



ENGENHARIAS:

Metodologias e Práticas de
Caráter Multidisciplinar

4

João Dallamuta
Henrique Ajuz Holzmann
Rennan Otavio Kanashiro
(Organizadores)



ENGENHARIAS:

Metodologias e Práticas de
Caráter Multidisciplinar

4

João Dallamuta
Henrique Ajuz Holzmann
Rennan Otavio Kanashiro
(Organizadores)

Editora Chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Assistentes Editoriais

Natalia Oliveira

Bruno Oliveira

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto Gráfico e Diagramação

Natália Sandrini de Azevedo

Camila Alves de Cremo

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

Imagens da Capa

Shutterstock

Edição de Arte

Luiza Alves Batista

Revisão

Os Autores

2021 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2021 Os autores

Copyright da Edição © 2021 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná

Prof. Dr. Américo Junior Nunes da Silva – Universidade do Estado da Bahia

Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior – Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Carlos Antonio de Souza Moraes – Universidade Federal Fluminense
Prof. Dr. Crisóstomo Lima do Nascimento – Universidade Federal Fluminense
Prof^ª Dr^ª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Daniel Richard Sant’Ana – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia
Prof^ª Dr^ª Dilma Antunes Silva – Universidade Federal de São Paulo
Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá
Prof. Dr. Elson Ferreira Costa – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima
Prof. Dr. Gustavo Henrique Cepolini Ferreira – Universidade Estadual de Montes Claros
Prof^ª Dr^ª Ivone Goulart Lopes – Instituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Prof. Dr. Jadson Correia de Oliveira – Universidade Católica do Salvador
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Prof^ª Dr^ª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Prof. Dr. Luis Ricardo Fernandes da Costa – Universidade Estadual de Montes Claros
Prof^ª Dr^ª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Pontifícia Universidade Católica de Campinas
Prof^ª Dr^ª Maria Luzia da Silva Santana – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof^ª Dr^ª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof^ª Dr^ª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof^ª Dr^ª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. William Cleber Domingues Silva – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano
Prof^ª Dr^ª Carla Cristina Bauermann Brasil – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados
Prof^ª Dr^ª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof^ª Dr^ª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia
Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Fágner Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará
Prof^ª Dr^ª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Jael Soares Batista – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof^ª Dr^ª Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa
Prof^ª Dr^ª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof^ª Dr^ª Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido

Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfnas

Ciências Biológicas e da Saúde

Prof. Dr. André Ribeiro da Silva – Universidade de Brasília

Prof^ª Dr^ª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas

Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás

Prof^ª Dr^ª Débora Luana Ribeiro Pessoa – Universidade Federal do Maranhão

Prof. Dr. Douglas Siqueira de Almeida Chaves – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri

Prof^ª Dr^ª Elizabeth Cordeiro Fernandes – Faculdade Integrada Medicina

Prof^ª Dr^ª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília

Prof^ª Dr^ª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina

Prof^ª Dr^ª Eysler Gonçalves Maia Brasil – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira

Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia

Prof. Dr. Fernando Mendes – Instituto Politécnico de Coimbra – Escola Superior de Saúde de Coimbra

Prof^ª Dr^ª Gabriela Vieira do Amaral – Universidade de Vassouras

Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria

Prof. Dr. Helio Franklin Rodrigues de Almeida – Universidade Federal de Rondônia

Prof^ª Dr^ª Iara Lúcia Tescarollo – Universidade São Francisco

Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande

Prof. Dr. Jefferson Thiago Souza – Universidade Estadual do Ceará

Prof. Dr. Jesus Rodrigues Lemos – Universidade Federal do Piauí

Prof. Dr. Jônatas de França Barros – Universidade Federal do Rio Grande do Norte

Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará

Prof. Dr. Luís Paulo Souza e Souza – Universidade Federal do Amazonas

Prof^ª Dr^ª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande

Prof. Dr. Marcus Fernando da Silva Praxedes – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia

