II, devido a composição de reagentes emulsificantes na base. A adição de hidróxido de sódio para a correção do pH, resultou na catalização no processo de precipitação do íon de $Fe(OH)_3$. É interessante ressaltar a diferença dos precipitados em ambas as amostras, pois na solução I, foi possível observar a precipitação densa do ferro no fundo do béquer, e na solução II, houve a formação de um precipitado menos denso que a solução. Finalmente após a filtragem das soluções, obteve-se soluções com a

aparência límpida. Em seguida, os produtos foram sujeitos a análise no espectrofotômetro, que pelos cálculos da curva padrão, chegou a uma eficiência geral de 91,65% na degradação do corante. Lembrando que, inicialmente, as soluções apresentavam uma concentração de $2,83E-5M$ para o peróxido de 38% e $2,92E-5M$ para o peróxido emulsificado, no final do processo, a concentração caiu para $2,92E-6M$ e $1,9E-6M$ respectivamente, ou seja, 10,24% (Solução I) e 6,5% (Solução II) de corante restante nas amostras. Entretanto não foi possível detectar os componentes contidos na solução no final do processo. Por esse motivo, novos estudos poderão ser realizados para a determinação de compostos presentes no produto da análise e sua retirada daqueles componentes que ameaçam a saúde, também, a utilização de outros processos, como o FOTO-FENTON.

REFERÊNCIAS

ADAMS, C. D; FUSCO, W; KANZELMEYER, T. *Ozone, hydrozen peroxide/ozone and UV/zone treatment of chromium-and copper-complex dyes: decolorization and metal release*. *Ozone Sci. Eng*, v. 17, p. 149-162, 1995.

ALMEIDA, A. V. M. **Degradação de poluentes emergentes em águas através de processos integrados com ozônio**. 2017. 68 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto - Portugal, 2017. Disponível em: <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/107103/2/210947.pdf>. Acesso em: 3 set. 2021.

ARAÚJO, B. A; SOUZA, J. E. S; SARMENTO, K. K. F; REBOUÇAS, L. D; MEDEIROS, K. M; LIMA, C. A. P. **Processos oxidativos avançados aplicados no tratamento da produção de membranas: revisão de literatura**. *Research, Society and Development*, Paraíba, v. 10, n. 4, e27210414253, 2021. DOI <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i4.14253>. Disponível em: <file:///C:/Users/admin/Downloads/14253-Article-184223-1-10-20210410.pdf>. Acesso em: 2 set. 2021.

ARAÚJO, K. S; ANTONELLI, R; GAYDECZKA, B. *et al.* **Processos oxidativos avançados: uma revisão de fundamentos e aplicações no tratamento de águas residuais urbanas e efluentes industriais**. 2016. 388 p. Dissertação (Mestrado Profissional em Inovação Tecnológica) – Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Triângulo Mineiro, 2016. DOI 10.4136/1980-993X. Disponível em: <file:///C:/Users/admin/Downloads/1980-993X-ambigua-11-02-00387.pdf>. Acesso em: 25 fev. 2021.

ARCANJO, G. S; MOUNTEER, A. H; BELLATO, C. R; DA SILVA, L. M. M; DIAS, S. H. B; DA SILVA, P. R. *Heterogeneous photocatalysis using TiO₂ modified with hydrotalcite and iron oxide under UV-visible irradiation for color and toxicity reduction in secondary textile mill effluent*. *Journal of Environmental Management*. 211, 154-163. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.01.033>.

AMETA, S. C. *Advanced Oxidation Processes for Waste Water Treatment: Emerging Green Chemical Technology*. *Academic Press*, 1-12.

BABAEI, A. A; KAKAVANDI, B; RAFIEE, M; KALANTARHORMIZI, F; PURKARAM, I; AHMADI, E; ESMAEILI, S. *Comparative treatment of textile wastewater by adsorption, Fenton, UV-Fenton and US-Fenton using magnetic nanoparticles functionalized carbon*. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, n. 3513, p. 12, 2017.

BRANCO, N. M. C; ALBERT, A. L. M; ROMÃO, C. M. C. P. A. **Poluentes emergentes: antimicrobianos no ambiente, a educação ambiental e o aspecto regulatório nacional e internacional**. *Research, Society and Development*, Brasil, v. 10, n. 8, e16910817083, 2021.

DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i8.17083>. Disponível em: <file:///C:/Users/admin/Downloads/17083-Article-219576-1-10-20210710.pdf>. Acesso em: 4 set. 2021.

