

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS

Câmpus Inhumas

Licenciatura em Química



INSTITUTO FEDERAL DE
EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIÁS
Câmpus Inhumas

Estudo da Fotodegradação de Efluentes de Indústrias de Tintas

Belquiz da Silva Santos
José Lucas dos Reis Ordones

Inhumas, 03/2016

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS

Câmpus Inhumas

Licenciatura em Química

Belquiz da Silva Santos
José Lucas dos Reis Ordones

Estudo da Fotodegradação de Efluentes de Indústrias de Tintas

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado ao IFG/Câmpus Inhumas, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Licenciado (a) em Química.

Orientador: Prof. Dr. Fernando Pereira de Sá
Coorientadora: Profa. Dra. Elisangela C. de L. Borges

Inhumas, 03/2016

Dados Internacionais de Catalogação da Publicação (CIP)

S231 Santos, Belquiz da Silva
Estudo da fotodegradação de efluentes de indústrias de tintas.
[Manuscrito] / Belquiz da Silva Santos; José Lucas dos Reis
Ordones. – – Inhumas, 2016.
25f.: il.
Orientador: Prof. Dr. Fernando Pereira de Sá.
Monografia (Graduação) – Instituto Federal de Educação,
Ciência e Tecnologia de Goiás, Câmpus Inhumas, Curso de
Licenciatura em Química, 2016.
Bibliografia.

1. Fotodegradação. 2. Tintas. 3. Ultravioleta. I. Título.

CDD 667.3

Belquiz da Silva Santos
José Lucas dos Reis Ordones

Estudo da Fotodegradação de Efluentes de Indústrias de Tintas.

Monografia apresentada à banca examinadora da Coordenação de Licenciatura em Química do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnológica de Goiás – Câmpus Inhumas, como parte dos requisitos para obtenção do título de Licenciado em Química.

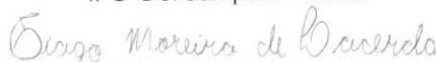
COMISSÃO EXAMINADORA


Prof. Dr. Fernando Pereira de Sá

IFG-GO/Câmpus Inhumas


Profa. Dra. Elisângela Cardoso de Lima Borges

IFG-GO/Câmpus Inhumas


Prof. Me. Tiago Moreira de Lacerda

IFG-GO/Câmpus Inhumas


Profa. Ma. Kamilla de Faria Cândido (IFG-Inhumas)

IFG-GO/Câmpus Inhumas

Inhumas, 29 de março de 2016.

AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de agradecer a esta instituição que nos acolheu e que permitiu a realização deste trabalho.

Ao nosso orientador Prof. Dr. Fernando Pereira de Sá e a nossa coorientadora Profa. Dra. Elisângela C. de Lima Borges, queremos agradecer imensamente primeiramente pela oportunidade de realizar este trabalho, pela confiança, pelo tempo dedicado a nós, pelos incentivos, pelas broncas, pela paciência, pois em meio a tantos obstáculos vocês acreditaram e confiaram, e compartilharam conosco suas experiências, conhecimentos e suas ideias.

Ao professor Thiago que dividiu conosco o resultado de uma de suas pesquisas.

Aos examinadores desta banca, obrigado pelas contribuições, elas enriqueceram ainda mais o nosso trabalho.

RESUMO

As indústrias de tintas utilizam em seus processos uma grande quantidade de corantes e pigmentos. Que por sua vez deixam o efluente colorido, podendo ser altamente interferente nos processos fotossintéticos. Estudos recentes demonstraram que aproximadamente 12% dos corantes sintéticos são perdidos nos processos de produção e utilização, atingindo o ambiente, sendo que sua coloração pode suprimir os processos fotossintéticos nos cursos d'águas. Além do problema ambiental relacionado à cor, muitos dos produtos primários de degradação destes efluentes podem ser tóxicos e/ou não biodegradáveis. Neste trabalho foi avaliada a dependência do processo de fotodegradação de amostras de efluentes de uma indústria de produção de tintas, em função do tipo de radiação e das variáveis: tempo de contato, pH, na presença e ausência de fotocatalisadores. A quantificação de corantes e pigmentos em soluções, antes e após a fotodegradação, foi realizada com o uso de espectroscopia UV/Vis. Os resultados mostraram que existe uma grande dependência deste processo com as condições ácidas ou básicas das soluções. E que as melhores condições para fotocatalise deste efluente, acontece em meio ácido. Ao término deste trabalho, pode-se afirmar que é possível a utilização desta metodologia, com viabilidade técnica e econômica para a solução de um problema de poluição hídrica, oriundo do não tratamento dos efluentes de indústrias.

Palavras-chaves: Fotodegradação; Tintas; Ultravioleta.

