

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

RAYNE AZEVEDO GOMES

**FOTOCATÁLISE HETEROGÊNEA PARA TRATAMENTO DE EFLUENTE GERADO
EM UMA LAVANDERIA HOSPITALAR DE TELÊMACO BORBA-PR**

APUCARANA

2023

RAYNE AZEVEDO GOMES

**FOTOCATÁLISE HETEROGÊNEA PARA TRATAMENTO DE EFLUENTE
GERADO EM UMA LAVANDERIA HOSPITALAR DE TELÊMACO BORBA-PR**

**HETEROGENEOUS PHOTOCATALYSIS FOR TREATMENT OF EFFLUENT
GENERATED IN A HOSPITAL LAUNDRY IN TELÊMACO BORBA-PR**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental

Área de Concentração: Engenharia Ambiental

Linha de Pesquisa: Tecnologia Ambiental

Orientador: Prof. Dr. Thiago Gentil Ramires

Coorientadora: Profa. Dra. Milena Martins Andrade

APUCARANA

2023



Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Londrina



RAYNE AZEVEDO GOMES

FOTOCATÁLISE HETEROGÊNEA PARA TRATAMENTO DE EFLUENTE GERADOS EM UMA LAVANDERIA HOSPITALAR DE TELÊMACO BORBA-PR

Trabalho de pesquisa de mestrado apresentado como requisito para obtenção do título de Mestre Em Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Área de concentração: Engenharia Ambiental.

Data de aprovação: 01 de Setembro de 2023

Thiago Gentil Ramires, - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dra. Ana Maria Da Cruz Ferrari, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Edmilson Antonio Canesin, - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dr. Luiz Ricardo Nakamura, Doutorado - Universidade Federal de Lavras (Ufla)

Documento gerado pelo Sistema Acadêmico da UTFPR a partir dos dados da Ata de Defesa em 03/09/2023.

Dedico este trabalho a minha mãe Fátima e ao meu pai Edson, aos meus Irmãos Ohana e Leonardo, minhas cunhadas Kessi e Kelly, minha sogra Leni e em especial, ao meu Marido Bruno e meu Filho Lorenzo, por toda a paciência e apoio.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a **Deus**, que me deu vida, oportunidades, força e persistência para concluir mais este objetivo.

Aos meus pais, **Edson Carneiro Gomes e Fátima Alves de Azevedo** pessoas nas quais me espelho, para ser uma pessoa melhor, nunca esquecendo tudo o que fizeram por mim e me ensinaram.

A minha família mais especificadamente meu Irmão **Leonardo Azevedo**, minha cunhada **Kelly Iarosz** e minha querida sogra **Leni Iarosz** que me ajudou me acolhendo e apoiando em vários aspectos a dar continuidade a minha vida acadêmica.

Ao **Bruno Felipe Iarosz** amigo e companheiro de todos os momentos, ofereço um agradecimento mais do que especial, por ter vivenciado comigo passo a passo de todos os detalhes deste trabalho, por ter me dado todo o apoio que necessitei nos momentos difíceis, todo carinho, respeito, e por tornar minha vida a cada dia mais feliz.

Ao **Prof. Dr. Thiago Ramires e Prof.^a Dr.^a. Milena Martins**, que prontamente ajudou a findar está tão temerosa dissertação, pela sua orientação segura e liberdade na condução deste trabalho.

Finalmente, agradeço aos meus **amigos Erickson de Lima e Marco Antônio Cardoso** quais tenho a alegria de poder dizer que são verdadeiros e posso contar com eles. Amigos para a vida inteira, para todas as horas, amigos do trabalho e do aprendizado, pessoas que me mostraram o verdadeiro significado da palavra AMIZADE. Muito obrigada pelos momentos que passamos juntos.

“Os sonhos são a melhor forma de termos uma direção na vida e um motivo para caminhar”.

RESUMO

A poluição esta associada direta ou indiretamente aos despejos industriais e domésticos, a água sofre alterações físicas, químicas e biológicas que são provenientes deste despejo inadequado. Os efluentes originários dos serviços de saúde apresentam micro-organismos patogênicos e, considerando os tipos de efluentes provenientes de unidades de saúde, aqueles gerados pelas lavanderias hospitalares apresentam risco potencial à saúde humana e ao ambiente. Este trabalho teve por objetivo analisar e tratar com fotocatalise heterogênea os efluentes de uma lavanderia hospitalar localizada na cidade de Telêmaco Borba no Estado do Paraná, aplicando três diferentes tipos de catalisadores no tratamento destes, sendo eles, o dióxido de Titânio (TiO_2), aluminato de zinco (ZnAl_2O_4) e alumintao de zinco impregnado com óxido de cobalto ($\text{ZnAl}_2\text{O}_4\text{-Co}_3\text{O}_4$). Os parâmetros pH, turbidez, condutividade e coloração foram comparados antes e após o tratamento. O parâmetro pH após o tratamento permaneceu de acordo com a Resolução CONAMA 357/2005, ou seja, entre 6,0-9,0. Os valores de condutividade após o tratamento com os catalisadores diminuíram ficando no limite inferior da faixa estipulada pela resolução CONAMA 357/2005. A turbidez antes e após o tratamento estava dentro do que é permitido pela resolução CONAMA 357/2005 que é 100 NTU, porém, houve redução após atuação dos catalisadores, o que é desejável já que está diretamente ligada à quantidade de matéria orgânica suspensa em solução. Estes resultados evidenciam que o catalisador TiO_2 , amplamente utilizado em processos de tratamento de efluentes, assim como os catalisadores ZnAl_2O_4 e $\text{ZnAl}_2\text{O}_4\text{-Co}_3\text{O}_4$ foram eficazes para tratar o efluente proveniente de uma lavanderia hospitalar de acordo com os parâmetros estudados.

Palavras-chave: Catalisador heterogênia; TiO_2 , ZnAl_2O_4 , $\text{ZnAl}_2\text{O}_4\text{-Co}_3\text{O}_4$, disposição final, meio ambiente.

ABSTRACT

Pollution is directly or indirectly associated with industrial and domestic discharges the water undergoes physical, chemical and biological changes arising from this inappropriate discharge. Effluents originating from health services are places with pathogenic microorganisms and, considering the types of effluents from health units, those generated by hospital laundries present a potential risk to human health and the environment. The objective of this work was to analyze and treat with heterogeneous photocatalysis the effluents of a hospital laundry located in the city of Telêmaco Borba in the State of Paraná, applying three different types of catalysts in their treatment, namely, Titanium dioxide (TiO_2), zinc (ZnAl_2O_4) and zinc aluminum impregnated with cobalt oxide ($\text{ZnAl}_2\text{O}_4\text{-Co}_3\text{O}_4$). The parameters pH, turbidity, conductivity, and coloration were compared before and after treatment. The pH parameter after treatment remained in accordance with CONAMA Resolution 357/2005, that is, between 6.0-9.0. The conductivity values after the treatment with the catalysts decreased, reaching the lower limit of the range stipulated by CONAMA resolution 357/2005. The turbidity before and after the treatment was within what is allowed by CONAMA resolution 357/2005, which is 100 NTU; however, there was a reduction after the catalysts acted, which is desirable since it is directly linked to the amount of organic matter suspended in solution. These results show that the TiO_2 catalyst, widely used in effluent treatment processes, as well as the ZnAl_2O_4 and $\text{ZnAl}_2\text{O}_4\text{-Co}_3\text{O}_4$ catalysts, were effective in treating the effluent from a hospital laundry according to the studied parameters.

Keywords: Heterogeneous catalyst; TiO_2 , ZnAl_2O_4 , $\text{ZnAl}_2\text{O}_4\text{-Co}_3\text{O}_4$, final disposition, environment.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Geração de íons e radicais hidroxila com a incidência de radiação.....	22
FIGURA 2 - Estrutura de um espinélio.....	28
FIGURA 3 - Balança de pesagem da roupa hospitalar.....	33
FIGURA 4 - Classificação da roupa: a) limpa; b) branca pesada e c) colorida pesada.....	34
FIGURA 5 - Máquina para lavagem da roupa hospitalar pesada.....	34
FIGURA 6 - Painel de controle de regulação de produtos químicos para lavagem...	35
FIGURA 7 - Tubo extensivo/cano de saída para coleta de amostras de efluentes. ...	35
FIGURA 8 - Fluxograma ciclo da máquina de lavar hospitalar.....	36
FIGURA 9 - Equipamento utilizado para a realização de fotocatalise.....	38
FIGURA 10 - Filtro à Vácuo.....	38
FIGURA 11 - Valores de pH das amostras de efluente submetidas ao tratamento com os catalisadores TIO_2 , ZnAl_2O_4 e $\text{ZnAl}_2\text{O}_4\text{-Co}_3\text{O}_4$	44
FIGURA 12 - Condutividade das amostras de efluente submetidas ao tratamento com os catalisadores.....	47
FIGURA 13 - Variação de cor das amostras de efluente submetidas ao tratamento com os catalisadores.....	50
FIGURA 14 - Imagem de amostras antes e após o tratamento com fotocatalise.....	50

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 - Características das impurezas das águas provenientes de hospitais.	20
QUADRO 2 - Valores estabelecidos dos parâmetros da água.....	32
QUADRO 3 - Caracterização pH das amostras brutas.....	43
QUADRO 4 - Média, Desvio Padrão e Variação do PH da amostra utilizando os catalisadores para tratamento do efluente.....	43
QUADRO 5 - ANOVA para PH considerando afeito de catalisador e tempo.....	44
QUADRO 6 - Comparação múltipla das médias de pH, fixando os tempos.....	45
QUADRO 7 - Comparação múltipla das médias de pH, fixando os catalisadores.....	45
QUADRO 8 - Condutividade das amostras brutas e média.....	46
QUADRO 9 - Média, Desvio Padrão e Variação da Condutividade (mS) da amostra utilizando os catalisadores para tratamento do efluente.....	46
QUADRO 10 - ANOVA para Condutividade considerando afeito de catalisador e tempo.....	47
QUADRO 11 - Turbidez das amostras brutas e média.....	48
QUADRO 12 - Média, Desvio Padrão e Variação da Turbidez da amostra utilizando os catalisadores.....	48
QUADRO 13 - Cor/Coloração das coletas e amostra composta.....	49
QUADRO 14 - Média, Desvio Padrão e Variação da Cor da amostra utilizando os catalisadores.....	49
QUADRO 15 - ANOVA para Cor considerando afeito de catalisador e tempo.....	51
QUADRO 16 - Comparação múltipla das médias de Cor entre tempo e catalisador	51
QUADRO 17 - Lógico Verdade.....	52

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	13
2. OBJETIVOS.....	15
2.1 Geral.....	15
2.2 Específicos.....	15
3. REVISÃO DE LITERATURA.....	16
3.1 Processamento de roupas hospitalares.....	16
3.1.1 Ciclos e fases no processo de lavagem.....	17
3.1.2 Principais Produtos Saneantes Utilizados no Processamento de roupas.....	17
3.2 Geração e despejo de efluentes provenientes da lavanderia hospitalar.....	18
3.3 Caracterização dos efluentes hospitalares.....	19
3.4 Processos oxidativos avançados (POAS).....	20
3.5 Princípios da fotocatalise heterogênea.....	22
3.6 Utilização de fotocatalise heterogênea para tratamento da água.....	22
3.6.1 Fotocatalise heterogênea para tratabilidade do efluente.....	23
3.7 Catalisador.....	24
3.7.1 Dióxido de Titânio (TiO_2).....	25
3.7.2 Aluminato de Zinco ($ZnAl_2O_4$).....	27
3.7.3 Alumintao de Zinco impregnado com Óxido de cobalto ($ZnAl_2O_4-CO_3O_4$).....	29
3.8 Legislação ambiental.....	30
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	33
4.1 Local de coleta e amostragem.....	33
4.2 Produção dos catalisadores heterogêneos.....	37
4.3 Ensaio de fotocatalise heterogênea.....	38
4.4 Caracterização do efluente antes da fotocatalise.....	40
4.5 Caracterização do efluente após fotocatalise.....	40
4.5.1 Determinação do pH.....	40
4.5.2 Determinação da Coloração do efluente.....	40
4.5.3 Determinação da Turbidez do efluente.....	41
4.5.4 Determinação da Condutividade do efluente.....	41
4.6 Análise estatística.....	40
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	43
6. CONCLUSÃO.....	57
REFERÊNCIAS.....	59

1. INTRODUÇÃO

A poluição dos recursos hídricos deve-se principalmente a descargas diretas ou indiretas de resíduos industriais domésticos não tratados ou insuficientemente tratados. Como resultado, o corpo hídrico sofre alterações biológicas, químicas e físicas devido à alta concentração resultante de descarga inadequada, contribuindo assim para danos à saúde humana (FUZINATTO, 2018).

Os efluentes hospitalares apresentam pouca diferença em relação aos efluentes domésticos em termos de concentração de matéria orgânica, metais e pH. Contudo, substâncias como antibióticos, desinfetantes e produtos químicos estão presentes em altas concentrações nos efluentes, que geralmente são descartados sem tratamento prévio nas redes de saneamento urbano (SOUZA, 2012).

Em uma comparação com todos os tipos de efluentes gerados em unidades de saúde, os das lavanderias hospitalares constituem uma das causas mais significativas de danos ambientais, em virtude de suas características refratárias, devido à presença de desinfetantes, antibióticos, agentes de limpeza e outros surfactantes, além disso, metade da água utilizada em hospitais é destinada ao consumo da lavanderia (SOUZA, 2012).

As tecnologias convencionais de tratamento são usualmente capazes de reduzir as concentrações de matéria orgânica de origem humana, detergentes, gorduras, sólidos presentes nos esgotos até os níveis exigidos para reuso, porém, alguns teores de compostos tóxicos e substâncias recalcitrantes, não são removidas por esses tratamentos, impedindo o reuso do efluente tratado (SOUZA, 2012).

A Lei n 6.938 de 31 de agosto de 1981 estabelece poluição como a degradação da qualidade ambiental resultante de atividades que direta ou indiretamente prejudiquem a saúde, a segurança e o bem-estar da população (BRASIL, 1981).

O artigo 36 da Resolução CONAMA 357/2005 estabelece que os efluentes originados dos serviços de saúde e locais com despejos de microrganismos patogênicos só poderão ser lançados no meio ambiente após tratamento especial. O tratamento especial é realizado mediante a caracterização do efluente para definir o tipo de tratamento mais adequado.

Atualmente, buscam-se técnicas que facilitem o tratamento desses efluentes, diminuindo sua carga poluidora, para que estes não agridam o ambiente. Para tanto,

estão sendo desenvolvidos processos para o tratamento desses efluentes como por exemplo: os processos físicos, químicos e biológicos, visando diminuir parâmetros tais como Demanda Química de Oxigênio (DQO), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Potencial Hidrogeniônico (pH), cor, entre outros. Entretanto, devido à baixa eficiência dos processos de tratamento de efluentes, ou pela necessidade da realização de mais de uma etapa de tratamento, buscam-se técnicas que proporcionem uma maior eficiência para o mesmo, com um baixo custo (VALVERDE et al., 2016). Uma das técnicas que tem se destacado nos últimos anos são os processos oxidativos avançados (POAs) que consiste na geração de radicais hidroxila, visando oxidar completamente e destruir diferentes tipos de poluentes orgânicos, transformando principalmente em H₂O, CO₂ e minerais (VERLICCHI et al., 2015). POAs envolvendo a fotocatalise heterogênea, baseiam-se na geração de um íon hidroxila através da interação entre um óxido catalisador ativado por uma fonte luminosa e o meio líquido em que o mesmo se encontra disperso.

Alguns catalisadores utilizados na ozonização fotocatalítica heterogênea são TiO₂/UV, O₃/METAL/UV (RIVAS et al., 2012; Rodríguez et al., 2013). Catalisadores não suportados apresentam a desvantagem de necessitar de uma etapa posterior para a remoção das partículas sólidas em suspensão na solução. Este processo possibilita o tratamento do efluente industrial graças á geração do íon hidroxila e da interação deste com a matéria orgânica presente no efluente. Neste processo, o radical hidroxila promove uma degradação da matéria orgânica e com isso resulta em uma redução de sua carga poluidora e do índice de demanda química de oxigênio (DQO) e coloração do mesmo (VALVERDE, MORAIS E CAIXETA, 2016).