BRAUSCH, J. M.; RAND, G. M. *A review of personal care products in the aquatic environment: environmental concentrations and toxicity*. *Chemosphere*, v. 82, n. 11, p. 1518-1532, 2011.

BRITO, I. **Processos oxidativos avançados – POA's**. Disponível em: <https://slideplayer.com.br/slide/279245/>. Acesso em: 25 fev. 2021.

CALIMAN, F. A.; GAVRILESCU, M. *Pharmaceuticals, personal care products and endocrine disrupting agents in the environment—a review*. *CLEAN—Soil, Air, Water*, v. 37, n. 4-5, p. 277-303, 2009.

CAVALCANTI, J.E.W.A. **Manual de tratamento de efluentes industriais**. 1ed. SP: J.E. CAVALCANTI, 2009.

CAVALCANTI, J. E. W. A. **Processos Oxidativos Avançados (POA) modelo de tratamento associando o processo fenton com depuração**. Disponível em: <https://tratamentodeagua.com.br/wp-content/uploads/2018/05/PROCESSOS-OXIDATIVOS-AVAN%3%87ADOS-REA%3%87%3%83O-DE-FENTON>. Acesso em: 10 mar. 2021.

CHOI, W. Y; HOFFMANN, M. R. *Novel photocatalytic mechanisms for CHCl₃, CHBr₃, and CCl₃CO₂- degradation and the fate of photogenerated trihalomethyl radicals on TiO₂*. *Environ. Sci. Technol*, v.31, p.89-95, 1997.

COSTA, G; CANGERANA, FERNANDA. **Estudo do processo oxidativo avançado como uma alternativa tecnológica e eficaz no tratamento de efluentes**. *RETC*, ed. 19, p. 63-84, out. 2016. Disponível em: <https://www.tratamentodeagua.com.br/wpcontent/uploads/2016/11/Estudo-do-processo-oxidativo-avan%3%A7ado-como-umaalternativa-tecnol%3%B3gica-e-eficaz-no-tratamento-de-efluentes.pdf>. Acesso em: 2 set. 2021.

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

DAVIS, R; SIPP, B. M; POGGERE, P. A; MONTANHER, S. F; LOBO, V. S; ROSA, M. F. **Comparação de métodos degradativos do azo corante alaranjado de metila**. *CBQ*, São Luís, 2011. Disponível em: <http://www.abq.org.br/cbq/2011/trabalhos/5/5-572-2053.htm>. Acesso em: 2 set. 2021.

DOMÈNECH, X; JARDIM, W. F; LITTER, M. I. *Procesos avanzados de oxidación para la eliminación de contaminantes*. In: *Eliminación de Contaminantes por Fotocatálisis Heterogênea*. Cap. 1, Rede CYTED, La Plata, 2001.

DUTTA, K; MUKHOPADHYAY, S; BHATTACHARJEE, S; CHAUDHURI, B. *Chemical oxidation of methylene blue using a Fenton-like reaction*. *Journal of Hazardous Materials*: B84 57-71, 2001.

EBRAHIEM, E; AL-MAGHRABI, M. N; MOBARKI, A. R. *Removal of organic pollutants from industrial wastewater by applying photo-Fenton oxidation technology*. *Arabian Journal of Chemistry*, v. 10, p. S1674-S1679, mai. 2017.

Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos. FISPQ. Disponível em: <http://www.analista.com.br/fichas/Alaranjado%20de%20Metila.htm>. Acesso em: 2 set. 2021.

FIGUEIREDO, M; SANTOS, L. P; SCHMACHTENBERG, N. **Processos oxidativos avançados: fundamentos e aplicação ambiental**. REGET/UFMS, Santa Maria, v. 8, n. 1, p. 79-91, abr. 2014. DOI 10.5902/2236117010662. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/reget/article/viewFile/10662/pdf>. Acesso em: 10 mar. 2021.

FLORES, R. G. **Aplicação de processos oxidativos avançados homogêneos e heterogêneos na degradação de efluentes de curtume**. 2008. 76 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/7701/RUBIAGOMESFLORES.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 10 mar. 2021.

FURTADO, M. **Processos Oxidativos Avançados – Indústria e universidade difundem uso de POA's para destruir contaminantes**. Disponível em: <https://www.quimica.com.br/processos-oxidativos-avancados-industria-e-universidade-difundem-uso-de-poas-para-destruir-contaminantes/>. Acesso em: 10 mar. 2021.

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 Fotocatálisis Heterogénea*, 2001.