ABSTRACT

The paint industries use in their processes a large amount of dyes and pigments. Which in turn leave the colored effluent can be highly interfering in photosynthetic processes. Recent studies have shown that approximately 12% of synthetic dyes are lost in the process of production and use, reaching the environment, and their color can suppress the photosynthetic processes in water courses. Besides the environmental problems related to color, many of primary degradation products of these effluents can be toxic and / or not biodegradable. In this study we assessed the dependence of photodegradation process effluent samples from a paint manufacturing industry, according to the type of radiation and variables contact time, pH, the presence and absence of photocatalysts. Quantification of dyes and pigments in solutions before and after photobleaching was performed using UV / Vis spectroscopy. The results showed that there is a strong dependence of this process with the acidic or basic conditions of the solutions. And that the best conditions for photocatalysis this effluent takes place in an acid medium. At the end of this work, it can be said that the use of this methodology is possible, with technical and economic feasibility for the solution of a problem of water pollution, arising from no treatment of industrial effluents.

Keywords: Photodegradation; Paints; Ultraviolet.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Fotoreator com radiação UV artificial, constituído por lâmpada de vapor de mercúrio, tubo de quartzo, célula cilíndrica metálica e reator para lâmpada.....	15
Figura 2: Fotoreator com radiação UV solar, constituído por superfície parabólica espelhada.....	16
Figura 3: Difratoograma de Raios-X da amostra contendo nanotubos de TiO ₂	18
Figura 4: Espectro de Infravermelho para TiO ₂ anatase e nanotubos de TiO ₂	19
Figura 5: Espectro de absorbância para amostra de efluente de indústria de tintas, em função do tempo de irradiação UV artificial sem catalizador.....	20
Figura 6: Espectro de absorbância em função do pH, para amostra de efluente após 60 minutos de irradiação UV artificial, com fotocatalisador.....	21
Figura 7: Espectro de absorbância para amostra de efluente, após 300 minutos de irradiação UV solar, com e sem fotocatalisador.....	22

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

POA's	PROCESSOS OXIDATIVOS AVANÇADOS
UV	ULTRAVIOLETA
DRX	DIFRAÇÃO DE RAIOS-X
CRTI	CENTRO REGIONAL PARA O DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO E INOVAÇÃO

SUMÁRIO

RESUMO	6
ABSTRACT	7
1 INTRODUÇÃO	11
2 OBJETIVOS	14
2.1 Objetivo Geral	14
2.2 Objetivos Específicos	14
3 METODOLOGIA	15
3.1 Caracterização do Fotocatalisador	16
3.1.1 <i>Difração de Raios-X (DRX)</i>	16
3.1.2 <i>Infravermelho</i>	17
4 RESULTADOS	18
4.1 Caracterização do Fotocatalisador	18
4.2 Fotodegradação do Efluente	19
5 CONCLUSÕES	23
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	24

1 INTRODUÇÃO

Pesquisas apontam que o mercado de tintas no Brasil se encontra satisfatoriamente estável tendo um faturamento líquido em 2013 estimado em R\$ 9,120 bilhões e uma produção em torno de 1.426 bilhões de litros, segundo Abrafati (2013), consolidando-se como o quarto produtor mundial de tinta, um mercado formado por grandes empresas nacionais e multinacionais.

A tinta pode ser definida como uma composição líquida geralmente viscosa, constituída de um ou mais pigmentos em um aglomerado líquido que, ao sofrer um processo de cura quando estendida em película fina, forma um filme opaco e aderente ao substrato. Esse filme tem a finalidade de proteger e embelezar as superfícies (FAZENDA, 2009).

A água é o recurso natural mais empregado neste setor industrial, sendo utilizada em larga escala e para diversos fins. Tais como, no próprio processo de produção, para limpeza de maquinário, instalações e equipamentos. Os efluentes líquidos provenientes desses processos são caracterizados por apresentarem grandes quantidades de sólidos suspensos, pigmentos, corantes, agentes surfactantes e biocidas entre outros produtos nocivos tanto à saúde humana quanto ao ecossistema.

O descarte descontrolado desses efluentes em condições precárias de tratamento pode vir a causar grandes danos ao meio ambiente. Os pigmentos e corantes utilizados na pigmentação das tintas quando em fluxos de água dificultam a penetração dos raios solares, impedindo a realização da fotossíntese de plantas aquáticas, causando a diminuição da demanda de oxigênio dissolvido, alterando significativamente o teor de gás carbônico e provocando a diminuição do pH da água. Em consequência disso, geram muitas vezes danos irreversíveis ao ecossistema aquático.

A produção mundial de corantes e pigmentos é estimada entre 750.000 e 800.000 t/ano sendo que cerca de 26.500 t/ano são consumidas no Brasil. Dessa quantidade, aproximadamente 12% dos corantes orgânicos são perdidos durante as etapas de produção e processamento. Esta perda é relativamente pequena comparada com outros poluentes, como pesticidas, solventes e detergentes. Porém, é importante enfatizar que a aplicação destes materiais geralmente envolve diluição, gerando um grande volume de efluente líquido (CATANHO et al., 2006).