Prof^ª Dr^ª Maria Tatiane Gonçalves Sá – Universidade do Estado do Pará

Prof^ª Dr^ª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma

Prof^ª Dr^ª Natiéli Piovesan – Instituto Federaci do Rio Grande do Norte

Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá

Prof. Dr. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados

Prof^ª Dr^ª Regiane Luz Carvalho – Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino

Prof^ª Dr^ª Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof^ª Dr^ª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Prof^ª Dr^ª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto

Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás

Prof^ª Dr^ª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná

Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás

Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia

Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof^ª Dr^ª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Prof^ª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Prof^ª Dr^ª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora
Prof^ª Dr^ª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Prof^ª Dr^ª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof^ª Dr^ª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Linguística, Letras e Artes

Prof^ª Dr^ª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins
Prof^ª Dr^ª Angeli Rose do Nascimento – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro
Prof^ª Dr^ª Carolina Fernandes da Silva Mandaji – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof^ª Dr^ª Denise Rocha – Universidade Federal do Ceará
Prof. Dr. Fabiano Tadeu Grazioli – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Prof^ª Dr^ª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná
Prof^ª Dr^ª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará
Prof^ª Dr^ª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste
Prof^ª Dr^ª Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia

Conselho Técnico Científico

Prof. Me. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo
Prof. Me. Adalberto Zorzo – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza
Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba
Prof. Dr. Adilson Tadeu Basquerote Silva – Universidade para o Desenvolvimento do Alto Vale do Itajaí
Prof. Dr. Alex Luis dos Santos – Universidade Federal de Minas Gerais
Prof. Me. Alexandro Teixeira Ribeiro – Centro Universitário Internacional
Prof^ª Ma. Aline Ferreira Antunes – Universidade Federal de Goiás
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Prof^ª Ma. Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa
Prof^ª Dr^ª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Prof^ª Dr^ª Andrezza Miguel da Silva – Faculdade da Amazônia
Prof^ª Ma. Anelisa Mota Gregoleti – Universidade Estadual de Maringá
Prof^ª Ma. Anne Karynne da Silva Barbosa – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Antonio Hot Pereira de Faria – Polícia Militar de Minas Gerais
Prof. Me. Armando Dias Duarte – Universidade Federal de Pernambuco
Prof^ª Ma. Bianca Camargo Martins – UniCesumar

Profª Ma. Carolina Shimomura Nanya – Universidade Federal de São Carlos
Prof. Me. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Me. Christopher Smith Bignardi Neves – Universidade Federal do Paraná
Prof. Ma. Cláudia de Araújo Marques – Faculdade de Música do Espírito Santo
Profª Drª Cláudia Taís Siqueira Cagliari – Centro Universitário Dinâmica das Cataratas
Prof. Me. Clécio Danilo Dias da Silva – Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Me. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará
Profª Ma. Daniela da Silva Rodrigues – Universidade de Brasília
Profª Ma. Daniela Remião de Macedo – Universidade de Lisboa
Profª Ma. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco
Prof. Me. Douglas Santos Mezacas – Universidade Estadual de Goiás
Prof. Me. Edevaldo de Castro Monteiro – Embrapa Agrobiologia
Prof. Me. Eduardo Gomes de Oliveira – Faculdades Unificadas Doctum de Cataguases
Prof. Me. Eduardo Henrique Ferreira – Faculdade Pitágoras de Londrina
Prof. Dr. Edwaldo Costa – Marinha do Brasil
Prof. Me. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita
Prof. Me. Ernane Rosa Martins – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Prof. Me. Euvaldo de Sousa Costa Junior – Prefeitura Municipal de São João do Piauí
Prof. Dr. Everaldo dos Santos Mendes – Instituto Edith Theresa Hedwing Stein
Prof. Me. Ezequiel Martins Ferreira – Universidade Federal de Goiás
Profª Ma. Fabiana Coelho Couto Rocha Corrêa – Centro Universitário Estácio Juiz de Fora
Prof. Me. Fabiano Eloy Atilio Batista – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Me. Felipe da Costa Negrão – Universidade Federal do Amazonas
Prof. Me. Francisco Odécio Sales – Instituto Federal do Ceará
Profª Drª Germana Ponce de Leon Ramírez – Centro Universitário Adventista de São Paulo
Prof. Me. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária
Prof. Me. Givanildo de Oliveira Santos – Secretaria da Educação de Goiás
Prof. Dr. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná
Prof. Me. Gustavo Krahl – Universidade do Oeste de Santa Catarina
Prof. Me. Helton Rangel Coutinho Junior – Tribunal de Justiça do Estado do Rio de Janeiro
Profª Ma. Isabelle Cerqueira Sousa – Universidade de Fortaleza
Profª Ma. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia
Prof. Me. Javier Antonio Albornoz – University of Miami and Miami Dade College
Prof. Me. Jhonatan da Silva Lima – Universidade Federal do Pará
Prof. Dr. José Carlos da Silva Mendes – Instituto de Psicologia Cognitiva, Desenvolvimento Humano e Social
Prof. Me. Jose Elyton Batista dos Santos – Universidade Federal de Sergipe
Prof. Me. José Luiz Leonardo de Araujo Pimenta – Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria Uruguay
Prof. Me. José Messias Ribeiro Júnior – Instituto Federal de Educação Tecnológica de Pernambuco
Profª Drª Juliana Santana de Curcio – Universidade Federal de Goiás
Profª Ma. Juliana Thaisa Rodrigues Pacheco – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Kamilly Souza do Vale – Núcleo de Pesquisas Fenomenológicas/UFPA
Prof. Dr. Kárpio Márcio de Siqueira – Universidade do Estado da Bahia
Profª Drª Karina de Araújo Dias – Prefeitura Municipal de Florianópolis
Prof. Dr. Lázaro Castro Silva Nascimento – Laboratório de Fenomenologia & Subjetividade/UFPR