2. OBJETIVOS

2.1 Geral

Esta pesquisa teve o objetivo de coletar e caracterizar efluentes gerados em uma lavanderia hospitalar localizada na cidade de Telêmaco Borba, Estado do Paraná, Brasil e, com isso, propor processos oxidativos avançados para tratamento destes.

2.2 Específicos

- Coletar os efluentes gerados de uma lavanderia hospitalar durante três meses;
- Caracterizar os efluentes antes e após o tratamento identificando pH, condutividade, cor e turbidez;
- Utilizar fotocatalise heterogênea utilizando diferentes tipos de catalisadores, como TiO_2 , ZnAl_2O_4 e $\text{ZnAl}_2\text{O}_4\text{-Co}_3\text{O}_4$.
- Caracterizar o efluente tratado.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Processamento de roupas hospitalares

O processamento de roupas hospitalares é uma atividade coadjuvante que afeta significativamente a qualidade dos cuidados de saúde, principalmente no que diz respeito à segurança e conforto do paciente e do profissional. Este serviço assume grande importância em contexto hospitalar (BRASIL, 2007).

Segundo Mesano & Lisboa (2006), uma lavanderia hospitalar é uma unidade funcional de apoio logístico destinada a atender clientes internos e/ou externos de um hospital, cuja finalidade é coletar, separar, processar, fornecer e distribuir roupas ao hospital em condições para uso, higiene, quantidade, qualidade e conservação. Diferencia-se das lavanderias comerciais pela obrigatoriedade da barreira de contaminação que separa a área limpa da área contaminada ou suja.

A lavagem consiste em um processo de retirar a sujidade aderida às roupas, deixando-as com aspecto e cheiro agradáveis, nível bacteriológico reduzido ao mínimo e confortável ao usar. O ciclo utilizado no processo de lavagem é determinado pela retirada da roupa suja da unidade de produção e acondicionamento, recolhimento e transporte da roupa suja para a unidade de processamento, lavagem, centrifugação, secagem, calandragem ou prensagem e engomadoria da roupa limpa, separação, dobragem, embalagem da roupa limpa, armazenamento, transporte e distribuição da roupa limpa de acordo com o grau de sujidade, tipo de roupa, tipo de equipamento de lavagem e produtos utilizados (BRASIL, 2007).

Segundo Fijan et al. (2007) o importante é que a lavagem tenha efeito não apenas na limpeza e branqueamento da roupa, mas que seja eficaz na eliminação de microrganismos patogênicos, uma vez que a maioria dos usuários hospitalares são pacientes com sistema imunológico debilitado e suscetíveis a infecções causadas por roupas hospitalares contaminadas com patógenos.

As vestimentas usadas no setor de saúde incluem lençóis, fronhas, cobertores, toalhas, colchas, cortinas, roupas de cama, roupas de pacientes, fraldas, curativos, campos cirúrgicos, cortinas, aventais, bonés e muito mais. Através desses exemplos, fica claro que existe uma grande variedade de impurezas, locais de origem e formas de utilização dessas vestimentas nos serviços de saúde (RUTALA

& WEBER, 1997; KONKEWICZ, 2010).

3.1.1 Ciclos e fases no processo de lavagem

As fases de um ciclo completo de lavagem consistem em: umectação, enxágues, pré-lavagem, lavagem, alvejamento, enxágues, acidulação e amaciamento. Um ciclo completo de lavagem geralmente é aplicado para roupas com sujidade pesada. Para roupas com sujidade leve, dispensam-se as etapas de umectação, primeiros enxágues e pré-lavagem, sendo que o ciclo se inicia na etapa de lavagem (BRASIL, 2007).

3.1.2 Principais Produtos Saneantes Utilizados no Processamento de roupas

No processamento das roupas é necessário utilizar produtos químicos como sabonetes, detergentes, alvejantes, acidificantes/neutralizantes e amaciantes para retirar a sujidade e realizar a limpeza adequada das roupas (BRASIL, 2007).

Segundo a RDC/Anvisa nº 40, de 5 de junho de 2008, sabão é um produto de lavagem e limpeza doméstica, formulado à base de sais alcalinos de ácidos graxos, podendo ou não estar associados a outros tensoativos. Consiste de uma reação natural de saponificação de uma base (hidróxido de sódio ou potássio) e gordura vegetal ou animal.

Segundo a RDC/Anvisa nº 40/08, detergente é um produto destinado à limpeza de superfícies e tecidos, reduzindo a tensão superficial. Possuem um poder de limpeza eficaz principalmente devido à presença de uma substância tensoativa em sua composição. São constituídos basicamente por três compostos básicos: um surfactante, um agente complexante e uma base que reage e neutraliza os ácidos presentes na solução (WAITE, 2000). De acordo com a The Soap and Detergent Association (2022), os detergentes podem conter mais de um tipo de surfactante. Eles diferem na capacidade de remover certos tipos de sujeira, na eficácia em diferentes tipos de tecidos e na ação na presença de água dura. Os detergentes são geralmente classificados de acordo com a natureza do grupo hidrofílico do surfactante. Portanto, existem os detergentes não iônicos, catiônicos, aniônicos e anfotéricos.

Um agente alvejante é qualquer substância com efeito químico, oxidante ou redutor que tenha efeito clareador. Sua finalidade é descolorir e/ou remover manchas causadas por sujeiras e promover o branqueamento da fibra. Dois tipos de alvejante são comumente usados no processo de lavanderia: à base de cloro e à base de oxigênio. Os alvejantes com oxigênio e cloro estão disponíveis na forma líquida ou em pó. Ambos reagem quimicamente com substâncias que formam manchas por oxidação (BRASIL, 2020).

Acidificantes/neutralizantes são substâncias utilizadas no enxágue final, cuja função é neutralizar a alcalinidade residual da água e assim atingir um pH final compatível com o da pele humana. Atua reduzindo os resíduos deixados pelos agentes oxidantes. Com isso, controlam a presença de minerais na água, principalmente ferro e minerais duros que podem danificar as roupas. O acidulante sequestra íons de ferro através da complexação, evitando assim que esses íons se depositem na roupa (*THE TEXTILE RENTAL SERVICES ASSOCIATION OF AMERICA*, 1995).

Os amaciantes amaciam, lubrificam e desembaraçam as fibras do tecido, tornando-as macias ao toque. Isso ocorre devido à ação de substâncias quaternárias de amônio presentes em sua composição, que neutralizam a carga eletrostática das fibras. Adicionam fragrância, encurtam o tempo de secagem e reduzem o enrugamento das roupas. Os amaciantes são utilizados após a neutralização no enxágue final das roupas para evitar interações com compostos detergentes (BRASIL, 2009).

3.2 Geração e despejo de efluentes provenientes da lavanderia hospitalar

Os efluentes hospitalares apresentam pouca diferença em relação aos domésticos com relação à concentração de matéria orgânica, metais e pH. Contudo, substâncias como antibióticos, desinfetantes e produtos químicos apresentam-se em concentrações elevadas nesses efluentes, que geralmente são lançados sem tratamento prévio nas redes urbanas de drenagem (SOUZA, 2012).

Os hospitais são grandes consumidores de água, em comparação aos estabelecimentos domésticos, chegando ao consumo diário até 1.400 litros por leito (RIBEIRO, 2005 apud DREMONT e HADJALI, 1997). Já o Ministério da Saúde (2002) indica que os estabelecimentos de saúde podem consumir cerca de 230

litros de água por leito dia. Gautam et al. (2007) afirma que o consumo de água em hospitais varia de 400 a 1.200 litros/dia, 1litro por leito, valor parecido ao descrito por Emmanuel et. al. (2009), cerca de 500 litros/dia, para países em desenvolvimento. O alto consumo de água, conseqüentemente, gera grandes volumes de efluentes nessas instituições e sua qualidade e quantidades variam de acordo com a complexidade dos serviços hospitalares fornecidos à população.

Após serem utilizadas, essas águas podem apresentar compostos químicos e biológicos, conferindo ao efluente, características potencialmente poluentes, causando problemas ao ambiente onde será descartado e para a saúde da população do local, caso não receba o tratamento adequado (BRASIL, 2002), impedindo o reuso do efluente tratado (SOUZA, 2012).

Atualmente buscam - se técnicas que facilitem o tratamento desses efluentes, diminuindo sua carga poluidora, para que estes não agridam o ambiente. Devido à baixa eficiência dos processos de tratamento de efluentes convencionais, ou pela necessidade da realização de mais de uma etapa de tratamento buscam-se técnicas que proporcionem uma maior eficiência para o mesmo e com um baixo custo (VALVERDE, MORAIS E CAIXETA, 2016).

3.3 Caracterização dos efluentes hospitalares

Em uma comparação com todos os tipos de efluentes gerados em unidades de saúde, os das lavanderias hospitalares constituem uma das causas mais significativas de danos ambientais, em virtude de suas características refratárias, devido à presença de sanitizantes, desinfetantes, antibióticos, agentes de limpeza e outros surfactantes, além disso (SOUZA, 2012).

As águas provenientes das lavanderias têm como característica a presença de detergentes e por vezes apresentam microrganismos patogênicos. Os detergentes podem apresentar adjuvantes e outros aditivos, como polifosfatos, carbonatos, corantes, agentes bactericidas, enzimas, além de princípios ativos (HOAG, 2008).

No Quadro 1 podemos observar pontos de geração de efluente hospitalar, segundo Paiva (2009). Também são apontados quais problemas cada tipo de efluente irá causar no meio ambiente, assim como a melhor solução para o

tratamento deste efluente.

QUADRO 1 - Características das impurezas das águas provenientes de hospitais.

IMPUREZAS	PROBLEMAS
Óleos e Graxas (cozinha/restaurante)	Demanda de oxigênio dissolvido, morte de macro-organismos, odores pela digestão anaeróbia, entupimento de tubulações, distúrbios na manta de Lodo do reator UASB e no reator aeróbio.
Lavanderia	Demanda de oxigênio dissolvidos, inibidores de microrganismos do tratamento biológico.
Materiais Antissépticos	Bactericidas (afetam o tratamento biológico).
Restos de remédios	Tóxicos para micro e macro organismos no sistema de tratamento e no meio ambiente.

Fonte: Modificado de PAIVA, 2009.

Comparativamente às águas residuais domésticas com as águas residuais hospitalares apresentam pequenas diferenças na concentração de alguns parâmetros como: matéria orgânica, DBO e DQO, metais, bactérias coliformes e pH. Ambos são coletados pela mesma rede de esgoto e encaminhados para a mesma estação de tratamento, na maioria dos casos, embora a água dos hospitais possa conter substâncias como medicamentos, desinfetantes e compostos químicos em altas concentrações e até organismos, patogênicos ou não, podem se tornar resistentes aos antibióticos justamente pela presença de medicamentos nas águas residuais (KÜMMERER et al., 1999 apud SILVEIRA, 2004; BARRETO, 2007).

3.4 Processos oxidativos avançados (POAS)

Processos de oxidação avançados (POAs) são definidos como processos capazes de gerar radicais hidroxila (OH), espécies altamente oxidantes, em quantidades suficientes para mineralizar matéria orgânica a dióxido de carbono,

água e íons inorgânicos (POLEZI, 2003). Os radicais hidroxila podem ser gerados por reações envolvendo oxidantes fortes como ozônio (O_3) e peróxido de hidrogênio (H_2O_2), semicondutores como dióxido de titânio (TiO_2) e óxido de zinco (ZnO), e radiação ultravioleta (UV) (TEIXEIRA E JARDIM, 2004).

Os POAs são divididos em sistemas homogêneos e heterogêneos, com formação de radicais hidroxila com ou sem presença de radiação ultravioleta (TEIXEIRA & JARDIM, 2004); pode ser utilizado com outros processos (pré e pós-tratamento); tem forte capacidade oxidante; com alta cinética de reação; mineralização de poluentes; consome menos energia, resultando em custos mais baixos; permite tratamento no local (ALBRECHT, 2007). Ao utilizar a radiação ultravioleta, a luz é a única fonte capaz de destruir os contaminantes (TEIXEIRA E JARDIM, 2004). A luz, por meio de interações com moléculas, rompe ligações químicas, o que pode levar à decomposição da matéria orgânica (POLEZZI, 2003).

Os raios UV podem ser emitidos por fontes artificiais, mais comumente lâmpadas de arco de mercúrio de baixa e média pressão. Consistem em um tubo selado de quartzo ou sílica (ambos fontes de raios ultravioleta), cujas extremidades são dotadas de eletrodos de tungstênio com mistura alcalino-terrosa que facilita a formação do arco lateral nas lâmpadas (AGUIAR, 2000). Existem dois tipos de configurações de reatores de desinfecção UV: contato e sem contato. Em ambos os casos, o fluxo de águas residuais flui perpendicular ou paralelo à lâmpada (GONÇALVES, 2003).

A eficácia da desinfecção UV é influenciada por uma série de fatores importantes, como as propriedades hidráulicas do reator, a intensidade da radiação UV e as características das águas residuais (COLETTI, 2003; SILVA, 2007). O reator deve ser projetado para eliminar curtos-circuitos ou zonas mortas, o que pode reduzir o tempo de contato e o consumo de energia. O tempo de contato necessário para a desinfecção depende das propriedades da água ou efluente e da cinética do reator de desinfecção (WHITE et al., 1986). A intensidade da radiação UV depende da idade da lâmpada, da deposição de sólidos no invólucro da lâmpada e da configuração e localização da lâmpada no reator (WHITE et al., 1986).

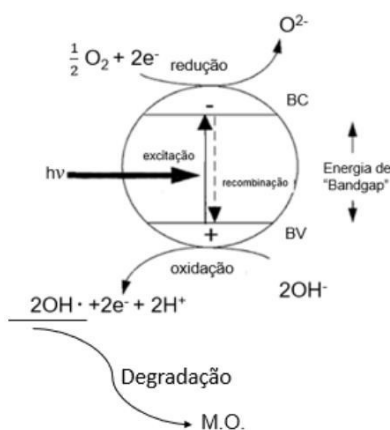
A eficácia do tratamento UV/ H_2O_2 depende de uma série de parâmetros que variam de acordo com o sistema de oxidação. As condições ótimas de operação devem ser determinadas individualmente para cada sistema através de estudos de processabilidade ou testes de bancada (SOUZA, 2012).

Albrecht (2007) utilizou fotocatalise heterogênea e ozonização fotocatalítica, método de geração de ozônio *in situ* e introdução na água para remover muitos compostos orgânicos e microorganismos. A conversão de oxigênio em ozônio, um oxidante muito forte, ocorre através do uso de energia para tratar águas residuais de lavanderias de instalações médicas. Os melhores resultados são alcançados pelo tratamento de ozonização fotocatalítica, que remove 30% da DQO, remove 75% da DBO, remove 49% da turbidez e remove 100% dos microorganismos.

3.5 Princípios da fotocatalise heterogênea

O processo fotocatalítico foi estudado por Fujishima e Honda na década de 1970 (Fujishima A. e Honda K., 1972), onde tentaram converter a energia solar em química para desenvolver combustíveis a partir de materiais de baixo custo (BRITO, 2012). Processos fotocatalíticos heterogêneos geram pares elétron-buraco quando a superfície de um material específico (neste caso, águas residuais) é irradiada com mais radiação do que o necessário (normalmente luz ultravioleta ou visível) (ver Figura 1). Os elétrons saltam da banda de valência para a banda de condução. Desta forma, pode-se realizar um processo redox, no qual são produzidos principalmente íons hidroxila (OH⁻), e radicais hidroxila (OH·) são formados pela oxidação da hidroxila, que pode ser utilizado para a decomposição de compostos orgânicos e para substâncias industriais, o processamento é possível. esgoto devido ao efeito desse radical (ALVES, 2013; SOSSMEIER, 2016; SOUZA, 2019).

FIGURA 1 - Geração de íons e radicais hidroxila com a incidência de radiação



Fonte: Adaptado de NOGUEIRA E JARDIM, 1997.