Embora possam ser considerados sinônimos em alguns casos, pigmentos e corantes apresentam diferenças fundamentais quanto à solubilidade no meio em que estão aplicados, sendo os corantes solúveis e os pigmentos insolúveis. Tanto um como o outro são colorantes, ou seja, aditivos usados para conferir cor aos materiais. Do ponto de vista biológico, os pigmentos são compostos químicos que conferem cor a quase todo o tipo de células dos seres vivos. Quimicamente, classificar esses compostos, no entanto, pode ser um trabalho complexo: alguns não possuem estrutura química bem definida ou possuem mais de uma função química em suas estruturas. Uma possibilidade de classificação é dividi-los como orgânicos ou inorgânicos (SARON & FELISBERTI, 2006).

A Legislação Ambiental estabelece que os despejos industriais devem ser tratados, de modo que as características físico-químicas dos efluentes estejam de acordo com os padrões estabelecidos pela Resolução (CONAMA, 2011).

A busca por soluções viáveis para o problema dos efluentes, tem ocasionado em uma grande corrida para o desenvolvimento de novas técnicas de tratamento para resíduos provenientes de atividades industriais. A complexidade dos efluentes das indústrias de tintas muitas vezes não permite que os mesmos sejam tratados por métodos convencionais.

Dentre os processos que vem se destacando existem os chamados processos oxidativos avançados (POA's), que por meio de reações envolvendo os radicais hidroxila ($\text{OH}^\bullet$), devido a sua elevada reatividade, reage com distintos grupos gerando radicais orgânicos instáveis, que são oxidados. A incidência de radiações ultravioletas (UV) em pigmentos e corantes ocasiona a ruptura em suas cadeias moleculares, os chamados grupos cromóforos, que são responsáveis pela coloração, acelerando o processo oxidativo.

Segundo Daneshvar et al. (2005), tanto a radiação UV quanto um fotocatalisador, como dióxido de titânio (TiO_2) são necessários para a degradação eficaz de corantes orgânicos. O uso de catalisadores como TiO_2 e óxido de zinco (ZnO) exibem uma boa performance, devido à sua alta fotosensibilidade e baixa toxicidade. Desde a descoberta de seu efeito fotocatalítico em 1967, TiO_2 recebeu grande atenção dos pesquisadores tendo encontrado uma ampla aplicação em foto-oxidação de muitos produtos químicos (LIU & SUN, 2011; KHATAEE & KASIRI, 2010; MAGALHÃES & LAGO, 2009). A maioria das reações de degradação são

baseadas na geração fotocatalítica de espécies de oxigênio reativos, que podem incluir o radical hidroxila ($\text{OH}^\bullet$), ânion superóxido (O_2^-), peróxido de hidrogênio (H_2O_2), e oxigênio singleto ($^1\text{O}_2$)², particularmente em sistemas aquosos (LIU & SUN, 2011).

O dióxido de titânio é um sólido de cor branca, insolúvel em água, não volátil e com um elevado ponto de fusão (1830 °C) (IQBC, 2004). Ele possui três formas alotrópicas diferentes a anatase, rutilo e a brookita, sendo as duas primeiras as mais comuns. Também é utilizado como pigmento de tintas, em protetor solar, em pomadas e em creme dental.

Este material, em especial na fase anatase, é um semicondutor muito utilizado em reações de fotocatalise por possuir algumas propriedades, como por exemplo, alta fotosensibilidade, elevada estabilidade química em uma ampla faixa de pH, pode ser utilizado em temperatura e pressão ambientes, custo relativamente baixo e baixa toxicidade (BAHNEMANN, 2004).

Alguns estudos publicados mostram que tanto o dióxido de titânio (fase anatase) quanto os nanotubos de titânio são bons materiais a serem utilizados na degradação de poluentes orgânicos, tais como corantes (LACERDA, 2016).

A pequena quantidade de estudos da utilização do processo fotocatalítico, com ênfase na utilização de radiação solar, para o tratamento de efluentes de indústrias de tintas, aliada à necessidade de diminuição do impacto ambiental causado por estes efluentes, motivaram o presente estudo.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Estudar o processo de fotodegradação do efluente de uma indústria de produção de tintas imobiliárias, do município de Inhumas.

2.2 Objetivos Específicos

- Realizar revisão bibliográfica do tema a ser estudado;
- Construir um reator para fotodegradação utilizando radiação solar;
- Realizar estudo do processo de fotodegradação em função do tipo de radiação: solar ou artificial, com e sem o fotocatalisador dióxido de titânio (TiO_2);
- Realizar estudo da dependência do processo de fotodegradação com as variáveis: tempo de irradiação e pH com e sem fotocatalisador;
- Redigir artigos para divulgação científica em congressos e revistas.