GHIME, D; GOSH, P. *Advanced oxidation processes: A powerful treatment option for the removal of recalcitrant organic compounds*. Disponível em: <https://www.intechopen.com/books/advanced-oxidation-processes-applications-trends-andprospects/advanced-oxidation-processes-a-powerful-treatment-option-for-the-removal-ofrecalcitrant-organic-com>. Acesso em: 25 fev. 2021.

GONÇALVES, E. S; RODRIGUES, S. V; SILVA-FILHO, E. V. *The use of caffeine as a chemical marker of domestic wastewater contamination in surface waters: seasonal and spatial variations in Teresópolis, Brazil*. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1980993X2017000200192&lng=en&nrm=iso&tlng=en. Acesso em: 25 fev. 2021.

GOSH, M. *The future of water treatment: advanced oxidation process*. Disponível em: <https://iwa-network.org/the-future-of-water-treatment-advanced-oxidation-process/>. Acesso em: 25 fev. 2021.

GUERRA, M. M. H; ALBEROLA, I. O; RODRIGUEZ, S. M; LÓPEZ, A. A; MERINO, A. A; LOPERA, A. E; ALONSO, J. M. Q. *Oxidation mechanisms of amoxicillin and paracetamol in the photo-Fenton solar process*. *Water Research*, 156, 232-240. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.02.055>.

HERNANDEZ, R.; ZAPPI, M.; COLLUCI, F.; JONES, R. *Comparing the performance of various advanced oxidation process for treatment of acetone contaminated water*. *Journal Hazardous Materials*, v. 92, p. 33-50, 2002. Disponível em: [http://dx.doi.org/10.1016/S0304-3894\(01\)00371-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0304-3894(01)00371-5). Acesso em: 10 mar. 2021.

HOFFMANN, M. R; MARTIN, S. T; CHOI, W; BAHNEMANN, D. W. *Environmental Applications of Semiconductor Photocatalysis*. *Chem. Rev.*, v.95, p.69-96, 1995.

HOLKAR, C. R; JADHAV, A. J; PINJARI, D. V; MAHAMUNI, N. M; PANDIT, A. B. *A critical review on textile wastewater treatments: Possible approaches*. *Journal of Environmental Management*, n. 182, p. 351-366, 2016.

HOPPER, D. P. **Tratamento de efluentes de indústrias têxteis utilizando processos oxidativos avançados**. 2007. 59 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2007. Disponível em: https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/6047/1/arquivo113_1.pdf. Acesso em: 2 set. 2021.

HUANG, C. P; DONG, C; TANG, Z. *Advanced chemical oxidation: its presente role and potencial future in hazardous wate treatment*. *Waste Mange*. v. 13, p. 361-377, 1993. Implementação da Convenção de Estocolmo no Brasil. CETESB. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/centroregional/a-convencao/implementacao-da-convencao-deestocolmo-no-brasil/>. Acesso em: 3 set. 2021.

Informações sobre radiação CETESB. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/prozoesp/materiais-de-apoio/informacoes-de-radiacao/>. Acesso em: 10 mar. 2021.

JARDIM, W. F. **Caderno temático - processos oxidativos avançados: conceitos teóricos**. In: TEIXEIRA, C. P. A. B. (org). 2004. 83 f. Instituto de Química; Laboratório de Química Ambiental, Universidade Estadual de Campinas, 2004. Disponível em: <https://lqa.iqm.unicamp.br/cadernos/caderno3.pdf>. Acesso em: 2 set. 2021.

LEGRINI, O; OLIVEIROS, E; BRAUN, A. M. *Photochemical process for water treatment*. *Chem. Revi*, v. 93, n. 2, p. 671-698, 1993.

MANZILLE, F; SPUHLER, D. *Advanced oxidation process*. Disponível em: <https://sswm.info/sswm-university-course/module-6-disaster-situations-planning-andpreparedness/further-resources-0/advanced-oxidation-processes>. Acesso em: 2 set. 2021.

MARCELINO, R. B. P. **Aplicação de Processos Oxidativos Avançados para o tratamento de efluente da produção de antibióticos**. 2014. 148 p. Dissertação (Mestrado Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia da UFMG, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2014. Disponível em: <http://www.smarh.eng.ufmg.br/defesas/1147M.PDF>. Acesso em: 10 mar. 2021.