3.6 Utilização de fotocatalise heterogênea para tratamento da água

Pesquisas foram conduzidas sobre a aplicação de fotocatalise heterogênea para tratamento e purificação de água usando dióxido de titânio dopado com terras raras para aumentar a ação fotocatalítica da luz solar. A eficiência desta tecnologia depende do tamanho do bandgap da fonte de radiação e dos materiais utilizados para promover o salto de energia, e a fotocatalise heterogênea facilita o tratamento de vários tipos de compostos orgânicos, águas residuais industriais e água. Observou-se que é eficiente. Purificação (MALATO, 2009).

3.6.1 Fotocatálise heterogênea para tratabilidade do efluente

A pesquisa em células fotoeletroquímicas começou com o objetivo de produzir combustível a partir de materiais baratos e converter energia solar em química. Este pode ser um método eficiente e versátil para controlar a poluição da água e para modificar, decompor ou mineralizar compostos orgânicos através de processos em que os únicos reagentes envolvidos são os elétrons (NOGUEIRA E JARDIM, 1998).

Algumas das mais recentes aplicações da fotocatalise heterogênea foram desenvolvidas por empresas japonesas e já começam a ser industrializadas.

a) Desodorização do ambiente através da utilização de filtros impregnados com TiO_2 , que podem decompor substâncias causadoras de odor sob iluminação.

b) Tintas fotocatalíticas para revestimentos antibacterianos e autolimpantes de paredes em salas cirúrgicas.

c) Lentes e espelhos antiembaçantes que aproveitam as propriedades superhidrofílicas do TiO_2 quando exposto à luz UV. Nesse caso, a água se espalha rapidamente, formando uma película uniforme na superfície ao invés de gotas de água, o que evita o assentamento.

d) Vidros autolimpantes para iluminação de túneis. A ação fotocatalítica destrói a película de poeira oleosa que se forma na superfície do farol, mantendo o vidro sempre limpo (NOGUEIRA E JARDIM, 1998).

Em conjunto com o catalisador, é emitida luz ultravioleta, que pode ser proveniente de uma fonte de luz artificial, mais comumente lâmpadas de mercúrio de baixa e média pressão. Eles consistem em tubos herméticos feitos de quartzo ou quartzo (ambos transmissores de UV) e, quando se utiliza luz ultravioleta, as

ligações químicas são quebradas pela interação com as moléculas, o que pode levar à decomposição de materiais orgânicos e destruição de poluentes. (POLEZZI, 2003; TEIXEIRA, JARDIM, 2004).

Souza (2019) implementou um processo para tratar águas residuais de lavanderias hospitalares com UV/H₂O₂. Sob condições otimizadas, uma proporção de [DQO]:[H₂O₂] de 1:2,5 e pH de 9 funcionou bem. A redução na concentração de surfactante é de 98% quando as águas residuais são tratadas em condições estatisticamente ideais. A remoção desses tipos de surfactantes é importante porque mesmo baixas concentrações podem ter efeitos tóxicos nos corpos d'água. Além disso, por meio desse processo conseguimos mineralizar aproximadamente 60% da matéria orgânica estimada a partir do valor de DQO.

Albrecht (2007) utilizou fotocatalise heterogênea e fotoozonização catalítica para tratar águas residuais de lavanderia em uma unidade de saúde. Os melhores resultados foram alcançados com o tratamento de fotoozonização catalítica, que alcançou 30% de remoção de DQO, 75% de remoção de DBO, 49% de turbidez e 100% de remoção microbiana. Em conjunto com o catalisador é realizada a emissão de raios UV, que pode ser feita por fontes artificiais, sendo as mais comuns as lâmpadas de arco de mercúrio de baixa e média pressão. Consistem de um tubo hermético de sílica ou quartzo (ambos transmissores de UV), que se utilizar radiação ultravioleta, a luz por meio da interação com as moléculas, causa ruptura nas ligações químicas, podendo produzir a degradação de matéria orgânica produzindo a destruição do poluente (POLEZZI, 2003; TEIXEIRA; JARDIM, 2004).

3.7 Catalisador

Um catalisador consiste em certos compostos que não alteram a composição da reação e não estão em relação estequiométrica com os compostos produzidos na reação. O objetivo também deve ser reduzir a energia de ativação necessária para que a reação ocorra e aumentar a taxa de reação (CIOLA, 1981; SOUZA, 2019).

Os catalisadores aumentam a taxa das reações químicas alterando o mecanismo de reação e diminuindo a energia de ativação (E_a) da reação. Isto proporciona uma rota alternativa que evita a etapa lenta que determina a taxa de reação sem catalisador. Embora o catalisador altere o mecanismo de reação, ele não afeta a variação na energia livre total (ΔG) da reação porque a energia livre é

uma função do estado. Portanto, reações termodinamicamente desfavoráveis não se tornam mais favoráveis com a introdução de catalisadores (FERNANDES, 2015; SOUZA, 2019).

Outra propriedade importante de um catalisador é a sua seletividade. A capacidade de um catalisador formar grandes quantidades de produtos de reação desejados e minimizar outros produtos de reação. Embora o catalisador não seja consumido durante a reação, ele eventualmente perde a sua atividade à medida que é gradualmente destruído por reações subsequentes durante o ciclo catalítico. Dependendo da fase em que o catalisador está presente, ele é classificado como heterogêneo se estiver em fase diferente dos reagentes ou homogêneo se estiver na mesma fase dos reagentes. Os catalisadores heterogêneos são geralmente sólidos, têm a vantagem de serem resistentes a altas temperaturas e podem ser separados dos produtos da reação. Catalisadores homogêneos apresentam como vantagem a alta seletividade (FERNANDES, 2015; SOUZA, 2019).

3.7.1 Dióxido de Titânio (TiO₂)

O dióxido de titânio (TiO₂) ocorre naturalmente na forma de outro mineral denominado ilmenita (óxido natural de ferro e titânio) e é processado industrialmente em dióxido de titânio (PENA, 2015; SOUZA, 2019).

Além dos produtos que podem ser feitos a partir do TiO₂, está sendo investigada a utilização desse óxido como catalisador, na purificação de águas residuais industriais, na produção de produtos farmacêuticos e em células a combustível. É um óxido semicondutor tipo n, barato, não tóxico, fotossensível, possui múltiplas propriedades químicas e físicas, é abundante e possui alta resistência a processos de corrosão (PENA, 2015; SOUZA, 2019).

O TiO₂ tem sido amplamente investigado para diversas aplicações devido às suas propriedades fotocatalíticas. Realiza a decomposição de inúmeros compostos orgânicos como o fenol, desintoxica materiais e águas residuais industriais, trata a água e a própria atmosfera, bem como outros poluentes ambientais, e está sendo estudado como desinfetante (FELTRIN, 2012; SOARES, 2013; ALBUQUERQUE, 2014; SOUZA, 2019).

O TiO₂ é um material polimórfico que vem sendo estudado tanto na forma de

óxido puro quanto na forma impregnada com outros compostos, podendo também ser utilizado em sensores e células solares (SOARES, 2013; SOUZA, 2019).

O TiO_2 possui três estruturas cristalinas: rutilo, anatasia e brookita, mas as mais comuns são o rutilo e a anatasia, ambas estruturas tetragonais (MARQUES, 2005; FELTRIN, 2012; SOUZA, 2019). As principais diferenças que existem entre as fases polimórficas da estrutura do dióxido de titânio dizem respeito à forma como os átomos de Ti e O estão conectados dentro da estrutura cristalina, levando em consideração a sua disposição dentro da estrutura e a distância entre as ligações (SOARES, 2013; SOUZA, 2019). Na forma de brookita possui estrutura cristalina ortorrômbica, enquanto tanto o rutilo quanto o anatásio possuem estrutura cristalina tetraédrica (MARQUES, 2005). A fase estável da estrutura do TiO_2 é o rutilo, enquanto o anatase e a brookita são considerados fases metaestáveis (FELTRIN, 2012; SOUZA, 2019).

A mudança na estrutura do dióxido de titânio da fase anatase para a fase rutilica é um processo irreversível que ocorre devido ao aumento da temperatura associado aos processos de nucleação e crescimento dos grãos. Esse processo ocorre na superfície do material, passando de uma fase metaestável para uma fase termodinamicamente estável (SOARES, 2013; SOUZA, 2019). Na forma de rutilo, o dióxido de titânio é comumente abundante em várias rochas metamórficas, especialmente rochas ígneas. É formado na forma de titanita pela combinação com outros minerais como cálcio e enxofre presentes no solo. A titanita é composta por minerais secundários que são essencialmente TiO_2 e podem conter até 10% de impurezas (PENA, 2015; SOUZA, 2019). As fases rutilo e anatásio têm sido amplamente estudadas devido às suas propriedades como inércia química, alta fotoestabilidade, estabilidade química e alta eficiência na remoção e decomposição de compostos orgânicos de águas residuárias industriais (RIBEIRO, 2010; SOUZA, 2019).

O TiO_2 , como outros materiais existentes, absorve fontes de luz ou radiação até um valor maior que o bandgap. Quando a energia é superior à energia do band gap, ocorre um salto quântico dos elétrons presentes na banda de valência para a banda de condução (FELTRIN, 2012; SOUZA, 2019). Tanto a forma anatásio quanto a rutilica são mais reativas quando utilizadas em processos fotocatalíticos

em comparação à brookita, portanto não apenas a energia do gap, mas também os parâmetros da rede influenciam a eficiência do processo fotocatalítico (DIEBOLD, 2002). Pode-se observar que a fase rutilo possui valor de bandgap menor que a fase anatase (FELTRIN, 2012; SOUZA, 2019). O tipo anatase é mais utilizado em processos fotocatalíticos devido à sua maior reatividade em processos fotocatalíticos em comparação ao tipo rutilo (ALBUQUERQUE, 2014; SANTOS, 2012; SOUZA, 2019). A maior eficiência da fase anatase decorre do fato da distância Ti-Ti ser maior enquanto a distância Ti-O é menor na fase anatase em comparação à fase rutilo (FELTRIN, 2012; SOUZA, 2019). O dióxido de titânio anatase demora mais para combinar elétrons e buracos em comparação à fase rútilica, o que significa que o processo fotocatalítico é mais eficiente (FELTRIN, 2012; SOUZA, 2019).

O TiO_2 é considerado um dos melhores catalisadores em processos fotocatalíticos à temperatura ambiente e é utilizado para a oxidação e decomposição de diversos tipos de matéria orgânica. No entanto, quando utilizado sob radiação, é mais eficiente do que quando utilizado sob luz visível. Isso se deve à banda intermediária proibida, onde o bandgap ou banda proibida fica entre as regiões da camada de valência e de condução do átomo. Quando uma região da camada condutora é submetida a um campo elétrico, ela gera uma corrente elétrica, resultando em uma alteração na retenção de calor. É muito condutivo porque quando uma certa quantidade de energia é absorvida, os elétrons são liberados e se afastam da camada de valência em direção à camada de condução (FELTRIN, 2012; SOUZA, 2019).

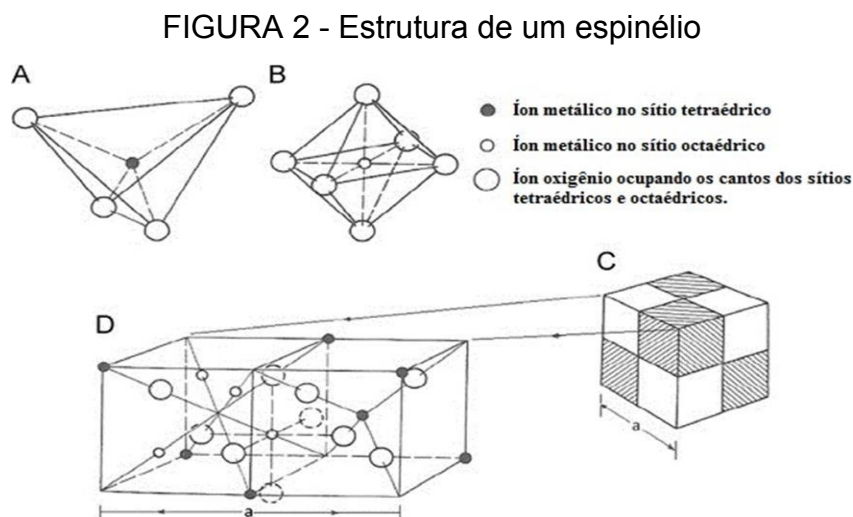
Devido ao seu processo fotocatalítico, o catalisador de dióxido de titânio pode ser utilizado com muita eficiência em fotocatalise heterogênea de tratamento de água, efluentes industriais, desinfetantes do ar e ambientais (FELTRIN, 2014; SOUZA, 2019). Uma das razões pelas quais o TiO_2 é um excelente catalisador em processos fotocatalíticos é a sua área superficial e tamanho de partícula, bem como o fato de permanecer estável quando fotoexcitado pela luz (FELTRIN, 2013; SOUZA, 2019).

3.7.2 Aluminato de Zinco (ZnAl_2O_4)

O aluminato de zinco, ZnAl_2O_4 , é um óxido do tipo espinélio de grande interesse devido às suas aplicações como catalisador, suporte catalítico e como material cerâmico, eletrônico e óptico (DAVIS et al., 2012; YANG et al., 2004; STRINGHINI, 2013).

Espinélio é um óxido ternário com fórmula química geral AB_2O_4 , onde A representa um cátion metálico divalente que normalmente ocupa uma posição tetraédrica, e B representa um cátion metálico trivalente que normalmente ocupa uma posição tetraédrica. 2009; NUERNBERG et al., 2012; PHANI et al., 2000; STRINGHINI, 2013). Tal estrutura é representada na Figura 2.

Esses óxidos não são tóxicos, são materiais muito estáveis e resistentes a ácidos e bases, possuem pontos de fusão elevados e áreas superficiais específicas relativamente altas. Estas propriedades os tornam adequados para uso como catalisadores sólidos heterogêneos para transformações orgânicas, incluindo reações de craqueamento, desidratação, desidrogenação, reações de hidrogenação, etc. (FARHADI et al., 2010; LI et al., 2011; STRINGHINI, 2013).



Fonte: STRINGHINI, 2013.

Além disso, o aluminato de espinélio possui alta estabilidade térmica, alta resistência mecânica, hidrofobicidade, baixa acidez superficial, baixa temperatura de sinterização e alta capacidade de difusão de cátions. Essas características os

tornam adequados para diversas aplicações, como revestimentos ópticos (em tecnologia aeroespacial e dispositivos optoeletrônicos), materiais cerâmicos de alta temperatura e principalmente como materiais catalisadores (catalisador ou suporte catalítico) (CHEN et al., 2002). , 2004; DAVIS et al., 2012; FOLETTO et al., 2012; GAMA et al., 2009; KUMAR et al., 2012; VISINESCU et al., 2011; WEI et al., 2006; YANG et al. , 2004; ZAWADZKI et al., 2009, 2006; Zhu et al., 2011; STRINGHINI, 2013).

O aluminato de zinco é um material semicondutor adequado para aplicações optoeletrônicas ultravioleta (UV) devido ao seu amplo banda *gap* (cerca de 3,8 eV), o que indica que o material é transparente à luz, com comprimentos de onda maiores que 320 nm (FOLETTO et al., 2012; KUMAR et al., 2006; LI et al., 2011; STRINGHINI, 2013).

Em geral, existem muitos métodos para a preparação de aluminato de zinco, tais como reação em estado sólido, sol-gel, co-precipitação, precursor de polímero, citrato modificado, hidrotérmica e terapia hidrotérmica assistida por micro-ondas. As principais desvantagens do $ZnAl_2O_4$ produzido por métodos convencionais, como reação no estado sólido e co-precipitação, são a baixa área superficial específica e a baixa porosidade resultante. Quando se trata de alvos catalíticos, possuir alta área superficial específica e estrutura porosa são características relevantes (CHEN et al., 2002; FOLETTO ET AL., 2012; YANG et al., 2004; ZAWADZKI et al., 2009, STRINGHINI , 2013).