3 METODOLOGIA

A pesquisa foi desenvolvida em parte no Laboratório de Química do Instituto Federal de educação, Ciência e tecnologia de Goiás, Câmpus Inhumas, utilizando os equipamentos e reagentes já existentes no mesmo e parte do projeto foi desenvolvido em uma indústria de produção de tintas do município de Inhumas.

Foram utilizados dois reatores para estudo comparativo do processo de fotodegradação. Um deles utiliza a radiação ultravioleta artificial produzida por uma lâmpada de 250 W. Esse reator foi construído conforme modelo desenvolvido pelo orientador deste trabalho em pesquisas anteriores, Figura 1.

Com o intuito de desenvolver um fotoreator que otimizasse ao máximo a eficiência na utilização dos raios solares, foi feita uma busca por recursos de fácil acesso e que ao mesmo tempo poderiam suprir as necessidades do estudo em questão. Essa busca resultou na construção de um fotoreator, constituído de materiais de baixo custo, com peças simples e de fácil acesso. Para isto, utilizou-se um bloco ótico de farol de moto e revestiu-se o mesmo com papel alumínio, buscando otimizar a incidência de radiação sobre o efluente usando para isso uma estrutura com formato parabólico para que os raios fossem convergidos para o foco, aumentando assim, a incidência de radiação UV sobre o efluente, Figura 2.

Figura 1: Fotoreator com radiação UV artificial, constituído por lâmpada de vapor de mercúrio, tubo de quartzo, célula cilíndrica metálica e reator para lâmpada.



Fonte: Própria

Figura 2: Fotoreator com radiação UV solar, constituído por superfície parabólica espelhada.



Fonte: Própria

Para a caracterização das soluções foram utilizados o espectrofotômetro UV/Vis do Laboratório de Química do IFG, Câmpus Inhumas e após a quebra do mesmo, passou-se a utilizar o espectrofotômetro do Laboratório de Química do Câmpus Goiânia.

O material utilizado como fotocatalisador, nanotubos de dióxido de titânio (TiO_2) foi cedido por outro pesquisador que contribuiu com este trabalho e que o utilizou em sua pesquisa de mestrado.

Para o tratamento dos dados de caracterização foi utilizado o programa Origin Pro 8, com ele realizou-se a construção dos gráficos que serão apresentados nos resultados.

3.1 Caracterização do Fotocatalisador

3.1.1 Difração de Raios-X (DRX)

As medidas de difração de raios-X (DRX) foram realizadas em um difratômetro Bruker D8 Discover do Centro Regional para o Desenvolvimento Tecnológico e Inovação (CRTI). Utilizou-se radiação monocromática de um tubo com anodo de cobre acoplado a um monocromador Johansson para $\text{K}\alpha_1$ operando em 40 KV e 40 mA. Utilizou-se a configuração Bragg-Brentano θ - 2θ , com detector unidimensional Lynxeye®, no intervalo em 2θ de 2° a 80° , com passo de $0,005^\circ$. As

amostras foram mantidas em rotação de 15 rpm durante a medida para minimizar os efeitos de orientação preferencial.

3.1.2 Infravermelho

A caracterização por infravermelho foi realizada utilizando um espectrofotômetro Frontier Perkin Elmer, cuja faixa de análise foi entre 4000 cm^{-1} a 400 cm^{-1} , com 24 varreduras e resolução de 4 cm^{-1} . Uma pequena quantidade da amostra, em pó, foi macerada e colocada no acessório UATR para que a análise fosse feita. Essa técnica fornece dados a respeito da estrutura do material analisado.