Prof. Me. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof^ª Ma. Lillian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará
Prof^ª Ma. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ
Prof^ª Dr^ª Lívia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás
Prof. Dr. Lucio Marques Vieira Souza – Secretaria de Estado da Educação, do Esporte e da Cultura de Sergipe
Prof. Dr. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual do Paraná
Prof^ª Ma. Luana Ferreira dos Santos – Universidade Estadual de Santa Cruz
Prof^ª Ma. Luana Vieira Toledo – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados
Prof^ª Ma. Luma Sarai de Oliveira – Universidade Estadual de Campinas
Prof. Dr. Michel da Costa – Universidade Metropolitana de Santos
Prof. Me. Marcelo da Fonseca Ferreira da Silva – Governo do Estado do Espírito Santo
Prof. Dr. Marcelo Máximo Purificação – Fundação Integrada Municipal de Ensino Superior
Prof. Me. Marcos Aurelio Alves e Silva – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo
Prof^ª Ma. Maria Elanny Damasceno Silva – Universidade Federal do Ceará
Prof^ª Ma. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Prof. Me. Pedro Panhoca da Silva – Universidade Presbiteriana Mackenzie
Prof^ª Dr^ª Poliana Arruda Fajardo – Universidade Federal de São Carlos
Prof. Me. Ricardo Sérgio da Silva – Universidade Federal de Pernambuco
Prof. Me. Renato Faria da Gama – Instituto Gama – Medicina Personalizada e Integrativa
Prof^ª Ma. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal
Prof. Me. Robson Lucas Soares da Silva – Universidade Federal da Paraíba
Prof. Me. Sebastião André Barbosa Junior – Universidade Federal Rural de Pernambuco
Prof^ª Ma. Silene Ribeiro Miranda Barbosa – Consultoria Brasileira de Ensino, Pesquisa e Extensão
Prof^ª Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo
Prof^ª Ma. Taiane Aparecida Ribeiro Nepomoceno – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Faculdade Regional Jaguaribana
Prof^ª Ma. Thatianny Jasmine Castro Martins de Carvalho – Universidade Federal do Piauí
Prof. Me. Tiago Silvio Dedoné – Colégio ECEL Positivo
Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira
Bibliotecária: Janaina Ramos
Diagramação: Camila Alves de Cremo
Correção: Flávia Roberta Barão
Edição de Arte: Luiza Alves Batista
Revisão: Os Autores
Organizador: João Dallamuta
Henrique Ajuz Holzmann
Rennan Otavio Kanashiro