Nas últimas décadas, o estudo desses materiais tornou-se uma área de pesquisa muito ativa devido às suas diversas propriedades. É dada especial atenção aos métodos de preparação, uma vez que as propriedades únicas das suas estruturas e aplicações estão intimamente relacionadas com a sua morfologia, tais como tamanho e forma das partículas. Portanto, é importante desenvolver técnicas para controlar a preparação de partículas com formato e tamanho desejados (STASZAK et al., 2010; STRINGHINI, 2013).

3.7.3 Alumintao de Zinco impregnado com Óxido de cobalto ($ZnAl_2O_4-CO_3O_4$)

O cobalto (Co) é amplamente utilizado para reações catalíticas devido às suas propriedades de oxidação/redução e aos complexos que forma. Porém, dentre esses metais, é o mais abundante na crosta terrestre, o que levou ao

desenvolvimento de diversas vias catalíticas com foco neste metal (HAPKE; HILT, 2020; GARJULLI, 2021).

Catalisadores heterogêneos de cobalto podem ser formados principalmente por dois tipos de compostos: óxidos e pós metálicos, ambos geralmente depositados sobre suportes que têm por objetivo sustentar os catalisadores. Existem dois tipos principais de suportes: as ativas, que podem facilitar quimicamente a reação entre o catalisador e os demais reagentes, e as inertes que tem a função de apenas sustentar o catalisador e impedir que sejam levados pelo fluxo do processo (COSTA, 2009; GARJULLI, 2021). Como catalisador heterogêneo, o cobalto é utilizado principalmente na forma de complexos para síntese de materiais orgânicos (QUISENBERRY; HANUSA, 2011; GARJULLI, 2021).

ZnAl₂O₄-CO₃O₄ foi sintetizado utilizando um método desenvolvido utilizando uma síntese mecanoquímica descrita por Medina et al. (2018) com modificações, onde o ZnAl₂O₄, produzido pela combustão do nitrato metálico e da ureia, é impregnado com óxido de cobalto (CO₃O₄). Este material foi sintetizado e testado pela equipe de pesquisa como catalisador heterogêneo (BARBOSA et al., 2021; MORAES et al., 2021) e como adsorvente (OLIVEIRA et al., 2021).

3.8 Legislação ambiental

Os órgãos que regulamentam o gerenciamento dos resíduos de serviços de saúde, no Brasil, são a Agência Nacional de Vigilância Sanitária – ANVISA, vinculada ao Ministério da Saúde, e o Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, que é o órgão consultivo e deliberativo do Sistema Nacional do Meio Ambiente – SISNAMA, vinculado ao Ministério do Meio Ambiente.

A legislação federal que rege as regras para efluentes é a Resolução CONAMA 430/11 que complementa e altera a Resolução CONAMA 357/05. A primeira dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes e a segunda dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais sobre o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrão para lançamento de efluentes, e dá outras providências.

A Resolução CONAMA nº 20, de 18 de Julho de 1986, que classifica em nove classes as águas doces, salinas e salobras as águas do Território Nacional, consta

em seu Art. 21 que, os efluentes que forem provenientes de qualquer fonte poluidora só podem ser lançados nos corpos receptores, de forma direta ou indireta, se estiverem de acordo com algumas condições que a resolução cita, dentre as quais está que, se os efluentes tiverem origem em hospitais ou em outros estabelecimentos que façam despejos infectados por microrganismos patogênicos, devem possuir tratamento especial.

Na Resolução nº 283, de 12 de julho de 2001, do CONAMA que dispõe sobre o tratamento e a destinação final dos resíduos dos serviços de saúde, consta no Parágrafo Único que “os efluentes líquidos, provenientes dos estabelecimentos prestadores de serviços de saúde, deverão atender às diretrizes estabelecidas pelos órgãos ambientais competentes”.

A Resolução nº 358 do CONAMA, fala sobre o tratamento e a disposição final dos resíduos dos serviços de saúde e dá outras providências, consta em seu Art. 11 que, os efluentes líquidos provenientes dos estabelecimentos prestadores de serviços de saúde, para serem lançados na rede pública de esgoto ou em corpo receptor, devem atender às diretrizes estabelecidas pelos órgãos ambientais, gestores de recursos hídricos e de saneamento competentes. Desta forma transfere a responsabilidade de estabelecer os requisitos para o descarte desses efluentes dos órgãos regionais de gestão de recursos hídricos e saneamento às instituições geradoras.

A qualidade exigida é definida com precisão nas concentrações máximas de determinadas substâncias definidas nas resoluções do CONAMA 357/05, 396/08 e 430/2011, que regulamentam a classificação das águas subterrâneas e superficiais e as diretrizes ambientais e confirmam as condições de lançamento e padrões de águas residuais. Os indicadores mais importantes da qualidade da água dividem-se em aspectos físicos, químicos e biológicos. Pela Portaria 2.91/2011, o Ministério da Saúde determina que a água produzida e distribuída para consumo doméstico deve ser controlada. A lei também define a quantidade mínima, frequência de amostragem e limites permitidos.

Alguns valores máximos de água são estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/2005 e Portaria do Ministério da Saúde 2914/2011, atualizada para Portaria de consolidação nº 5, Anexo XX, de 28 de setembro de 2018 para alguns parâmetros que serão avaliados nesta pesquisa, conforme mostra o Quadro 2.

QUADRO 2 - Valores estabelecidos dos parâmetros da água

PARÂMETROS	CONAMA 357/2005	MS 2914/2011
COR APARENTE	75 mg Pt-Co.L-1	75 mg Pt-Co.L-1
PH	6,0 a 9,0	6,0 a 9,0
CONDUTIVIDADE	50-1500 µs/cm	*
CLORETO	Até 250 mg/L	Até 250 mg/L
OD	6 mg/L	*
DBO	3 mg/L	*
SULFATO	250 mg/L SO ₄	250mg/L
DUREZA TOTAL	Até 500 mg/L CaCO ₃	Até 500 mg/L
AMÔNIA	Até 0,02 mg/L NH ₃	Até 1,5 mg/L
FERRO	Até 0,3 mg/L	Até 0,3 mg/L
TURBIDEZ	100 NTU	5 UT
STD	Até 500 mg/L	Até 1000 mg/L

Fonte: BRASIL, 2005; BRASIL, 2011.

Além da necessidade de tratamento devido aos efeitos ambientais causados por esses efluentes também deve ser observada a legislação vigente no Brasil. A publicação das decisões do CONAMA (Conselho Nacional de Proteção Ambiental) e da ANVISA (Agência Nacional de Vigilância Sanitária) sobre resíduos de serviços de saúde mostra que há uma necessidade urgente de desenvolver projetos que sejam de alguma forma um sistema de gestão eficaz. A preocupação com a proteção ambiental fica evidente quando se observam os movimentos realizados para proteger o meio ambiente. No entanto, é interessante notar que a criação de tecnologias que produzem produtos poluentes antecede em muitos anos as iniciativas ambientais. A atual taxa de desolação ambiental ainda é mais rápida do que o desenvolvimento e implementação de métodos de minimização e eliminação de resíduos. Sobre esta questão, notou-se também que além da criação de leis que garantem a preservação do meio ambiente, há também a necessidade de sensibilizar toda a sociedade para a proteção ambiental.

A gestão de águas residuais está em risco porque os hospitais devem contar com opções separadas de tratamento e eliminação para cada tipo de águas residuais geradas. Também não existem regulamentações sobre o tratamento de esgoto, que entra principalmente no sistema de esgoto doméstico sem pré-tratamento.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Local de coleta e amostragem

O hospital possui uma quantidade total de 159 leitos divididos nas seguintes especialidades: clínica médica/cirúrgica, centro cirúrgico, UTI adulto, pediatria, ginecologia/obstetrícia, medicina diagnóstica, pronto atendimento, laboratório de análises clínicas, lanchonete/refeitório, cozinha e farmácia interna funcionando 24 horas por dia. Na lavanderia do hospital trabalham 09 servidores, assim distribuídos: 1 na área de costura 1 na área suja (área de recebimento das roupas sujas) e 3 na área limpa (área de secagem e calandragem das roupas). A lavanderia funciona das 7h00 às 19h00 todos os dias, em 2 turnos. Vale ressaltar que além da lavagem de roupa interna são realizadas lavagem da roupa externa proveniente da Unidade de Pronto Atendimento- UPA da cidade de Telêmaco Borba e unidades básicas de saúde do município de Imbaú.

O armazenamento da roupa é realizado em tambores que ficam localizados nos expurgos em cada posto/UTI/Centro cirúrgico/Pronto Atendimento do referido hospital, em sequência são retirados e armazenados em sacos pretos para o transporte até a lavanderia através de um carro cuba coletor de plástico com tampa. A preparação para a lavagem das peças inicia-se com a pesagem, como mostra a Figura 3.

FIGURA 3 - Balança de pesagem da roupa hospitalar

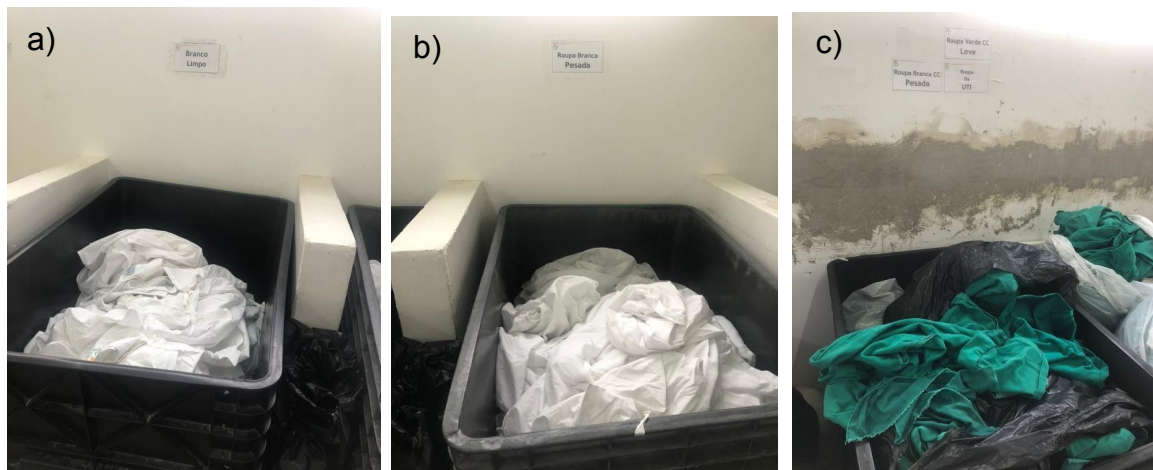


Fonte: Autoria própria (2022)

Logo após a pesagem ocorre a separação e armazenamento da roupa em estruturas de plástico e são classificadas em: branca limpa e pesada/suja e colorida

limpa/leve e pesada/suja e cobertores como mostra a Figura 4.

FIGURA 4 - Classificação da roupa: a) limpa; b) branca pesada e c) colorida pesada



Fonte: Autoria própria (2022)

As lavagens das peças altamente contaminadas ou como são classificadas como pesada/suja são realizadas em uma máquina de 50 kg, como apresentado na Figura 5, no período matutino e tem duração total de 3 horas. Segundo Souza (2019), em média o volume de água gasto no processo de lavagem para 50 kg de roupas, por máquina, chega a $1,85 \text{ m}^3$ para roupas de sujidade leve, aproximadamente $3,25 \text{ m}^3$ para roupas de sujidade pesada (considerando quatro enxágues iniciais para esse tipo de roupa).

FIGURA 5 - Máquina para lavagem da roupa hospitalar pesada



Fonte: Autoria própria (2022)

Com exceção da umectação, que apenas utiliza água, no restante do ciclo de lavagem usam-se produtos como Tretrasurf, Tratamax, PH 7 que são detergentes, Efikaz CLN como alvejante e desinfetante e Acariz que é um amaciante, onde são inseridos de forma automática através de um painel de controle para regulação dos produtos conforme a quantidade de roupa hospitalar inserida na máquina de lavar, conforme Figura 6.

FIGURA 6 - Painel de controle de regulação de produtos químicos para lavagem



Fonte: Autoria própria (2022)

As amostras foram coletadas na lavanderia hospitalar de um hospital localizado na cidade de Telêmaco Borba, no Estado do Paraná, em um período de 90 dias, com início em setembro e término em dezembro do ano de 2022, a cada 15 dias totalizando seis coletas. As coletas eram realizadas às quintas-feiras diretamente do tubo extensivo/cano de saída da máquina de lavar, conforme mostra a Figura 7.

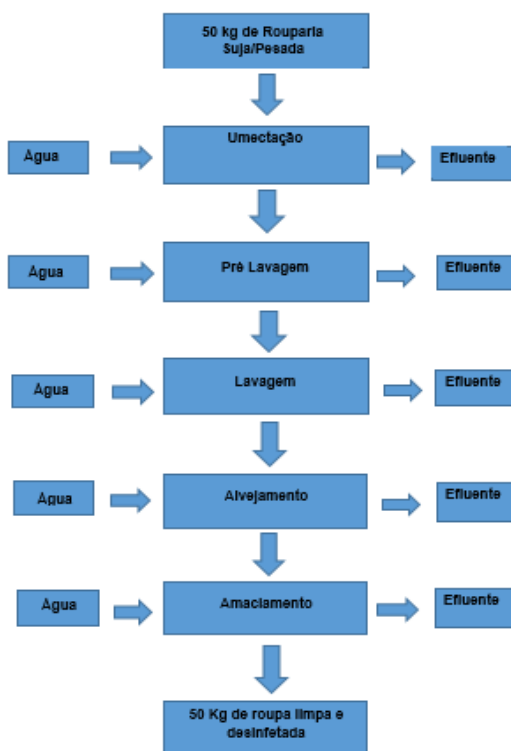
FIGURA 7 - Tubo extensivo/cano de saída para coleta de amostras de efluentes



Fonte: Autoria própria (2022)

A Figura 8 o ciclo de lavagem das peças de roupas pesadas/sujas ocorre das 7h00 às 12h00. Logo após a inserção da roupa na máquina de lavar, a umectação se inicia e ocorre nos 10 primeiros minutos. Depois a lavagem segue a sequência: pré-lavagem, lavagem, alvejamento e amaciamento. Em cada sequência de lavagem foi coletada uma amostra de 1 L, perfazendo um total de 5 L de amostra que foram armazenadas em galões de 5 L .

FIGURA 8 - Fluxograma ciclo da máquina de lavar hospitalar



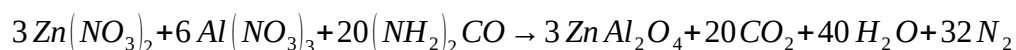
Fonte: Autoria própria (2022).

Após a coleta, os galões foram armazenados em caixa térmica com refrigeração entre 1 e 4 °C para preservação de características físicas, químicas e biológicas durante o transporte. Os galões contendo os efluentes foram armazenados em refrigerador convencional a 4°C até a realização da caracterização e tratamentos. Antes de submeter o efluente à caracterização, o galão foi retirado do refrigerador e foi aguardado até que atingisse a temperatura ambiente. Ao final das seis coletas, uma amostra representativa destas foi produzida totalizando 4,5 L que foram divididos em béqueres, representando triplicadas para cada catalisador utilizado e submetidas ao tratamento.

4.2 Produção dos catalisadores heterogêneos

Os catalisadores utilizados foram dióxido de titânio comercial (TiO₂ marca Êxodo), aluminato de zinco (ZnAl₂O₄) e aluminato de zinco com óxido de cobalto (ZnAl₂O₄-Co₃O₄). Estes últimos foram sintetizados em laboratório da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, campus Apucarana de acordo com metodologia descrita a seguir.

Para a síntese do aluminato de zinco utilizou-se nitrato de zinco, nitrato de alumínio e ureia de acordo com a reação abaixo:



A mistura foi transferida para um cadinho e levada a mufla, com taxa de aquecimento de 25°C/min até 400°C por 2 minutos. A mufla foi então aquecida até 500°C e permaneceu nesta temperatura por 20 minutos. Após este processo, o material foi triturado, peneirado e pesado.