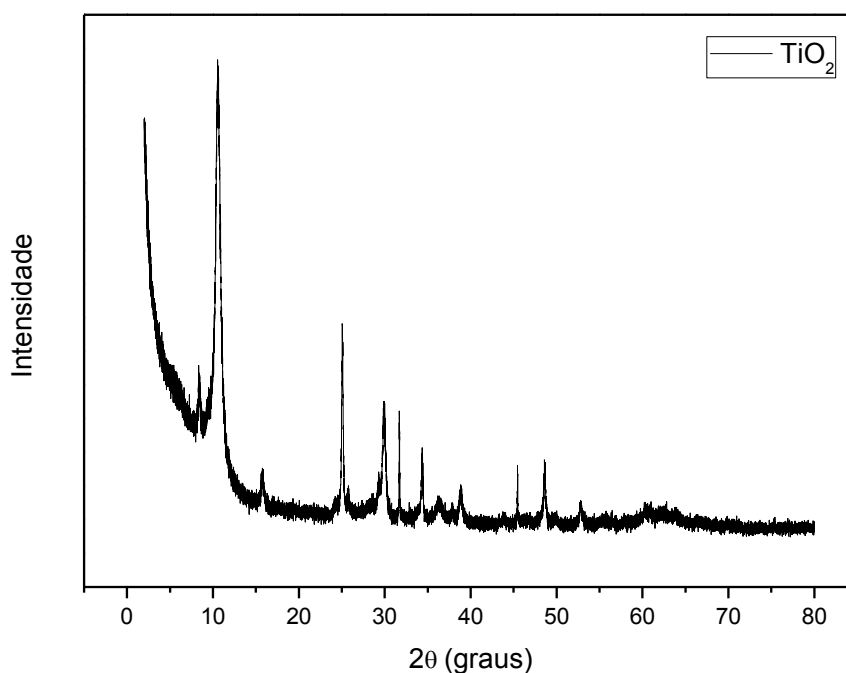
Primeiramente foi feita a análise do TiO_2 na fase anatase, em seguida foi feita a análise dos nanotubos de TiO_2 , cujo objetivo foi o de analisar as diferenças na estrutura dos dois materiais e fazer uma comparação entre cada um. Esta caracterização foi realizada no laboratório de Bromatologia do câmpus Inhumas.

4 RESULTADOS

4.1 Caracterização do Fotocatalisador

Pode-se observar na Figura 3, o Difratoograma de Raios-X dos nanotubos de TiO_2 . Percebe-se que o mesmo apresenta planos de difração em $2\theta = 25$ e 49. Observa-se também, um pico em $2\theta = 45$, que pode estar relacionado com uma fase de rutila. Já a formação dos nanotubos está relacionado à presença da composição $\text{H}_2\text{Ti}_3\text{O}_7$ denominada titanato, e este fato pode ser observado pelos picos que foram formados em $2\theta = 10$ e 31 (LACERDA, 2016). Estes resultados indicam a formação de nanotubos de TiO_2 , mostrando que a síntese foi realizada com sucesso (KUKOVICZ, 2005; BAVYKIN, et. al., 2006; CORTES-JACOME, et. al., 2007; HORVATH, et. al., 2007).

Figura 3: Difratoograma de Raios-X da amostra contendo nanotubos de TiO_2 .

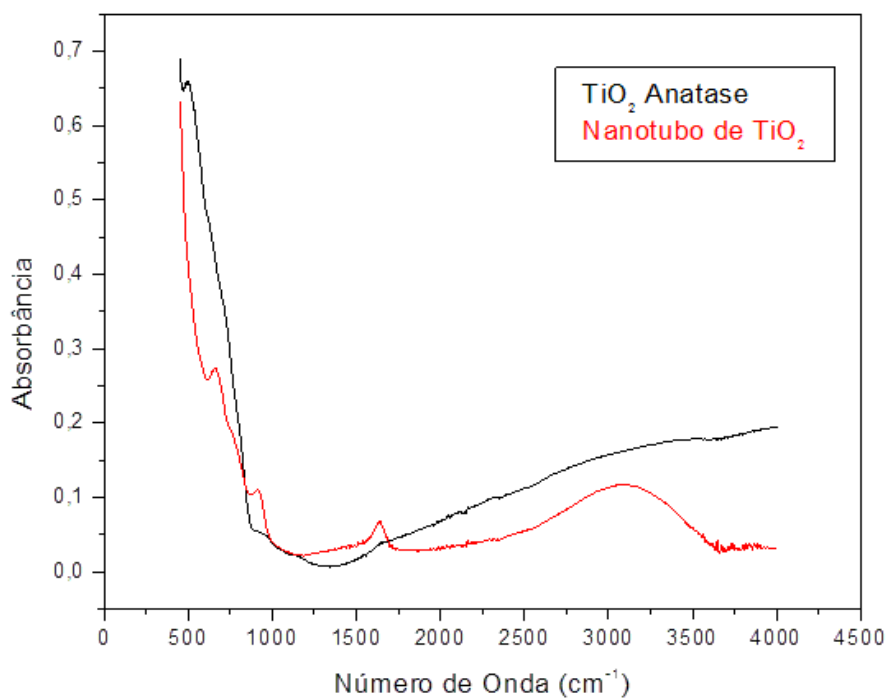


Fonte: Crti, 2015

Os espectros de infravermelho para o TiO_2 anatase e para os nanotubos estão apresentados na Figura 4.

Pela figura é possível observar que na região de 3300 cm^{-1} há um estiramento O–H proveniente de água residual e dos sítios Ti–OH presentes na superfície dos nanotubos. Em 1638 cm^{-1} há uma deformação H–O–H proveniente da água adsorvida no material. O estiramento Ti–O–Ti é observado na região de 914 cm^{-1} como um ombro no espectro, assim como também pode ser observado um ombro na região de $659,06\text{ cm}^{-1}$ que estão relacionados ao estiramento Ti–OH da superfície do material. Já o TiO_2 anatase apresenta um espectro limpo mostrando apenas uma banda de absorção em 500 cm^{-1} que está relacionada ao estiramento Ti–OH (HOLLER, SKOOG; CROUCH, 2009).