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

E57 Engenharia: metodologias e práticas de caráter multidisciplinar 4 / Organizadores João Dallamuta, Henrique Ajuz Holzmann, Rennan Otavio Kanashiro. - Ponta Grossa - PR: Atena, 2021.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5706-889-2

DOI 10.22533/at.ed.892211003

1. Engenharia. I. I. Dallamuta, João (Organizador). II. Holzmann, Henrique Ajuz (Organizador). III. Kanashiro, Rennan Otavio (Organizador). IV. Título.

CDD 620

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

Atena Editora

Ponta Grossa – Paraná – Brasil

Telefone: +55 (42) 3323-5493

www.atenaeditora.com.br

contato@atenaeditora.com.br

INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA DE TRATAMENTO TÉRMICO NO DESEMPENHO FOTOCATALÍTICO DE FIBRAS DE TiO_2

Data de aceite: 01/03/2021

Data de submissão: 23/01/2021

Luana Góes Soares da Silva

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Porto Alegre – RS
<http://lattes.cnpq.br/8474215025680480>

Annelise Kopp Alves

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Porto Alegre – RS
<http://lattes.cnpq.br/0064626732086273>

RESUMO: Os processos fotocatalíticos começaram a ser estudados a partir da década de 70, quando Fujishima e Honda relataram a fotodecomposição da água em eletrodo de TiO_2 irradiado em uma célula fotoeletroquímica, gerando hidrogênio e oxigênio. O seu mecanismo de atuação consiste na formação de radicais hidroxila (*OH), agente altamente oxidante. Os radicais hidroxila podem reagir com uma série de classes de compostos possibilitando sua completa mineralização, para compostos inócuos como CO_2 e H_2O , em razão de sua alta reatividade ($E_0 = 2,8 \text{ V}$). O princípio da fotocatalise heterogênea envolve a ativação de um semicondutor, por luz solar ou artificial. O dióxido de titânio (TiO_2) é um dos principais semicondutores empregados em fotocatalise. No presente trabalho o propóxido de titânio foi empregado como precursor na formação de fibras nanoestruturadas de TiO_2 utilizando-se a técnica *electrospinning*. As fibras assim obtidas foram então tratadas termicamente

até a temperatura de $800 \text{ }^\circ\text{C}$, a uma taxa de aquecimento de $1,4 \text{ }^\circ\text{C}/\text{min}$, a fim de promover a formação do óxido de titânio. Os materiais sintetizados foram caracterizados visando a determinação das fases presentes por difração de raios X (DRX), morfologia por microscopia eletrônica de varredura (MEV), determinação da energia de *band gap*, e, a avaliação da atividade fotocatalítica. Os resultados obtidos indicam que as fibras nanoestruturadas de TiO_2 tratadas a temperatura de $650 \text{ }^\circ\text{C}$ demonstraram serem mais eficientes na degradação do corante alaranjado de metila, ou seja, apresentaram maior fotoatividade, devido a presença da fase cristalina anatase.

PALAVRAS-CHAVE: Fibras Nanoestruturadas, *Electrospinning*, Processos Fotocatalíticos, Dióxido de Titânio (TiO_2), Fotoatividade.

INFLUENCE OF THE HEAT TREATMENT TEMPERATURE ON THE PHOTOCATALYTIC PERFORMANCE OF TiO_2 FIBERS

ABSTRACT: Photocatalytic processes began to be studied in the 1970s, when Fujishima and Honda reported the photodecomposition of water in a TiO_2 electrode irradiated in a photoelectrochemical cell, generating hydrogen and oxygen. Its mechanism of action consists of the formation of hydroxyl radicals (*OH), a highly oxidizing agent. Hydroxyl radicals can react with a series of classes of compounds allowing their complete mineralization, for innocuous compounds such as CO_2 and H_2O , due to their high reactivity ($E_0=2.8\text{V}$). The