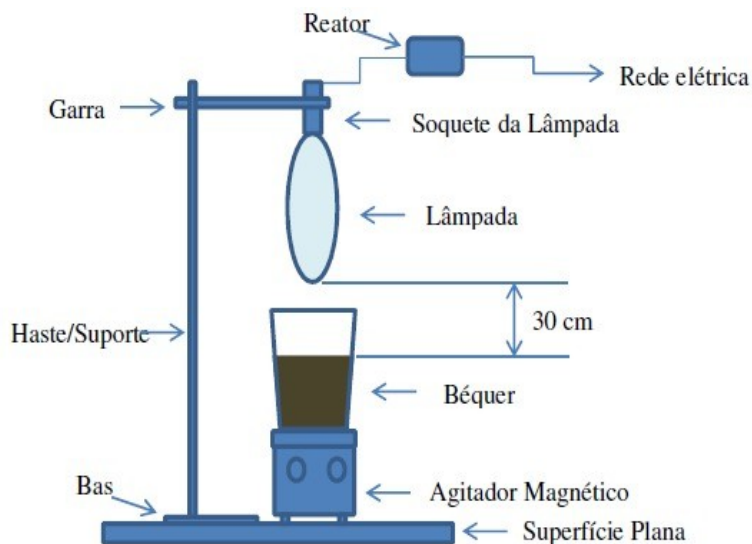
A incorporação das partículas magnéticas de cobalto ao aluminato de zinco (ZnAl₂O₄-Co₃O₄) foi desenvolvida a partir da síntese mecanoquímica descrita por Medina (2017) com modificações, utilizando a proporção molar 1:7:1 de CoCl₂:NaBH₄:ZnAl₂O₄. Os compostos foram macerados por aproximadamente 5 minutos em um almofariz de ágata até a obtenção de um pó preto. Após a maceração, o produto obtido foi transferido para tubos falcon de 15 mL, onde água destilada foi adicionada lentamente até que parasse de efervescer. Então, os tubos foram levados à centrifuga (6000 rpm) durante 5 minutos. O sobrenadante foi retirado e esta operação foi repetida até que o sobrenadante atingisse pH neutro. Após este processo de lavagem, o produto foi seco a vácuo.

4.3 Ensaios de fotocatalise heterogênea

Para a realização do teste de fotocatalise heterogênea foi construído um sistema de reator do tipo batelada constituído de um béquer, agitador com aquecimento, suporte universal, bocal de lâmpada, lâmpada de luz ultravioleta e um gerador de bolhas de ar, para manter constante a circulação de oxigênio. Neste sistema foi acoplado uma lâmpada de vapor de mercúrio (ampola ultravioleta

UV) com potência de 250W e comprimento de onda de 310 a 400nm, foram usadas a 30 cm da superfície do efluente conforme demonstrado na Figura 9.

FIGURA 9 - Equipamento utilizado para a realização de fotocatalise



Fonte: Coelho (2011).

A mistura reacional foi composta por 500 mL de amostra representativa do efluente e 1 g de catalisador. Os testes foram realizados em triplicata para cada catalisador. O sistema foi fechado com auxílio de uma caixa para não ocorrer influência da luz do meio externo e de modo a não expor o pesquisador à radiação ultravioleta. A cada 30 minutos, uma alíquota de 100 mL foi retirada, filtrada em seringa milipore 25mm x 0,45 (amostras tratadas com TiO_2) ou filtrada à vácuo (amostras tratadas com ZnAl_2O_4 e $\text{ZnAl}_2\text{O}_4\text{-Co}_3\text{O}_4$ – Figura 10) e levadas para caracterização do efluente.

FIGURA 10 - Filtro à Vácuo



Fonte: Autoria própria (2022).

4.4 Caracterização do efluente antes da fotocatalise

O efluente da Lavanderia Hospitalar utilizado no decorrer do estudo foi obtido junto a um Hospital na cidade de Telêmaco Borba. Para a realização da caracterização do mesmo antes da aplicação do tratamento com fotocatalise heterogênea foram realizadas a determinação do pH, da coloração do efluente, da turbidez e da condutividade.

4.5 Caracterização do efluente após fotocatalise

Para a caracterização das amostras após o tratamento foram realizados ensaios de pH, coloração, turbidez e condutividade.

4.5.1 Determinação do pH

O pH tem como finalidade determinar a característica ácida ou alcalina de um determinado efluente industrial, seu valor varia entre 0 a 14 sendo medido através da análise da concentração de íons de hidrogênio existente no meio o que podem influenciar na característica das cargas das partículas existentes no efluente industrial (BELAN, 2014; SOUZA, 2019).

De acordo com Abreu (2008) o pH consiste em um parâmetro de influência para a realização da reação pois o mesmo está relacionado ao caráter anfótero do catalisador de dióxido de titânio.

Para a realização da determinação do pH coletou-se uma amostra do efluente tratado da lavanderia hospitalar e utilizou-se um pHmetro modelo mPA 210 a da marca TECNOPON.

4.5.2 Determinação da Coloração do efluente

A análise da coloração de efluentes industriais tem como finalidade analisar e determinar a quantidade de material orgânico (MO) existente em suspensão no meio e que por sua vez depende da quantidade de componentes que são utilizados ao longo do processo industrial e das substâncias que são fabricadas (SOUZA,

2019). Para realização da determinação da cor das amostras de efluente da lavanderia hospitalar as mesmas foram efetuadas através do método espectrofotométrico, utilizando um colorímetro modelo DR 890 da marca HACH.

4.5.3 Determinação da Turbidez do efluente

A turbidez consiste em se analisar a diminuição da transparência de um determinado efluente industrial averiguando a quantidade de matérias existentes em suspensão no meio e que por sua vez reduzem a passagem de luz para o mesmo (BELAN, 2014; SOUZA, 2019).

Para a determinação da turbidez as amostras de efluente foram analisadas em um turbidímetro modelo TB 2000 da marca ADAMO.

4.5.4 Determinação da Condutividade do efluente

A condutividade elétrica da água representa a facilidade ou dificuldade de passagem da eletricidade na água. Os compostos orgânicos e inorgânicos contribuem ou interferem na condutividade, de acordo com sua concentração na amostra, e a correta representação da temperatura possui um fator preponderante na medição correta da condutividade elétrica (SOUZA, 2019).

Valores de condutividade elétrica da água são utilizados há décadas como indicativos da qualidade da água, com sua representação pelo Sistema Internacional em unidades miliSiemens por cm^2 (mS/cm^2) ou micro Siemens por cm^2 ($\mu\text{S}/\text{cm}^2$).

4.6 Análise estatística

A análise estatística tem como objetivo, verificar se existe desvios matematicamente consideráveis no presente trabalho em relação as variáveis estudadas, analisando a média, desvio padrão, análise de variância. Como análise explanatória, foram construídas as tendências, considerando as médias das triplicatas.

Para determinar se existe diferença significativa entre as médias das variáveis observadas (pH, condutividade, turbidez e coloração) em relação aos diferentes

catalisadores utilizados, foram realizadas as análises de variância (ANOVA) de medidas repetidas. O teste ANOVA é uma técnica de análise de variância para avaliar a influência de variáveis sobre os resultados e como ocorre a interação entre os fatores investigados. Por meio dela, é possível determinar qual o nível de significância (p) de cada fator, estabelecendo, assim, sua relação com a resposta analisada. Caso seja constatado que as médias estatisticamente nas ANOVAs, será realizado testes de comparação múltiplas com correção de Bonferroni. Todos os níveis de significância considerados nesse trabalho foram de 5%. Por fim, as ANOVAs foram realizadas no software R, considerando o pacote *rstatix*.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os Processos Oxidativos Avançados (POAs) têm sido utilizados no tratamento de efluentes para a degradação parcial ou total de espécies orgânicas. Vários métodos têm sido estudados, mas todos apresentam em comum a presença do radical hidroxila ($\text{HO}\cdot$) no mecanismo de ação (ARAUJO *et al.*, 2016). Este trabalho propõe o tratamento de efluente hospitalar via POAs, utilizando-se três tipos de catalisadores TiO_2 , ZnAl_2O_4 e $\text{ZnAl}_2\text{O}_4\text{-Co}_3\text{O}_4$.

O dióxido de titânio (TiO_2) é amplamente utilizado em fotocatalise por apresentar fotoatividade mais eficiente, maior estabilidade e baixo custo (HASHIMOTO *et al.*, 2005). Este catalisador tem sido utilizado em sua forma convencional, suportado ou modificado para degradação de poluentes (HUMAYUN *et al.*, 2018).

O aluminato de zinco (ZnAl_2O_4) também tem sido estudado na degradação de poluentes potenciais (PUTRA, 2020). Este material tem sido produzido em laboratório da UTFPR, campus Apucarana pelo método de combustão a partir dos nitratos metálicos e ureia (OLIVEIRA, 2018).

O tetróxido de cobalto Co_3O_4 é um óxido de estrutura espinélio que assim como o ZnAl_2O_4 tem fórmula AB_2O_4 , em que A representa um cátion metálico divalente que geralmente ocupa um sítio tetraédrico e B representa trivalentes cátions metálicos que normalmente ocupam os sítios octaédricos de uma estrutura cúbica (WALKER *et al.*, 2002). Este óxido tem sido produzido em laboratório da UTFPR, campus Apucarana pelo método mecanoquímico (MEDINA *et al.*, 2019). A impregnação deste óxido em aluminato de zinco traz ao material resultante ($\text{ZnAl}_2\text{O}_4\text{-Co}_3\text{O}_4$) propriedades magnéticas (OLIVEIRA *et al.*, 2021).

Após o tratamento dos efluentes com estes catalisadores análises de pH, condutividade, turbidez e cor foram realizadas.

- Variação do pH

No Quadro 3 é possível observar os resultados obtidos de valores de pH das seis coletas quinzenais e ainda, o valor de pH da amostra composta. Os resultados obtidos evidenciam que durante o período das coletas os valores de pH ficaram muito próximos, variando de 7,14 a 7,80. Para a amostra composta o valor obtido foi

de 7,57. Estes valores estão de acordo com os valores estabelecidos pela resolução CONAMA 357/2005 estabele valor de pH entre 6,0-9,0.

QUADRO 3 - Caracterização pH das amostras brutas

AMOSTRA BRUTA	PH
AMOSTRA 1	7,80
AMOSTRA 2	7,45
AMOSTRA 3	7,61
AMOSTRA 4	7,70
AMOSTRA 5	7,28
AMOSTRA 6	7,14
AMOSTRA COMPOSTA	7,57

Fonte: Autoria Própria (2023).

No Quadro 4 são apresentados os valores de pH após o tratamento com os três catalisadores durante 2 horas. Conforme pode ser observado ambos os catalisadores contribuíram para o crescimento do pH durante o tratamento, ficou entre 8,42 e 8,76 nos primeiros 30 minutos. Entretanto, ao final do tratamento de 2 horas, os valores de pH decaíram devido a formação do radical hidrogênio H^+ que consequentemente provoca a queda de Ph e do Radical hidroxila que degrada a matéria orgânica para todos os catalisadores testados, obedecendo os valores estabelecidos pela resolução CONAMA 357/2005.

Segundo Abreu (2008), o estudo do pH da solução aquosa é um dos importantes parâmetros na degradação fotocatalítica de compostos orgânicos, consequentemente devido ao pH afetar o TiO_2 , incluindo a carga das partículas, o tamanho dos agregados e as posições das bandas de condução e de valência. Sendo assim, o pH apresenta uma influência na eficiência da reação, devido a possíveis interações eletrostáticas entre a superfície do TiO_2 e o poluente orgânico na solução.

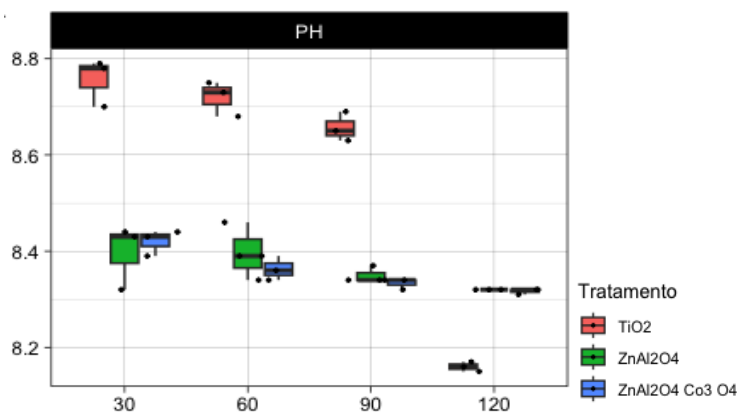
QUADRO 4 - Média, Desvio Padrão e Variação do PH da amostra utilizando os catalisadores para tratamento do efluente

Tempo	TiO_2			$ZnAl_2O_4$			$ZnAl_2O_4-CO_3O_4$		
	Média	Desvio Padrão	Variação	Média	Desvio Padrão	Variação	Média	Desvio Padrão	Variação
30 min	8,76	0,0493	0,001622	8,44	0,0152	0,000156	8,42	0,0264	0,000467
60 min	8,72	0,0360	0,000867	8,36	0,0288	0,000556	8,36	0,0251	0,000422
90 min	8,66	0,0305	0,000622	8,34	0,0251	0,000422	8,33	0,0115	8,890-05
120 min	8,16	0,0100	6,670-05	8,32	0,0000	0,000000	8,32	0,0057	2,220-05

Fonte: Autoria Própria (2023).

Uma representação gráfica do decaimento dos valores de pH é apresentada na Figura 11.

FIGURA 11 - Valores de pH das amostras de efluente submetidas ao tratamento com os catalisadores TiO_2 , ZnAl_2O_4 e $\text{ZnAl}_2\text{O}_4\text{-Co}_3\text{O}_4$



Fonte: Autoria Própria (2023).

Para determinar se existe diferença significativa entre as médias do pH em função dos diferentes catalisadores, foram realizadas as ANOVAs. Com o Quadro 5, observa-se que existe efeito significativo dos catalisadores, tempo, assim como a interação entre eles. Dessa forma, dando continuidade, realizou-se o desdobramento da ANOVA, comparando as médias de pH de cada catalisador dentro de cada tempo, assim como as médias de cada tempo dentro de cada catalisador.

QUADRO 5 - ANOVA para PH considerando efeito de catalisador e tempo

Efeito	F	P-valor
Catalisador	12,55	0,019
Tempo	272,8	0,004
Catalisador:Tempo	79,28	0,001

Fonte: Autoria Própria (2023).

Verificando a Quadro 6, na qual são realizados os testes comparando os catalisadores dentro de cada tempo, observa-se que para o tempo 30 min, a média do pH se difere significativamente entre TiO_2 e $\text{ZnAl}_2\text{O}_4\text{-Co}_3\text{O}_4$, para o tempo de 120 min, observa-se diferença significativa entre TiO_2 e ZnAl_2O_4 , assim como TiO_2 e $\text{ZnAl}_2\text{O}_4\text{-Co}_3\text{O}_4$, ou seja, o catalisador TiO_2 mostrou eficiência, no mesmo período

de tempo dos outros catalisadores.

QUADRO 6 - Comparação múltipla das médias de pH, fixando os tempos

Tempo	Catalisador	Catalisador	P-valor
30	TiO ₂	ZnAl ₂ O ₄	0,074
30	TiO ₂	ZnAl ₂ O ₄ -Co ₃ O ₄	0,006
30	ZnAl ₂ O ₄	ZnAl ₂ O ₄ -Co ₃ O ₄	1
120	TiO ₂	ZnAl ₂ O ₄	0,004
120	TiO ₂	ZnAl ₂ O ₄ -Co ₃ O ₄	0,001
120	ZnAl ₂ O ₄	ZnAl ₂ O ₄ -Co ₃ O ₄	1

Fonte: Autoria Própria (2023).

Já com a Quadro 7, na qual são realizados os testes comparando os tempos dentro de cada catalisador, observa-se que: existe diferença significativa entre os níveis médios de pH, quando utilizado TiO₂, entre os tempos 30 e 120min; o pH médio também mostrou diferença significativa entre os tempos quando utilizado ZnAl₂O₄- Co₃O₄, isso demonstra a eficiência pelo tempo relacionado a cada catalisador exposto.