Figura 4: Espectro de Infravermelho para TiO_2 anatase e nanotubos de TiO_2 .



Fonte: Própria.

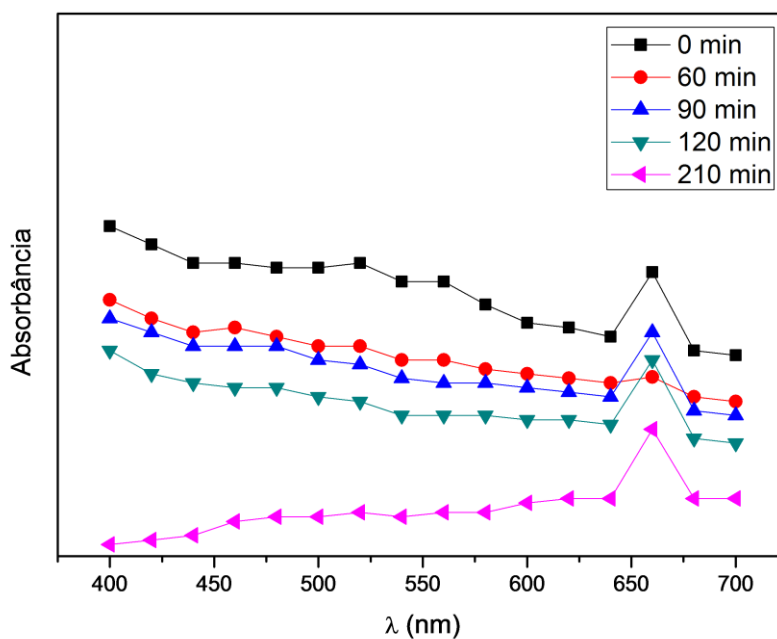
4.2 Fotodegradação do Efluente

Inicialmente foi feita uma coleta do efluente oriundo da indústria de tinta em questão. A amostra foi armazenada em uma garrafa de plástico e para evitar incidência de luz sobre a amostra, o recipiente foi isolado com auxílio de papel alumínio.

Para os experimentos de fotólise direta e fotocatalise, foi necessário uma diluição prévia da solução. Isto foi feito para uma melhor confiabilidade dos resultados de caracterizações das amostras pelo espectrofotômetro UV/Vis. Após esta etapa, realizou-se testes de irradiação com o uso do fotoreator de radiação UV artificial e também o fotoreator de radiação UV solar.

A Figura 5 mostra o espectro de absorbância para amostra do efluente, em função do tempo de irradiação, utilizando reator UV artificial e sem o uso de fotocatalisador.

Figura 5: Espectro de absorbância para amostra de efluente de indústria de tintas, em função do tempo de irradiação UV artificial sem catalizador.

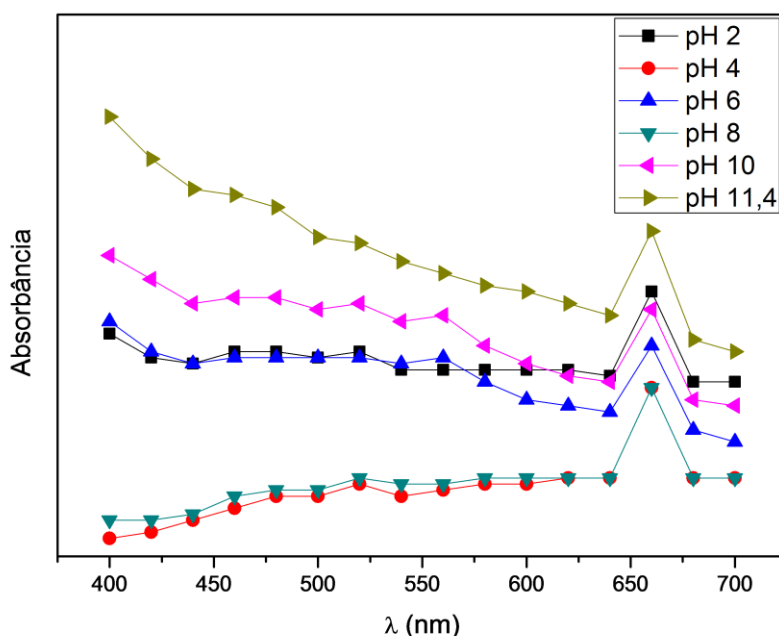


Fonte: Própria.