principle of heterogeneous photocatalysis involves the activation of a semiconductor, by sunlight or artificial light. Titanium dioxide (TiO_2) is one of the main semiconductors used in photocatalysis. In the present work, titanium propoxide was used as a precursor in the formation of nanostructured TiO_2 fibers using the electrospinning technique. The fibers thus obtained were then heat treated to a temperature of 800 °C, at a heating rate of 1.4 °C/h, in order to promote the formation of titanium oxide. The synthesized materials were characterized in order to determine the phases present by X-ray diffraction (XRD), morphology by scanning electron microscopy (SEM), determination of the band gap energy, and the evaluation of the photocatalytic activity. The results obtained indicate that the nanostructured fibers of TiO_2 treated at a temperature of 650 °C demonstrated to be more efficient in the degradation of the methyl orange dye, that is, they presented greater photoactivity, due to the presence of the crystalline phase anatase.

KEYWORDS: Nanostructured Fibers, Electrospinning, Photocatalytic Processes, Titanium Dioxide (TiO_2), Photoactivity.

1 | INTRODUÇÃO

A fotocatalise faz parte dos processos oxidativos avançados (POA's), onde uma reação química é acelerada na presença de um catalisador que é ativado na presença de luz. O dióxido de titânio (TiO_2) é um dos fotocatalisadores mais comumente utilizados (HAN et al., 2016).

A base de funcionamento dos Processos Oxidativos Avançados (POA'S) reside na geração de radicais hidroxila ($\cdot\text{OH}$), com alto poder oxidante, e na completa mineralização de diversos compostos orgânicos através da reação com este radical. Esses processos têm despertado atenção, por exemplo, devido ao aumento da complexidade e dificuldade no tratamento de águas residuárias, o que tem sido motivo para a busca de novas metodologias visando à remediação desses rejeitos (FIOREZE et al., 2014).

A ação dos radicais hidroxila ocorre pela adição à dupla ligação ou através da retirada do átomo de hidrogênio em moléculas orgânicas alifáticas. Oxidantes como o ozônio e o peróxido de hidrogênio, associados à radiação ultravioleta (UV) ou visível (Vis) e catalisadores ou semicondutores, são reações responsáveis pela formação dos radicais hidroxila. A interação dessas reações resulta na formação de radicais orgânicos, que reagem com oxigênio, originando reações de degradação (FIOREZE et al., 2014).

Os POA's podem ser divididos em processos homogêneos e heterogêneos

Estudos envolvendo o uso da fotocatalise começaram a surgir no início da década de 70. Em um destes trabalhos, alguns autores produziram hidrogênio e oxigênio através da fotodecomposição da água em eletrodo de TiO_2 , emitido em uma célula fotoeletroquímica. Foi a partir destes estudos que a fotocatalise tornou-se uma opção bastante eficiente na destruição de poluentes (FUJISHIMA et al., 1972).

A Fotocatalise Heterogênea utilizando o TiO_2 como semicondutor vem sendo usada com êxito na destruição de algumas classes de compostos como, por exemplo, alcanos,

haloalcanos, alcoóis alifáticos, aromáticos, fenóis, corantes (Rodamina B, alaranjado de metila e azul de metileno), dentre outras classes de compostos (DONG et al., 2011).

A utilização da fotocatalise na degradação de poluentes, além de não gerar subprodutos também é menos dispendiosa quando comparada a outros processos, que também são amplamente empregados na degradação dos compostos tóxicos, como a incineração e os tratamentos biológico, mas não são tão vantajosos quanto á fotocatalise (NOGUEIRA et al., 1998).

Neste trabalho fibras nanoestruturadas de dióxido de titânio foram usadas como catalisadores em fotocatalise heterogênea, devido as sua alta atividade, grande área de superfície, baixo peso e baixa tendência de aglomeração. Assim, o presente trabalho pretende avaliar a atividade fotocatalítica de fibras de óxido de titânio, tratadas termicamente em diferentes temperaturas e relacionar tal propriedade à sua composição e às suas características morfológicas.