QUADRO 7 - Comparação múltipla das médias de pH, fixando os catalisadores

Catalisador	Tempo	Tempo	P-valor
TiO ₂	30	120	0,003
ZnAl ₂ O ₄	30	120	0,184
ZnAl ₂ O ₄ -Co ₃	30	120	0,025

Fonte: Autoria Própria (2023).

- Variação da Condutividade

No Quadro 8 é possível observar os resultados obtidos de valores de condutividade das seis coletas quinzenais e ainda, o valor da amostra composta. Pode-se observar que os valores das seis coletas apresentaram diferenças entre si, variando de 0,352 a 0,808 mS. A amostra composta antes do tratamento apresentou valor de 0,763 mS.

Os valores estabelecidos para a condutividade da água pela resolução CONAMA 357/2005 é de 50 – 1500 µs/cm, sendo que os resultados obtidos durante as coletas estão dentro da faixa estipulada.

QUADRO 8 - Condutividade das amostras brutas e média

AMOSTRA BRUTA	CONDUTIVIDADE (mS/cm)
AMOSTRA 1	0,808
AMOSTRA 2	0,352
AMOSTRA 3	0,435
AMOSTRA 4	0,478
AMOSTRA 5	0,529
AMOSTRA 6	0,593
AMOSTRA COMPOSTA	0,763

Fonte: Autoria Própria (2023).

A Quadro 9 apresenta os resultados obtidos após submissão da amostra composta ao tratamento com os três catalisadores durante duas horas. Como pode ser verificado, após o processo os valores de condutividade diminuiram para o valor mínimo previsto pela resolução do CONAMA 357/2005. O TiO_2 foi o catalisador que atuou de forma mais eficiente reduzindo cerca de 27 % do valor inicial de condutividade nos primeiros 30 minutos de tratamento. Entretanto o catalisador $ZnAl_2O_4$, ao final do processo, foi capaz de diminuir o valor de condutividade para 0,485 mS.

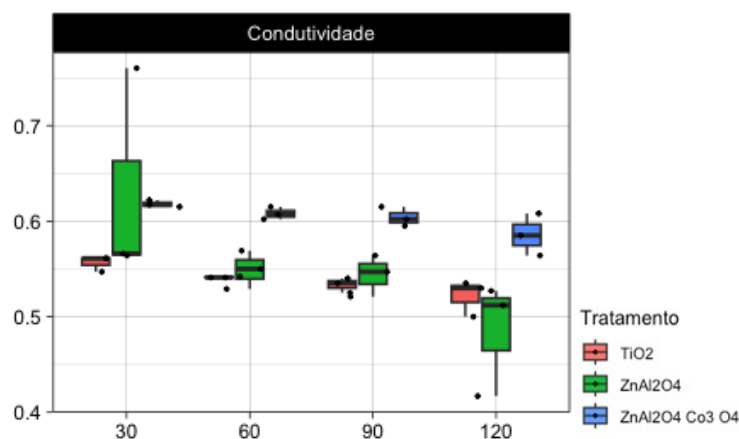
QUADRO 9 - Média, Desvio Padrão e Variação da Condutividade (mS) da amostra utilizando os catalisadores para tratamento do efluente.

Tempo	TiO_2			$ZnAl_2O_4$			$ZnAl_2O_4-CO_3O_4$		
	Média	Desvio Padrão	Variação	Média	Desvio Padrão	Variação	Média	Desvio Padrão	Variação
30 min	0,556	0,000	4,360-05	0,630	0,1120	0,008451	0,618	0,0036	0,000009
60 min	0,541	0,000	0,00000	0,549	0,0200	0,000267	0,608	0,0065	0,000029
90 min	0,533	0,000	3,890-05	0,544	0,0210	0,000313	0,604	0,0101	0,000069
120 min	0,522	0,000	0,000239	0,485	0,0590	0,002372	0,585	0,0220	0,000323

Fonte: Autoria Própria (2023).

A Figura 12 apresenta a evolução apresentada pelos catalisadores durante as duas horas de tratamento.

FIGURA 12 - Condutividade das amostras de efluente submetidas ao tratamento com os catalisadores



Fonte: Autoria Própria, (2023).

Realizando a ANOVA para determinar se existe diferença significativa entre as médias de condutividade observa-se na Quadro 10 que não existe efeito significativo entre os catalisadores e o tempo de reação.

QUADRO 10 - ANOVA para Condutividade considerando afeito de catalisador e tempo

Efeito	F	P-valor
Catalisador	1,6	0,33
Tempo	11,47	0,08
Catalisador:Tempo	4,67	0,09

Fonte: Autoria Própria (2023).

- Redução da Turbidez (ou eficiência de remoção da turbidez)

No Quadro 11 é possível observar os resultados obtidos de turbidez das seis coletas quinzenais e ainda, o valor de pH da amostra composta. É possível observar que durante o período das coletas os valores de turbidez ficaram próximos, exceto pelas duas últimas coletas, variando de 80 a 92 NTU. Para a amostra composta o valor obtido foi de 86 NTU.

QUADRO 11 - Turbidez das amostras brutas e média

AMOSTRA BRUTA	TURBIDEZ (NTU)
AMOSTRA 1	81
AMOSTRA 2	80
AMOSTRA 3	82
AMOSTRA 4	80
AMOSTRA 5	90
AMOSTRA 6	92
AMOSTRA COMPOSTA	86

Fonte: Aatoria Própria (2023).

Segundo a resolução CONAMA 357/2005, os valores estabelecidos para a turbidez da água pela é 100 NTU, sendo os resultados obtidos de tratabilidade da água adequado com o que dispõem a resolução.

Após o tratamento do efuente com os três catalisadores nota-se na Quadro 12 que a turbidez foi reduzida para 80 e permaneceu constante durante as 2 horas de tratamento, ficando dentro do estabelico pela resolução CONAMA 357/2005. Como tais medidas foram constantes, não foi possível dar continuidade com as análises estatísticas.

QUADRO 12 - Média, Desvio Padrão e Variação da Turbidez da amostra utilizando os catalisadores

Tempo	TiO ₂			ZnAl ₂ O ₄			ZnAl ₂ O ₄ -CO ₃ O ₄		
	Média	Desvio Padrão	Variação	Média	Desvio Padrão	Variação	Média	Desvio Padrão	Variação
30 min	80	00	00	80	00	00	80	00	00
60 min	80	00	00	80	00	00	80	00	00
90 min	80	00	00	80	00	00	80	00	00
120 min	80	00	00	80	00	00	80	00	00

Fonte: Aatoria Própria (2023).

A turbidez impede que a luz penetre no líquido porque contém substâncias em suspensão. Esses materiais podem ser partículas coloidais, que ficam suspensas por um tempo, ou partículas maiores, que se acumulam. Cesarowicz, 2007). É claro que a turbidez e as quantidades de sólidos e o crescimento microbiológico nas amostras estão relacionados. Além disso, foram observados valores elevados de turbidez e ineficiências na capacidade do sistema de tratamento em remover os contaminantes (CESARO, 2007).

- Redução da Cor/Coloração (ou eficiência de remoção da Cor/Coloração)

No Quadro 13 é possível observar os resultados obtidos de coloração das seis coletas quinzenais e ainda da amostra composta. Pode-se observar que as colorações obtidas foram distintas, evidenciando diferenças na quantidade de material orgânico existente em suspensão em cada coleta. Para a amostra composta o valor obtido foi de 52 mg Pt-Co.L-1.

QUADRO 13 - Cor/Coloração das coletas e amostra composta.

AMOSTRA BRUTA	COR (mgPt-Co.L ⁻¹)
AMOSTRA 1	22
AMOSTRA 2	33
AMOSTRA 3	28
AMOSTRA 4	61
AMOSTRA 5	95
AMOSTRA 6	38
AMOSTRA COMPOSTA	52

Fonte: Autoria Própria (2023).

Na Quadro 14 são apresentados os valores de coloração após o tratamento com os três catalisadores durante 120 minutos. Ambos os catalisadores contribuíram para a redução da coloração. O TiO₂ se destacou reduzindo a coloração para 6 Pt-Co.L-1 ao final do tratamento. Entretanto, todos foram eficazes na redução deste parâmetro. Segundo os valores estabelecidos para a cor aparente da água pela resolução CONAMA 357/2005 é de 75 mg Pt-Co.L⁻¹, sendo os resultados obtidos de tratabilidade da água adequado com o que dispõem a resolução.

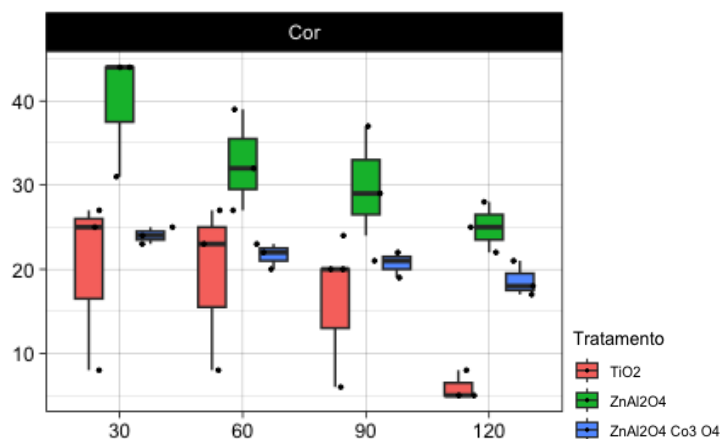
QUADRO 14 - Média, Desvio Padrão e Variação da Cor da amostra utilizando os catalisadores

Tempo	TiO ₂			ZnAl ₂ O ₄			ZnAl ₂ O ₄ -CO ₃ O ₄		
	Média	Desvio padrão	Variação	Média	Desvio Padrão	Variação	Média	Desvio Padrão	Variação
30 min	20,0	10,0	72,6	39,6	8,0	38,0	24,0	1,0	0,6
60 min	19,0	10,0	67,0	32,6	6,0	24,0	21,6	1,5	1,5
90 min	15,0	8,0	44,0	30,0	7,0	28,6	20,6	1,5	1,5
120 min	6,0	2,0	2,0	25,0	3,0	6,0	18,6	2,0	2,8

Fonte: Autoria Própria (2023).

A Figura 13 apresenta uma representação gráfica da redução de coloração do efluente durante o tratamento com os catalisadores.

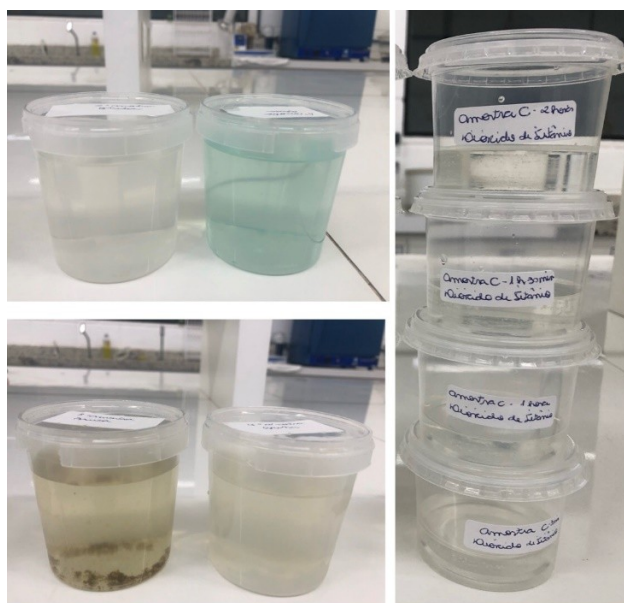
FIGURA 13 - Variação de cor das amostras de efluente submetidas ao tratamento com os catalisadores



Fonte: Autoria Própria (2023).

Objetivando uma melhor visualização da eficiência do tratamento em relação ao parâmetro de cor, a Figura 14 apresenta a variação da coloração sofrida pelo efluente após o tratamento.

FIGURA 14 - Imagem de amostras antes e após o tratamento com fotocatalise



Fonte: Autoria Própria (2023).

Realizando a ANOVA para comparar as médias da variável cor em função do

tempo e catalisador, os resultados são apresentados na Quadro 15, na qual observa-se que existe efeito significativo dos catalisadores e tempo, porém não foi detectado o efeito da interação entre essas duas variáveis, não sendo então necessário realizar a comparação entre os níveis destas.

QUADRO 15 - ANOVA para Cor considerando afeito de catalisador e tempo

Efeito	F	P-valor
Catalisador	27,9	0
Tempo	22,97	0,04
Catalisador:Tempo	2,22	0,23

Fonte: Aatoria Própria (2023).

Realizando os testes de comparação múltipla para as variáveis tempo e catalisador, tem-se os resultados apresentados na Quadro 16 na qual podemos concluir que: entre os catalisadores, a média de cor foi significativamente diferente entre TiO_2 e $ZnAl_2O_4$, assim como entre $ZnAl_2O_4$ e $ZnAl_2O_4-Co_3O_4$; a média de cor foi diferente entre os tempos 30 e 120min.

QUADRO 16 - Comparação múltipla das médias de Cor, entre tempo e catalisador

Grupo 1	Grupo 2	P-valor
TiO_2	$ZnAl_2O_4$	0,001
TiO_2	$ZnAl_2O_4-Co_3O_4$	0,069
$ZnAl_2O_4$	$ZnAl_2O_4-Co_3O_4$	0,015
30	120	0,001

Fonte: Aatoria Própria (2023).

Para analisar a influência dos catalisadores apresenta-se uma tabela de lógica verdade. No Quadro 17 os valores referenciais são da amostra composta bruta e tratada para os itens: Ph, condutividade, turbidez e cor, na lógica a seta representa acréscimo nos valores em relação ao referencial, representa decréscimo e o símbolo = representa igualdade de valores entre si.

QUADRO 17 - Lógico Verdade

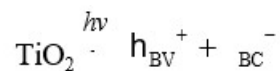
Determinates	TiO ₂	ZnAl ₂ O ₄	ZnAl ₂ O ₄ CO ₃ O ₄
Ph	↑	↑	↑
Condutividade	↓	↓	↓
Turbidez	=	=	=
Cor/Coloração	↓	↓	↓

Fonte: Autoria Própria (2023).

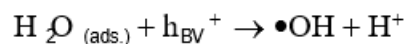
Em relação ao valor da amostra composta com a amostra tratada por diferentes catalisadores com os seguintes determinantes:

- Determinação de Ph: Ocorre um acréscimo no início do tratamento com os catalisadores, porém o acréscimo maior é do catalisador TiO₂ com 8,76 , explicando com a seguinte equação Segundo Ferreira (2005) a fotomineralização ocorre da seguinte maneira. As equações resumem as principais reações que ocorrem na irradiação do dióxido de titânio, nas quais pode ser observada a formação de diversas espécies transitórias altamente reativas, além de radicais hidroxila:

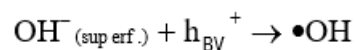
- Foto ativação da partícula de semicondutor:



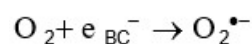
- Reação entre a lacuna foto gerada e a água adsorvida:



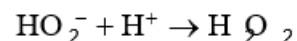
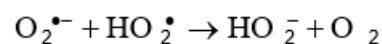
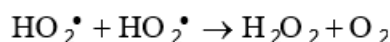
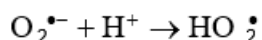
- Reação entre a lacuna foto gerada e os grupos OH⁻ na superfície da partícula do TiO₂:



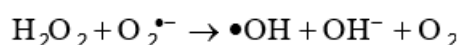
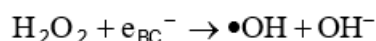
- Formação de íon radical superóxido:



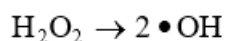
- Formação de peróxido de hidrogênio:



- Geração de radicais hidroxila pela quebra de peróxido de hidrogênio:



- Quebra da molécula de peróxido de hidrogênio sob irradiação (fotólise) com produção de radicais hidroxila:



A taxa na qual a matéria orgânica se decompõe na fotocatalise heterogênea exibe comportamento de saturação. Assim, à medida que a concentração inicial do contaminante aumenta, a taxa de degradação também aumenta. Contudo, chega um ponto em que a taxa de degradação se torna independente da concentração inicial, o que significa que a cinética da reação muda da primeira ordem para zero.