MARTENDAL, J. M. P; SANTOS. A; THOMAZINI, M. H; MOTTA, C. V. **Determinação dos parâmetros analíticos do alaranjado de metila por espectroscopia UV-VIS**. ENTEQUI, Rio de Janeiro, 2011. Disponível em: <http://www.abq.org.br/entequi/2011/trabalhos/1/1-18-10940.htm>. Acesso em: 3 set. 2021.

M'BRA, I. C; GARCÍA-MUÑOS, P; DROGUI, P; KELLER, N; TROKOUREY, A; Robert, D. *Heterogeneous photodegradation of Pyrimethanil and its commercial formulation with TiO₂ immobilized on SiC foams*. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 368, 1-6. <https://doi.org/10.1016/j.jphotochem.2018.09.007>.

MONTAGNER, C. C; JARDIM, W. F. *Spatial and seasonal variations of pharmaceuticals and endocrine disruptors in the Atibaia River, São Paulo State (Brazil)* – Instituto de Química, Universidade de Campinas, 2015. DOI 10.1590/S0103-50532011000800008. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S010350532011000800008. Acesso em: 25 fev. 2021.

MOTA, A. L. N; ALBUQUERQUE, L. F; BELTRAME, L. T. C. *et al. Advanced oxidation process and their application in the petroleum industry: a review*. Disponível em: <http://www.nupeg.ufmg.br/foteq/pdfs/ADVANCED%20OXIDATION%20PROCESSES%20AND%20THEIR%20APPLICATION%20IN>. Acesso em: 25 fev. 2021.

NOGUEIRA, R. F. *et al. Fundamentos e aplicações ambientais dos processos Fenton e foto-Fenton*. *Química nova*, v. 30, n. 2, p. 400-408, 2007.

O'SHEA, K. E; DIONYSIOU, D. D. *Advanced oxidation processes for water treatment*. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/jz300929x>. Acesso em: 25 fev. 2021.

OLIVEIRA, C. **Metais pesados, hormônios e agrotóxicos estão na água que chega às torneiras**. Disponível em: <https://www.redebrasilatual.com.br/saude->

eciencia/2018/03/esgoto-hormonios-metais-pesados-e-agrotoxicos-estao-em-amostras-de-aguaque-chega-as-torneiras/. Acesso em: 25 fev. 2021.

OLIVEIRA, J. S. *et al.* **Preparação do sistema Fe₂O₃/ZSM-5 para uso como catalisador na reação foto-Fenton.** *Cerâmica*, v. 62, n. 363, p. 281-287, 2018.

Os remédios que você toma podem estar contaminando peixes eCYCLE. Disponível em: <https://www.ecycle.com.br/component/content/article/63-meio-ambiente/2755-remediosvoce-toma-contaminam-agua-meio-ambiente-peixes-estrogenio-antidepressivos-natalidadedescarte-incorreto-alteracao-hormonal-agressividade-o-que-fazer-evitar-consumo-exageradodescarte-correto.html>. Acesso em: 25 fev. 2021.

PAULINO, T. R. S; ARAÚJO, R. S; SALGADO, B. C. B. **Estudo de oxidação avançada de corantes básicos via reação Fenton (Fe²⁺/H₂O₂).** Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Maracanaú, v. 20, n. 3, p. 347-352, jul./set. 2015. DOI 10.1590/S141341522015020000111627. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/QKMtpqZvBF8bLyCTKLXNYNh>. Acesso em: 2 set. 2021.

PIMENTEL, P. M. *Pechini synthesis and characterization of eu³⁺ doped znco_{2o4} spinels.* Disponível em: https://www.researchgate.net/figure/Figura-4-Faixa-de-pH-alaranjado-de-metila_fig5_50985379. Acesso em: 20 nov. 2021.

Por que não devemos beber água da torneira? eCYCLE. Disponível em: <https://www.ecycle.com.br/component/content/article/43-drops-agua/3059-por-que-naodevemos-beber-agua-da-torneira-armazenamento-consumo-caixa-tratamento-abastecimentopublico-arsenico-vocs-fluoreto-metais-pesados-bacterias-virus-aluminio-cloro-remediossolucoes.html>. Acesso em: 25 fev. 2021.

Processos Oxidativos Avançados – USP. Disponível em: <https://sites.usp.br/adox/pesquisa/processos-oxidativos-avancados/>. Acesso em: 10 mar. 2021.

RENIERS, G. *Making evacuation decisions by using a discrete-time approximation methodology.* Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304389408012260>. Acesso em: 20 nov. 2021.