2 I MATERIAIS E MÉTODOS

A síntese das fibras nanoestruturadas de dióxido de titânio envolveu as etapas demonstradas na Figura 1:

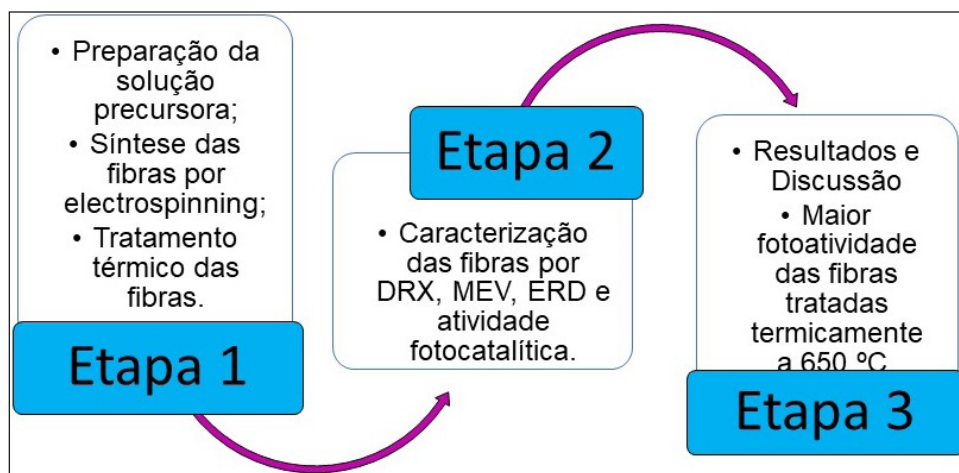


Figura 1. Esquema das etapas envolvidas na execução do trabalho.

Fonte. Próprias autoras.

2.1 Reagentes químicos

Para a síntese das fibras nanoestruturadas de TiO_2 por *electrospinning* foram utilizados os seguintes precursores na preparação das soluções precursoras: o propóxido

de titânio (Sigma-Aldrich), ácido acético glacial (Neon), polivinilpirrolidona (Sigma-Aldrich), e, o padrão TiO_2 -P25 (pó comercial Evonik).

2.2 *Electrospinning*

As fibras nanoestruturadas de TiO_2 foram obtidas através do preparo de soluções precursoras contendo: 2,5 mL de propóxido de titânio (TIP), 2,0 mL de ácido acético glacial e 5,0 mL de uma solução alcoólica contendo 10% em peso de polivinilpirrolidona (PVP). Em seguida uma seringa plástica de 5 mL, conectada a uma agulha hipodérmica de aço inox, foi preenchida com esta solução precursora. A agulha foi conectada à fonte de alta tensão. A distância entre a ponta da agulha e do coletor cilíndrico foi de 12 cm. Aplicou-se uma tensão de 13,5 kV. Uma bomba de fusão controlou o fluxo da solução precursora (1,8 mL/h). As fibras nanoestruturadas foram coletadas a cada 30 minutos, por um período de 4 horas.

Para a síntese das fibras por *electrospinning* foi montado um equipamento conforme mostra a Figura 2.