Uma diminuição na taxa de degradação em altas concentrações iniciais de contaminantes pode ser atribuída por alguns autores à competição de substrato e/ou produto de oxidação por locais na superfície ativa do fotocatalisador irradiado, o que diminui a atividade do fotocatalisador. A diluição é frequentemente necessária para otimizar a concentração inicial de contaminantes antes do tratamento fotocatalítico, o que é necessário para atingir taxas máximas de degradação (FERREIRA, 2005).

A Evolução temporal do conjunto decresce em valor de Ph conforme há degradação da matéria.

Para os demais catalisadores ZnAl_2O_4 e $\text{ZnAl}_2\text{O}_4\text{-Co}_3\text{O}_4$ houve também acréscimo nos primeiros 30 minutos de tratamento, porém permanecem ao final do tratamento com valor semelhante de Ph 8,32, mas aumenta menos a degradação do poluente do que o catalisador TiO_2 .

- Determinação de Condutividade: A condutividade está relacionada com a quantidade de íons presentes na água, o que favorece a passagem de

corrente elétrica (Pinho, 2001). Quando em excesso pode significar o risco de salinização dos corpos d'água que recebem o efluente sem tratamento. Em relação aos catalisadores estudados todos tiveram eficiência quanto a diminuição do determinante condutividade ao final do tratamento, TiO_2 e $\text{ZnAl}_2\text{O}_4\text{-Co}_3\text{O}_4$ ao final do tratamento tiveram valores aproximados, já ZnAl_2O_4 é o que conseguiu ao final melhor quantitativo relacionado a remoção/diminuição do determinante.

- Determinação de Turbidez: Para este determinante houve diminuição relacionada ao valor da amostra composta com valor de 86 NTU e relação de igualdade de valores entre todos os catalisadores estudados TiO_2 , ZnAl_2O_4 e $\text{ZnAl}_2\text{O}_4\text{-Co}_3\text{O}_4$ permanecendo até o final do tratamento valor de 80 NTU e mostrou que a turbidez não sofreu influência da fotocatalise heterogênea com os diferentes catalisadores estudados.
- Determinação de Cor/Coloração: Para o determinante de cor houve decréscimo para todos os catalisadores estudados. Em comparação ao referencial de amostra bruta para os catalisadores, em 30 min TiO_2 e $\text{ZnAl}_2\text{O}_4\text{-Co}_3\text{O}_4$ mostrou uma maior eficiência, porém em relação ao final do tratamento o catalisador TiO_2 em relação aos ZnAl_2O_4 e $\text{ZnAl}_2\text{O}_4\text{-Co}_3\text{O}_4$ se mostrou mais eficiente com decréscimo de valor menor ao final.

Através da literatura, em alguns estudos, podemos afirmar a eficiência da utilização da fotocatalise para tratamento de vários tipos de efluentes utilizando os catalisadores que foram estudados aqui neste pesquisa, em especial com TiO_2 .

Segundo Ferreira e Daniel (2004) nos experimentos com fotocatalise, as remoções de cor verdadeira foram de 46 a 55 %, 39 a 66 %, 56 a 67 % e 36 a 66 %, respectivamente. No experimento IV, sem uso do catalisador, para as variáveis mencionadas, as remoções foram inferiores e iguais a 25 % (cor verdadeira), 33 % (SST), 31 % (SSF) e 33 % (SSV). A turbidez não sofreu influência da fotocatalise heterogênea, já que as remoções nos experimentos com o TiO_2 (experimento I-39 %, experimento II-57 % e experimento III-65 %) foram comparáveis ou até inferiores à do experimento IV (60 %).

Segundo Cardoso et al. (2022), através dos resultados obtidos pelo tratamento do efluente industrial de papel e celulose através da fotocatalise

heterogênea com dióxido de titânio, pode-se concluir que o tratamento fotocatalítico se mostrou eficiente para o tratamento de efluentes da indústria de papel e celulose, e que a utilização dos catalisadores P25 e com fase predominante de anatase demonstraram uma elevada eficiência para a redução da coloração bem como da demanda química de oxigênio do mesmo, utilizando como fonte luminosa uma lâmpada de luz ultravioleta.

Numa experiência conduzida por Stringhini em 2013 investigando a deterioração da tintura de tecido, descobriu-se que a amostra de ZnAl_2O_4 que foi calcinada a 500°C exibiu energia fotocatalítica marginalmente maior em comparação com as outras amostras durante os 60 minutos iniciais da reação. Porém, posteriormente, todas as amostras compartilharam semelhanças que removeram 95 a 100% do corante em 120 minutos. Uma comparação entre os catalisadores revelou que o catalisador ZnAl_2O_4 sintetizado absorveu mais corante do que o catalisador comercial de TiO_2 , mas o TiO_2 foi capaz de quebrar o corante mais rapidamente. Comparado ao band gap de 3,8 eV do aluminato de zinco, o menor de 3,2 eV do TiO_2 proporcionou melhor atividade fotocatalítica. O aluminato de zinco pode ter demonstrado alguma habilidade de degradação séria quando se tratava de corante têxtil, mas a taxa de fotodegradação três vezes mais rápida do TiO_2 mais do que compensou isso.

Segundo Barbosa et al. (2021) O catalisador $\text{ZnAl}_2\text{O}_4\text{-Co}_3\text{O}_4$ se mostrou promissor na síntese de biodiesel visto que foi capaz de converter 69 % do óleo de soja em ésteres etílicos após 1 h de reação a 180°C , utilizando um reator de aço inox e agitação magnética.

Os diversos estudos mostrados, fortalecem a pesquisa realizada e demonstra o quanto é amplamente utilizado e confirma a efetividade da fotocatalise com uso dos catalisadores TiO_2 , ZnAl_2O_4 e $\text{ZnAl}_2\text{O}_4\text{-Co}_3\text{O}_4$. A adoção de medidas de produção mais limpa, relativas ao consumo de água, com objetivo de reduzir a quantidade de água a cada ciclo de lavagem, bem como uma análise/ estudo mais amplo sobre a caracterização deste efluente e de tratamentos, pois alia a proteção e conservação da natureza prevenindo ou amenizar os impactos negativos do homem no ambiente em que vive.

6. CONCLUSÃO

Em relação a experiência profissional na área da saúde e acompanhamento da rotina hospitalar foi verificado a necessidade dentre os diversos setores hospitalares, um aprofundamento no estudo dos efluentes de uma lavanderia hospitalar. Dentro deste setor há recebimento de roupa de todos os setores do hospital (Centro cirúrgico, Unidade de Terapia Intensiva, Pronto Atendimento, maternidade, Pediatria e etc.). As roupas que são utilizadas pelos serviços de saúde incluem os lençóis, fronhas, cobertores, toalhas, colchas, cortinas, propés, roupas de pacientes, fraldas, compressas, campos cirúrgicos, máscaras, aventais, gorros, e outros. Por meio desses exemplos, percebe-se que existe uma grande variedade de sujidades, locais de origem e formas de utilização dessas roupas nos serviços de saúde (RUTALA & WEBER, 1997; KONKEWICZ, 2010). Dependendo do setor que é proveniente a roupa, há algumas características como a presença de microrganismos patogênicos, medicamentos etc, gerando altos teores de compostos tóxicos e microbiológicos, devido a isso, se verificou a importância de analisar estes efluentes provenientes da lavanderia hospitalar, aplicando tecnologias, como a fotocatalise heterogênea para indicar o melhor tratamento desses efluentes para não causar maior dano ambiental e Humano.

A partir da revisão bibliográfica e análise sobre os efluentes da lavanderia hospitalar, verificou-se que há a necessidade da adoção de medidas de produção mais limpa, relativas ao consumo de água, com objetivo de reduzir a quantidade de água a cada ciclo de lavagem, bem como uma análise/ estudo mais amplo sobre a caracterização deste efluente e de tratamentos para tal.

O presente trabalho é de grande relevância, pois o mesmo alia a proteção e conservação da natureza, espaço natural ou biodiversidade, no sentido de prevenir ou amenizar os impactos negativos do homem no ambiente em que vive.

Os resultados obtidos evidenciam que durante o período das coletas os valores de pH ficaram muito próximos variando de 7,14 a 7,80, sendo que após o tratamento com os catalisadores o pH permaneceu de acordo com os valores estabelecidos pela resolução CONAMA 357/2005, ou seja, entre 6,0-9,0. Os catalisadores não apresentaram diferença entre si neste parâmetro ao final do tratamento.

Na comparação da condutividade no decorrer do tratamento houve diminuição deste parâmetro para os catalisadores estudados. Os valores obtidos após o

tratamento com os catalisadores ficaram dentro da faixa estabelecida para a condutividade da água pela resolução CONAMA 357/2005 que é de 50 – 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ou 0,05 – 1,5 mS/cm . O teste ANOVA apontou que não existe diferença significativa entre os catalisadores e tempo de reação.

Para o parâmetro de turbidez pode-se constatar que as amostras antes e após o tratamento estavam dentro do que é permitido pela resolução CONAMA 357/2005 que é 100 NTU. Porém, nota-se que ambos os catalisadores apresentaram redução neste parâmetro, sendo favorável, já que está diretamente ligado a quantidade de matéria orgânica suspensa em solução. Como tais medidas foram constantes, não foi possível dar continuidade com as análises estatísticas. Segundo os valores estabelecidos para a turbidez da água sendo os resultados obtidos de tratabilidade da água adequado com o que dispõem a resolução.

Na redução de cor/coloração ambos os catalisadores apresentaram eficiência para a redução deste parâmetro, onde o catalisador ZnAl_2O_4 e $\text{ZnAl}_2\text{O}_4\text{-CO}_3$ apresentaram eficiências semelhantes, destacando-se o catalisador TiO_2 . Os catalisadores apresentam diferenças significativas relativo ao tempo de atuação na redução de cor.

Estes resultados evidenciam que o catalisador TiO_2 , amplamente utilizado, assim como os catalisadores ZnAl_2O_4 e $\text{ZnAl}_2\text{O}_4\text{-CO}_3$ foram eficazes para tratamento de efluente proveniente de uma lavanderia hospitalar de acordo com os parâmetros estudados.

REFERÊNCIAS

APHA, AWWA, WEF. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 20^a edition. Washington, DC: APHA, AWWA, WEF, 1998.

ARAÚJO, R.S de; ANTONELLI, R.; GAYDECZKA, B.; GRANATO, A.C.; MALPASS, R. P. Processos oxidativos avançados: uma revisão de fundamentos e aplicações no tratamento de águas residuais urbanas e efluentes industriais. **Rev. Ambient. Água** vol. 11 n. 2 Taubaté – Apr. / Jun. 2016.

ANA/FIESP/SINDUSCON-SP – Agência Nacional das Águas/Federação das Indústrias do Estado de São Paulo/Sindicato da Indústria de Construção do Estado de São Paulo. **Conservação e reuso da água em edificações**. São Paulo: Prol Editora Gráfica, 2005.

ABREU, C. R. F. "**Estudo das possibilidades da aplicação de fotocatalise em processos de produção têxtil aplicação de TiO₂ nanoestruturado dopado com metais de transição**". Dissertação de Mestrado em Química Industrial pela Universidade da Beira Interior, Covilhã, 2008.

ALBRECHT, C. Impactos Ambientais dos Efluentes de Lavanderia Hospitalar e Tratamento com Fotoozonização Catalítica. 2007. 62 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental, **Universidade de Santa Cruz do Sul**, Santa Cruz do Sul. 2007.

ALBUQUERQUE, A. R.; et.al. "**Propriedades estruturais e eletrônicas de nanofilmes de TiO₂ anatase: cálculos B3LYP-D* em sistemas periódicos bidimensionais**". 8 ed., vol. 37, São Paulo: Química Nova, 2014, pp. 1318-1323.

ALVES, G. C.; FERRARI-LIMA, A. M. e MARQUES, R. G. "**Avaliação da temperatura de calcinação na atividade fotocatalítica do dióxido de titânio em efluente de celulose e papel**". Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista, vol. 9, nº 11, pp. 309-320, Tupã, São Paulo, 2013.

BADO, C.; et. al. "**A demanda química de oxigênio: questionamentos**". Revista Analytica, nº 62, pp. 44-51, 2012.

BARBOSA, R. A. M et. al. **Catalisadores Magnéticos do tipo Espinélio na produção de Biodiesel**. SEI – SICITE, 2021.

BARRETO, P. S., **Biodegradabilidade do Antineoplásico Ciclofosfamida por Processo Anaeróbio**. 2007. 155 f. Tese de Doutorado (Pós-Graduação em Engenharia Ambiental) - Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis/SC, 2007.

BRASIL. Ministério da Saúde. Saúde Ambiental e Gestão de Resíduos de Serviços de Saúde. Brasília: **Ministério da Saúde**, 2002. 450 p.

BRASIL. Lei nº. 6.938 de 31 de agosto de 1981. **Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências.** Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 2 de setembro de 1981.

BRASIL. **Resolução nº 430 de 13 de Maio de 2011.** Condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do **Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA.** Brasília, 2011.

BRASIL. Lei nº. 6.938 de 31 de agosto de 1981. **Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências.** Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 2 de setembro de 1981.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 20, de 18 de junho de 1986.** Considerando ser a classificação das águas doces, salobras e salinas essencial à defesa de seus níveis de qualidade, avaliados por parâmetros e indicadores específicos, de modo a assegurar seus usos preponderantes. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Diário Oficial da União, 30 de julho de 1986, Brasília/DF. 58

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 283, de 12 de julho de 2001.** Dispõe sobre o tratamento e a destinação final dos resíduos dos serviços de saúde. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Diário Oficial da União, 01 de outubro de 2001, Brasília/DF.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005.** Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Diário Oficial da União, nº 053, de 18 de março de 2005, págs. 58-63, Brasília/DF.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 358, de 29 de abril de 2005. Dispõe sobre o tratamento e a disposição final dos resíduos dos serviços de saúde e dá outras providências. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Diário Oficial da União, nº 84, de 4 de maio de 2005, Seção 1, págs 63-65 Brasília/DF.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 403, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre a nova fase de exigência do Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores-PROCONVE para veículos pesados novos (Fase P- 7) e dá outras providências. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Diário Oficial da União, 16 de maio de 2011, Brasília/DF.

BELAN, A. L. D. **"Eletrofloculação aplicada ao tratamento de efluentes têxteis".** Monografia de Especialização em Pós Graduação em Gestão Ambiental na Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, Paraná, 2014.

SOUZA, M. A .C.; LIMA, E. A; LIMA, P. A . R. **Análise do uso de catalisadores de Dióxido de Titânio em Fotocatálise heterogênea para tratamento de efluentes da indústria de papel de celulose**. In: Anais do EPIC - IX Encontro de Pesquisa e XIII Encontro de Iniciação Científica da UNIFATEB: Ciências, Política e Saúde. Anais...Telêmaco Borba(PR) UNIFATEB, 2022.

CESARO, L. R. **Degradação de corantes reativos e efluentes de indústria têxtil através da produção de agente oxidante pela eletrólise de cloreto de sódio no meio reacional**. 2007. 99 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnólogo em Química Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba/PR, 2007.

CIOLA, R. **"Fundamentos da catálise"**. 1 ed.,: MODERNA LTDA, São Paulo, São Paulo,1981, p. 377.

COELHO, G. A. **Comparação da fotodegradação catalítica (TiO₂) do efluente de branqueamento de polpa kraft com uso de radiação visível ou ultravioleta**. Universidade Federal do Paraná. Curitiba , 2011

COLETTI, F. J. **Inativação de microorganismos indicadores presentes em efluentes secundários de esgoto sanitário com radiação ultravioleta**. 2003. 239 f. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2003.

COSTA, Ruth Isabel Tomaz Morais da. **Utilização de catalisadores de cracking catalítico na despolimerização do poli(metacrilato de metilo)**. 2009. - Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, 2009.