ROSA, G. **Água de 15 capitais tem sinal de contaminação, diz estudo.** Disponível em: <https://veja-abril-com-br.cdn.ampproject.org/v/s/veja.abril.com.br/saude/agua-de-15-capitaistem-sinal-de-contaminacao-diz-estudo/amp/>. Acesso em: 25 fev. 2021.

SALAZAR, R. F. S. **Aplicação de processo oxidativo avançado (POA) como pré-tratamento de efluente de laticínio para posterior tratamento biológico.** 2009. 210 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo, Lorena, 2009. Disponível em:

<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/97/97136/tde-25102012-134440/publico/EQD09002.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2021.

SANTOS, M. C. E; PEREIRA, N. M. S; LIMA, S. B; SILVA, M. L. A. **Catalisadores baseados em óxidos de ferro suportados em carvão ativado destinados à reação Fenton para degradação de poluentes orgânicos: uma revisão bibliográfica**. 2018. p. 343-253. Seminário Estudantil de Produção Acadêmica, Universidade de Salvador – Campus Costa Azul, Salvador. Disponível em: <file:///C:/Users/admin/Downloads/5580-22504-2-PB.pdf>. Acesso em: 2 set. 2021.

SILVA, L. G. M. **Processos de oxidação avançada como etapa de polimento para tratamento de efluente têxtil com integração de sistema de troca iônica**. 2018. 199 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/206127/PENQ0802T.pdf?sequence=-1>. Acesso em: 3 set. 2021.

SIMONENKO, E; GOMONOV, A; ROLLE, N. *et al. Modeling of H₂O₂ and UV oxidation of organic pollutants at wastewater post-treatment - St. Petersburg State Polytechnical University, Saint-Petersburg*, 2015 Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/81995601>. Acesso em: 25 fev. 2021.

SOUZA, A. P. S; PONTES, P. P. **Utilização de processo fenton para tratamento de efluente contendo corante disperso**. Disponível em: <https://tratamentodeagua.com.br/wp-content/uploads/2020/07/II-264-%E2%80%93UTILIZA%C3%87%C3%83O-DE-PROCESSO-FENTON-PARA-TRATAMENTO-DE-EFLUENTE-CONTENDO-CORANTE-DISPERSO>. Acesso em: 20 nov. 2021.

SOUZA, I. O; FAZA, L. P; JUSTO, R. M. **Processos oxidativos avançados**. 2014. 39 f. Instituto de Ciências Exatas, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora. Disponível em: https://www.ufjf.br/baccan/files/2012/11/Processos-OxidativosAvan%C3%A7ados_16_4_14.pdf. Acesso em: 2 set. 2021.

TEIXEIRA, C. P. A. B. **Estudo comparativo de tipos diferentes de processos oxidativos avançados**. 2002. 165 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002. Disponível em: file:///C:/Users/admin/Downloads/Teixeira_ClaudiaPolideAlmeidaBarea_D.pdf. Acesso em: 2 set. 2021.

TORRADES, C. P. A. B; GARCIA-MONTAÑO, J; GARCÍA-HORTAL, J. A; DOMÈNECH, X; PERAL, J. *Decolorization and mineralization of comercial reactive dyes under solar light assisted phot-Fenton conditions*. *Solar Energy*. v. 77, p. 573-581, 2004.

Tratamento aeróbio e anaeróbio de efluentes. EOS. Disponível em: <https://www.eosconsultores.com.br/tratamento-anaerobio-aerobio-efluentes/>. Acesso em: 3 set. 2021.

ULLIMAN, S. L; MCKAY, G; ROSARIO-ORTIZ, F. L; LINDEN, K. G. *Low levels of iron enhance UV/H₂O₂ efficiency at neutral pH*. *Water Research*, 130, 234-242. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.11.041>.

VANDEVIVERE, P. C; BIANCHI, R; VERSTRAETE, W. *Treatment and reuse of wastewater from the textile wet processing industry: review of emerging technologies*. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, v.72, n.4, p.289-302, 1998.

VECCHIO, P. **Degradação de contaminantes de diferentes classes por processos oxidativos avançados: O₃, O₃/UV e O₃/Al₂O₃**. 2019. 127 f. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Química) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2019. Disponível em: <https://l1library.org/document/zw0eme0y-degradacao-contaminantes-diferentes-classes-por-processos-oxidativos-avancados.html>. Acesso em: 3 set. 2021.

Você sabe o que são POA's e suas principais aplicações? Disponível em: <http://h2oengenharia.com.br/pt/voce-sabe-o-que-sao-poas-e-suas-principais-aplicacoes/>. Acesso em: 10 mar. 2021.