Observa-se, que há uma diminuição lenta, mas constante, nos valores de absorbâncias a medida que o tempo evolui, podendo se observar um pico de absorbância em 660 nm que é característico dos pigmentos utilizados na fabricação da tinta ao qual o efluente é originário. Isto mostra que a cinética de fotólise direta para estas condições utilizadas, não seria economicamente viável, tendo em vista que demandaria uma grande quantidade de energia para uma pequena diminuição da concentração das soluções.

Com o intuito de verificar a dependência do processo de fotocatalise com as condições do meio, foi realizado um estudo modificando o pH das soluções e em seguida irradiando-as com presença de nanotubos de dióxido de titânio. Os resultados mostraram que existe uma grande dependência deste processo com as condições ácidas ou básicas das soluções. E que as melhores condições para fotocatalise deste efluente, acontece em meio ácido Figura 6.

Figura 6: Espectro de absorbância em função do pH, para amostra de efluente após 60 minutos de irradiação UV artificial, com fotocatalisador.



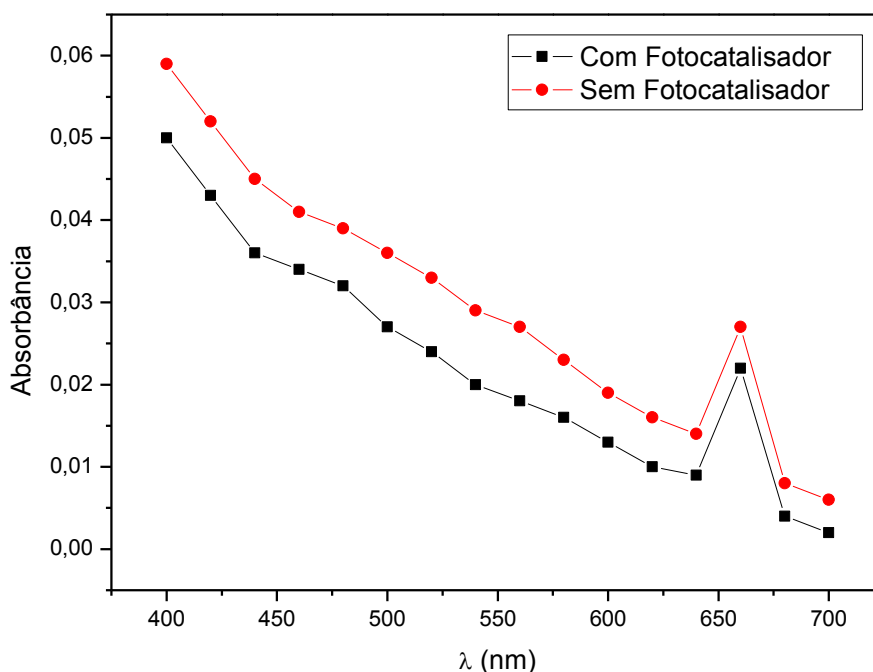
Fonte: Própria.

Este resultado pode estar relacionado à interação da superfície do catalisador com a molécula do pigmento. Quando os nanotubos estão em suspensão em uma solução aquosa, isso pode gerar locais distintos de carga superficial devido a hidratação da superfície do catalisador, gerando a protonação dos grupos superficiais do óxido (LACERDA, 2016; KALLAY et. al., 2004; PREOCANIN & KALLAY, 2006)

A Figura 7, mostra os resultados da fotocatalise do efluente, após 300 min de irradiação solar. Este experimento foi realizado no reator desenvolvido de maneira a aproveitar com maior eficiência possível a radiação solar existente no local de

realização dos testes. Foram realizados testes para comparação da fotólise direta com a fotocatalíse utilizando nanotubos de dióxido de titânio.

Figura 7: Espectro de absorbância para amostra de efluente, após 300 minutos de irradiação UV solar, com e sem fotocatalisador.



Fonte: Própria.

Pode-se observar que existe uma significativa redução da concentração (absorbância) da solução com o uso do fotocatalisador, em todos os comprimentos de onda. Isto mostra a eficácia, tanto do reator desenvolvido, quanto dos materiais utilizados.

Com este experimento ficou demonstrado que o uso de um reator solar desenvolvido nos moldes deste utilizado no trabalho, poderia ser economicamente viável para o tratamento de efluente colorido de indústrias de tintas. Pois no caso específico do Brasil, há em praticamente todo território, uma grande incidência de raios UV durante um longo período do ano, propiciando economia no gasto de energia elétrica em relação à outras formas de tratamento.

5 CONCLUSÕES

Ao final deste trabalho, pôde se observar que existe a possibilidade de utilização de um processo eficaz e com viabilidade técnica e econômica para a solução de um problema de poluição hídrica, oriundo do não tratamento dos efluentes de indústrias. Esta afirmação é possível, tendo em vista que os resultados alcançados com o uso do fotoreator solar foram muito satisfatórios. Com isso novos trabalhos podem ser realizados utilizando este processo na degradação de outros pigmentos, outras tintas que tenham como base solventes diferentes, ou até mesmo, de outras classes de poluentes.