DAVIS, M.; GÜMECI, C.; ALSUP, R.; KORZENEIWSKI, C.; HOPE-WEEKS, L. J. Facile synthesis of zinc aluminate nanostructures through an epoxide driven. *Materials Letters*, v. 73, p. 139-142, 2012. DIEBOLD, U. **"The surface science of titanium dioxide"**. *Surface Science Reports*, vol. 48, pp. 53-229, 2002.

EDWIN, W.H,J. et.al. The Novel low temperature synthesis of nanocrystalline MgAl₂O₄ spinel using "gel" precursors. **Materials Research Bulletin**, 2002.

FARHADI, S.; PANAHANDHJOO, S. Spinel-type zinc aluminate (ZnAl₂O₄) nanoparticles prepared by the co-precipitation method: A novel, green and recyclable heterogeneous catalyst for the acetylation of amines, alcohols and phenols under solvent-free conditions. *Applied Catalysis A: general*, v. 382, p. 293-302, 2010.

FELTRIN, J. **"Estabilização a elevadas temperaturas da fase anatase com partículas submicrométricas de SiO₂"**. Dissertação de Mestrado em Ciência e Engenharia dos Materiais pela Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina , 2012, p. 109.

FELTRIN, J., et.al. **"Superfícies fotocatalíticas de titânia em substratos cerâmicos. parte I: síntese, estrutura e fotoatividade"**. *Revista Cerâmica*, 52 ed., São Paulo, São Paulo, 2013, pp. 620-632.

FELTRIN, J.; et. al. **“Superfícies fotocatalíticas de titânia em substratos cerâmicos. Parte II: substratos, processos de deposição e tratamento térmico”**. Revista Cerâmica, nº 60, pp. 1-9, 2014.

FERREIRA, Ivete Vasconcelos Lopes; DANIEL, Luiz Antonio. Fotocatálise heterogênea com TiO₂ aplicada ao tratamento de esgoto sanitário secundário. **Eng. Sanit. Ambient.**, Rio de Janeiro, v. 9, n. 4, p. 335-342, Dec. 2004.

FOLETTO, E. L.; BATTISTON, S.; SIMÕES, J. M.; BASSACO, M. M.; PEREIRA, L. S.

F.; FLORES, E. M. M.; MÜLLER, E. I. **Synthesis of ZnAl₂O₄ nanoparticles by different routes and the effect of its pore size on the photocatalytic process. Microporous and Mesoporous Materials**, v. 163, p. 29-33, 2012.

FOLETTO, E. L.; BATTISTON, S.; SIMÕES, J. M.; MAZUTTI, M. A. **Zinc aluminate (ZnAl₂O₄) spinel semiconductor obtained by co-precipitation technique and its application as photocatalyst under sunlight**. 2012, In press.

FUZINATTO, C. F. **Avaliação toxicológica de efluente de lavanderia hospitalar: toxicidade aguda e crônica com Daphnia magna**. Vol 11, São Paulo, 2018.

FUJISHIMA, A. e HONDA, K. **"Electrochemical photolysis of water at a semiconductor electrode"**. Nature, vol. 238, pp. 37-38, Julho 1972.

GAMA, L.; RIBEIRO, M. A.; BARROS, B. S., KIMINAMI, R. H. A.; WEBER, I. T.; COSTA, A. C. F. M. Synthesis and characterization of the NiAl₂O₄, CoAl₂O₄ and ZnAl₂O₄ spinels by the polymeric precursors method. Journal of Alloys and Compounds, v. 483, p. 453-455, 2009.

GAUTAM, A. K.; KUMAR, S.; SABUMON, P. C. Preliminary study of physicochemical treatment options for hospital wastewater. Journal of **Environmental Management**, v. 83, n. 3 p. 298–306, mai. 2007.

GIURIATTI, G; MARQUES, R. G.; PEREIRA, C. A. A. **“Estudo dos pós cerâmicos MgTiO₃ na degradação fotocatalítica de corantes têxteis”**. Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista Saúde e Saneamento Ambiental, vol. 11, nº 8, pp. 129-138, Tupã, São Paulo, 2015.

GARJULLI, F. Reciclagem de catalisador petroquímico a base de óxido de cobalto misto. Versão corr. São Paulo, 2021.

HASHIMOTO, K. et al. **TiO₂ Photocatalysis: A Historical Overview and Future Prospects**. Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 44, No. 12, 2005.

HAPKE, Marko; HILT, Gerhard. **Cobalt catalysis in organic synthesis : methods and reactions.**, 2020.

HOAG, L. S. A. **Reuso de Água em Hospitais: o Caso do Hospital “Santa Casa de Misericórdia de Itajubá”**. 2008. 204 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Energia). Universidade Federal de Engenharia de Itajubá. Itajubá: 2008.

HUMAYUN, M., RAZIQ, F., KHAN, A., LUO, W. **Modification strategies of TiO₂ for potential applications in photocatalysis: a critical review**, Green Chemistry Letters and Reviews, 11:2, 86-102, 2018.

KERN, D. I.; SCHWAICKHARDT, R. O.; MOHR, G.; LOBO, E. A.; KIST, L. T.; MACHADO, E. L. Toxicity and genotoxicity of hospital laundry wastewaters treated with photocatalytic ozonation. **Science of the Total Environment**, v. 443, p. 566-572, 2013.

KIST, L. T.; ALBRECHT, C.; MACHADO, E. L. Hospital laundry wastewater disinfection with catalytic photoozonation. **Clean**, v. 36, n. 9, p. 775-780, 2008.

KONKEWICZ, L. R. **Prevenção e controle de infecções relacionado ao processamento das roupas hospitalares**. 2010.

KUMAR, R. T.; SELVAM, N. C. S.; RAGUPATHI, C.; KENNEDY, L. J.; VIJAVA, J. J. Synthesis, characterization and performance of porous Sr(II)-added ZnAl₂O₄ nanomaterials for optical and catalytic applications, Powder Technology, v. 224, p. 147-154, 2012.

KÜMMERER, K.; Drugs in the environment: emission of drugs, diagnostic aids and disinfectants into wastewater by hospital in relation to other sources – a review. Chemosphere, n. 45, p. 957-969, 2001.

MALATO, S.; et.al. **"Decontamination and disinfection of water by solar photocatalysis: recent overview and trends"**. 147 ed., vol. 1, Catalysis Today, 2009, pp. 1-59.

MARQUES, R. G. **"Decomposição Fotocatalítica de Gasolina Sintética e Comercial"**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Química, na área de desenvolvimento de processos pela Universidade Estadual de Maringá, UEM, Maringá, Paraná, 2005.

MEDINA, B. et al. Solventless preparation of Fe₃O₄ and Co₃O₄ nanoparticles: A mechanochemical approach. **Materials Chemistry and Physics** 226, 2019.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. Manual de lavanderia hospitalar. Brasília. **Centro de Documentação do Ministério da Saúde**, (Série A: Normas e Manuais Técnicos), 1986.

MORAES, N. C. et. al. Síntese e Caracterização de Compósito Magnético. SEI – SICITE, 2021.

NOGUEIRA, R. F. P. e JARDIM, W. D. F. **"A fotocatalise heterogênea e sua aplicação ambiental"**. Química Nova, vol. 21, pp. 69-72, 1997
NUERNBERG, G. D. B.; FOLETTO, E. L.; PROBST, L. F. D.; CAMPOS, C. E. M.; CARREÑO, N. L. V.; MOREIRA, M. A. A novel synthetic route for magnesium

aluminate ($MgAl_2O_4$) particles using metal-chitosan complexation method. *Chemical Engineering Journal*, v. 193-194, p. 211-214, 2012.

OLIVEIRA, F. C. et. al. Materiais magnéticos na remediação de Efluente Têxtil. SEI – SICITE, 2021.

ORIAS, F.; PERRODIN, Y. Characterisation of the ecotoxicity of hospital effluents: a review. *Science of the Total Environment*, p. 454-455, 2013.

PAIVA, Francisco Vieira. **Monitoramento da estação de tratamento de esgoto do Hospital Geral Waldemar de Alcântara- Fortaleza (CE) como instrumento de gestão de efluentes**. 2009. 209f. (Tese de Doutorado em Recursos Naturais), Programa de Pós-graduação em Recursos Naturais, Centro de Tecnologias e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande – Paraíba – Brasil, 2009.

PHANI, A. R.; PASSACANTANDO, M.; SANTUCCI, S. Synthesis and characterization of zinc aluminum oxide thin films by sol-gel technique. *Materials Chemistry and Physics*, v. 68, p. 66-71, 2001.

PENA, A. d. L. **"Dióxido de titânio para aplicação em células solares"**. Monografia de Conclusão de Curso em Bacharelado em Química pela Universidade Federal de São João del-Rei, São João del-Rei, Minas Gerais, 2015, p. 34.

POLEZI, M. Aplicação de Processo Oxidativo Avançado (H_2O_2/UV) no Efluente de uma ETE para fins de Reuso. 2003. 97 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, **Universidade Estadual de Campinas**. Campinas. 2003.

PUTRA, A. T. S. P. **An improved method for high photocatalytic performance of $ZnAl_2O_4$ spinel derived from layered double hydroxide precursor**. *SN Applied Sciences*, 2020.

PINHO, A. G. Estudo da qualidade das águas do Rio Cachoeira - região Sul da Bahia. 110 f. Dissertação. (Programa Regional de PósGraduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Estadual de Santa Cruz). Bahia, 2001.

QUISENBERRY, Keith T; HANUSA, Timothy P. **Cobalt: Organometallic Chemistry Based in part on the article Cobalt: Organometallic Chemistry by Ulrich Koelle which appeared in the Encyclopedia of Inorganic Chemistry, First Edition.**, 2011.

RIBEIRO, L. M. M., **Avaliação Quanto a Carga Poluidora dos Efluentes Líquidos de Quatro Hospitais de Diferentes Especialidades no Município de Porto Alegre**. 2005. 95 f. Trabalho de conclusão de Curso (Mestrado Profissionalizante em Engenharia – Ênfase em Engenharia Ambiental e Tecnologias Limpas) – Escola de Engenharias, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

RIBEIRO, P. C; et. al. "**Caracterização estrutural e morfológica de nanocristais de TiO₂ pelo método pechini**". Revista Eletrônica de Materiais e Processos, vol. 5, 3 ed, pp. 58-64, Campina Grande, Paraíba, 2010.

RICHTER, C. A. **Água: métodos e tecnologia de tratamento**. São Paulo: Blucher, 2009.

RUTALA, W.A.; WEBER, D.J. Uses of inorganic hypochlorite (bleach) in health-care facilities. Clin **Microbiol Rev**, v. 10, p. 597.

SALAZAR, R. F. S.; et. al. "**Validação e calibração de metodologia para determinação da demanda química de oxigênio (DQO) por análise comparativa**". XII Encontro Latino Americano de Iniciação Científica, Universidade do Vale do Paraíba, São José dos Campos, São Paulo, 2008.

SANTOS, A. V. P. d. ; et. al. "**Síntese e caracterização de dióxido de titânio preparado por precipitação e tratamento hidrotérmico**". 56° Congresso Brasileiro de Cerâmica, Curitiba, Paraná, 2012, pp. 342-35.

SANTOS, Anselmo R. Lage et al. Caracterização e tratabilidade biológica dos efluentes líquidos gerados em cabines de pintura de uma indústria moveleira. **Eng. Sanit. Ambient.**, Rio de Janeiro , v. 15, n. 4, p. 357-366, Dec. 2010 .

SILVA, S. S. **Aplicação de radiação UV para desinfecção de efluente da associação de reator UASB e Biofiltro Aerado Submerso**. Dissertação (Mestrado) São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 152 p., (2007a).

SILVEIRA, I. C. T., **Cloro e Ozônio Aplicados à Desinfecção de Efluente Hospitalar Tratado em Contatores Biológicos Rotatórios, com Avaliação de Efeitos Tóxicos em Daphnia Similis**. 2004. 173 f. Tese de Doutorado (Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

SOUZA, R. C. Tratamento de efluentes de lavanderia hospitalar para fins de reuso. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) - **Universidade Estadual de Maringá**, Maringá, 2012.

SOUZA, R.C.et. al. Tratamento de efluentes de lavanderia hospitalar por processo oxidativo avançado UV/H₂O₂. **Eng. Sanit. Ambient.** 24 (03) • May-Jun 2019.

SOUZA, M.A.C de. Estudo de perovisquita baseada em titânio para aplicação em fotocatalise heterogênea. Ponta Grossa, 2019.

SOARES, L. G. "**Obtenção por electrospinning e caracterização de fibras de TiO₂ e sua aplicação fotocatalítica**". Dissertação de Mestrado em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais na área de concentração em Ciência e Tecnologia

de Materiais pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, 2013, p.82.

ŠOSTAR-TURK, S.; PETRINIĆ, I.; SIMONIĆ, M. **Laundry wastewater treatment using coagulation and membrane filtration.** *Resources, Conservation and Recycling*, v. 44, p. 185-196, 2005.

SOSSMEIER, T. R. **"Síntese caracterização e atividade fotocatalítica de dióxido de titânio dopado com óxido de cério"**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Química pelo Programa de Pós Graduação em Engenharia Química da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina, 2016.

STASZAK, W.; ZAWADZKI, M.; OKAL, J. Solvothermal synthesis and characterization of nanosized zinc aluminate spinel used in iso-butane combustion. *Journal of Alloys and Compounds*, v. 492, p. 500-507, 2010.

STRINGHINI, F. M. Síntese de Aluminato de zinco ($ZnAl_2O_4$) pelo método de complexação metal-quitosana e seu uso como fotocatalisador. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria. Centro de tecnologia, Programa de pós graduação em Engenharia de Processos, RS, 2013.

VALVERDE, R.P.; MORAIS, A. C. M. CAIXETA, L. R. e CARNEIRO, G. T. **Viabilidade**

no tratamento de efluente industrial através da utilização de reagente de fenton e fotocatalise heterogênea. *Revista Eletronica de Engenharia Civil*, vol. 11, nº 1, pp. 35-45, Junho 2016.

VISINESCU, D.; JURCA, B.; IANCULESCU, A.; CARP, O. Starch – A suitable fuel in new low-temperature combustion-based synthesis of zinc aluminate oxides. *Polyhedron*, v. 30, p. 2824-2831, 2011.

YANG, C. C.; CHEN, S. Y.; CHENG, S. Y. Synthesis and physical characteristics of $ZnAl_2O_4$ nanocrystalline and $ZnAl_2O_4/Eu$ core-shell structure via hydrothermal route. *Powder Technology*, v. 148, p. 3-6, 2004.

ZAWADZKI, M. Synthesis of nanosized and microporous zinc aluminate spinel by microwave assisted hydrothermal method (microwave-hydrothermal synthesis of $ZnAl_2O_4$). *Solid State Sciences*, v. 8, p. 14-18, 2006.

ZAWADZKI, M.; STASZAK, W.; LÓPEZ-SUÁREZ, F. E.; ILLÁN-GÓMEZ, M. J.; BUENO-LÓPEZ, A. Preparation, characterisation and catalytic performance for soot oxidation of copper-containing $ZnAl_2O_4$ spinels. *Applied Catalysis A: General*, v. 371, p. 92-98, 2009.

ZOTESSO, J.P.; COSSICH, E.S.; JANEIRO, V.; TAVARES, C.R.G. Treatment of hospital laundry wastewater by UV/H₂O₂ process. **Environmental Science and Pollution Research International**, v. 24, n. 7, p. 6278-6287, 2016.

ZHU, Z.; LI, X.; ZHAO, Q.; LIU, S.; HU, X.; CHEN, G. Facile solution synthesis and

characterization of porous cubic-shaped superstructure of ZnAl₂O₄. *Materials Letters*, v. 65, p. 194-197, 2011.

WEI, X.; CHEN, D. Synthesis and characterization of nanosized zinc aluminate spinel by sol-gel technique. *Materials Letters*, v. 60, p. 823-827, 2006.

WHITE, S. C.; JERNIGAN, B.; VENOSA, A.D. A study of operational ultraviolet disinfection equipment at secondary treatment plants. *Journal Water Pollution Control Federation*, n.3, p.181-192, mar. 1986.