Como proposta de estudos futuros, sugere-se que ampliem os testes de fotocatalise com radiação solar inclusive com a otimização do fotoreator, buscando melhorar sua eficiência quanto a irradiação do efluente a ser tratado, em função do pH do meio. Além disso seria interessante a caracterização dos nanotubos por outras técnicas, tais como: microscopia eletrônica de transmissão, medida de área superficial e análises de carbono orgânico total (COT) para determinar a mineralização do contaminante após a reação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS FABRICANTES DE TINTAS. Disponível em: <<http://www.abrafati.com.br/brafati.com.br>>. Acesso em: 22.08.2014.

BAHNEMANN, D. Sol. Energy 2004, 77, 445.

BAVYKIN, D. V.; FRIEDRICH, J. M.; LAPKIN, A. A.; WALSH, F. C. *Chem. Mater.* 2006, 18, 1124.

CATANHO, M.; MALPASS, G. R. P.; MOTHEO, A. de J. Avaliação dos tratamentos eletroquímico e fotoeletroquímico na degradação de corantes têxteis. *Química Nova*, v. 29 (5), p. 983–989, 2006.

CONAMA, *Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011*. Conselho Nacional I de Meio Ambiente. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>>. Acesso em: 4 dez. 2014.

CORTES-JACOME, M. A.; FERRAT-TORRES, G.; ORTIZ, L. F. F.; ANGELES-CHAVEZ, C.; LOPEZ-SALINAS, E.; ESCOBAR, J.; MOSQUEIRA, M. L.; TOLEDO-ANTONIO, J. A. *Catal. Today* 2007, 126, 248.

DANESHVAR, N. et al. Immobilization of TiO₂ nanopowder on glass beads for the photocatalytic decolorization of an azo dye c.i. direct red 23. *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, v. 40 (8), p. 1605–1617, 2005.

FAZENDA, J. M. R; *Tintas Ciência e Tecnologia*. Blucher 4^a ed. São Paulo: Blucher, 2009.

HORVATH, E.; KUKOVECZ, A.; KONYA, Z.; KIRICSI, I. *Chem. Mater.* 2007, 19, 927. HOLLER, F. J.; SKOOG, D. A.; CROUCH, S.R. *Princípios de Análise Instrumental*, 6^a ed. 2009.

IQBC. IQBC Produtos Químicos. Ficha de Informação de Segurança de Produtos Químicos. 2004.

LACERDA, T. M. *Avaliação da Atividade Fotocatalítica de Nanotubos de Titânio na Degradação do Herbicida Diuron*. Goiânia, 2016. 58 p. Dissertação de Mestrado – Mestrado em Tecnologia de Processos Sustentáveis, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.

LIU, N.; SUN, G. Photo-degradation of methylene blue in the presence of 2-anthraquinone sulfonate and cyclohexanol. *Dyes and Pigments*, v. 91, p. 215-224, 2011.

KALLAY, N.; MADIC, T.; KUCEJ, K.; PREOCANIN, T. *Colloid. Surf. A*. 2004, 250, 289

KHATAEE, A.; KASIRI, M. Photocatalytic degradation of organic dyes in the presence of nanostructured titanium dioxide: Influence of the chemical structure of dyes. *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*, v. 328, p. 8-26, 2010.

MAGALHÃES, F.; LAGO, R.M. Floating photocatalysts based on TiO₂ grafted on expanded polystyrene beads for the solar degradation of dyes. *Solar Energy*, v. 83, p. 1521-1526, 2009.

MARMITT, S.; PIROTTA, L. V.; STULP, S. Aplicação de fotólise direta e UV/H₂O₂ a efluente sintético contendo diferentes corantes alimentícios. *Química Nova*, v. 33 (2), p. 384–388, 2010.

PREOCANIN, T.; KALLAY, N. *Croat. Chem. Acta* 2006, 79, 95

SALGADO, B. C. B. et al. Descoloração de efluentes aquosos sintéticos e têxtil contendo corantes índigo e azo via processos fenton e foto-assistidos (UV e UV/H₂O₂). *Engenharia Sanitária Ambiental*, v. 14 (1), p. 1-8, 2009.

SARON, C.; FELISBERTI, M. I. Ação de Colorantes na Degradação e Estabilização de Polímeros. *Química Nova*, v. 29 (1), p. 124-128, 2006.

SILVA, M. R. A. da; OLIVEIRA, M. C. de; NOGUEIRA, R. F. P. Estudo da aplicação do processo foto-Fenton solar na degradação de efluentes de indústria de tintas. *Eclética Química*, v. 29 (2), p. 19-26, 2004.