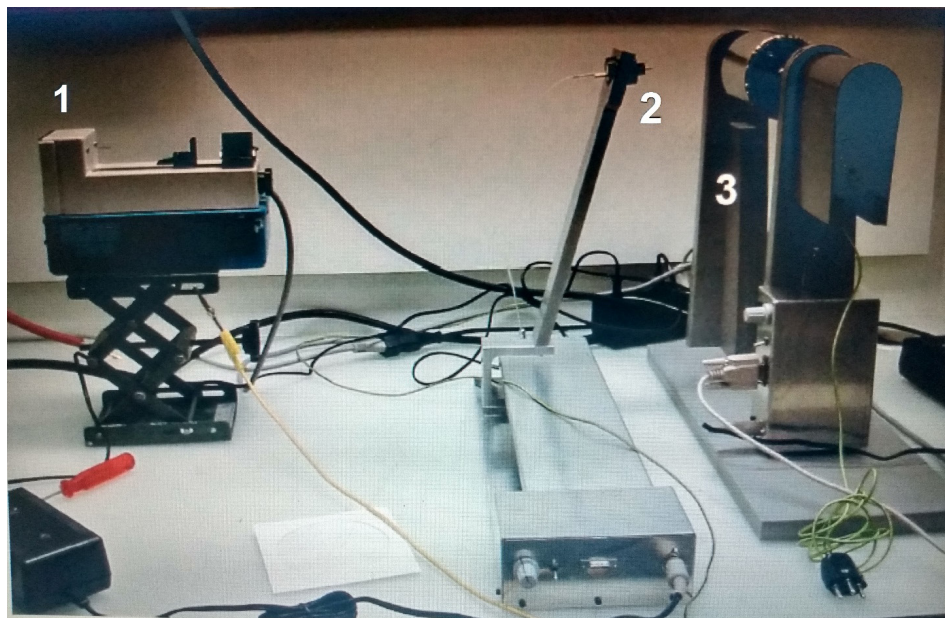


Figura 2. Equipamento para a síntese por *electrospinning*. (1) Bomba de infusão; (2) Conjunto seringa/agulha e (3) Anteparo/Coletor.

Fonte. (ALVES, 2008).

2.3 Tratamento térmico

As fibras obtidas foram submetidas a um tratamento térmico em um forno elétrico, tipo mufla (da marca Sanchis) em temperaturas de 650 °C, 700 °C, 750 °C e 800 °C, com patamar de 1 hora e taxa de aquecimento de 1,4 °C/min, a fim de remover o material polimérico e formar as fases cristalinas. A Figura 3 mostra as fibras de TiO₂ obtidas por *electrospinning*, após o tratamento térmico a 650 °C.



Figura 3. Imagem fotográfica das fibras de TiO₂ obtidas por *electrospinning*, após o tratamento térmico a 650 °C.

Fonte. Próprias autoras.

2.4 Métodos de caracterização

As análises de difração de raio X foram realizadas por um difratrômetro da marca PHILIPS, modelo X'PERT, com radiação CuK α e uma tensão de 40 KV, corrente de 40 mA, velocidade de 0,05°/min e com um passo de 1 seg em uma faixa de 5 a 75°. A morfologia das fibras foi observada através da microscopia eletrônica de varredura (MEV), o equipamento utilizado foi um microscópio eletrônico de varredura JEOL JSM 6060. O diâmetro médio das fibras foi estimado com o auxílio do programa *UTHSCSA ImageTool*. Fez-se 10 medições de cada imagem obtida por MEV. A energia de band gap foi analisada através de um espectrofotômetro de feixe duplo UV-Vis- NIR (Cary 5000), com uma esfera integradora no modo de reflexão difusa de luz. O processo de fotocatalise foi realizado em um reator fotocatalítico através da descoloração com o tempo de 125 mL de uma solução 20 ppm do corante alaranjado de metila.

O experimento foi realizado mediante a mistura de 50 mg de fibras nanoestruturadas de TiO₂ tratadas entre 650 °C e 800 °C, adicionadas a 125 ml da solução de alaranjado de

metila (20 ppm). As misturas foram colocadas no ultra-som uma de cada vez, em um local escuro, por 15 minutos para homogeneização. A seguir, foi coletada uma amostra de 4 mL desta solução, e, antes do início de cada ensaio foi coletada uma alíquota de 4 mL de todas as soluções, definida como amostra inicial de referência (absorbância indicativa de concentração igual a 100% alaranjado de metila; tempo de reação de zero minutos). Esta primeira alíquota foi retirada antes da aplicação do sistema de luz, da circulação de água e do borbulhamento de ar.

A solução foi então colocada no reator, sob constante agitação e temperatura (30 °C). Fez-se borbulhar ar durante a exposição à luz UV. Após o início de cada ensaio, foram retiradas com uma seringa alíquotas de 4 mL, em intervalos de 15 minutos, filtradas em filtro de 0,2 μm , e transferidas para cubetas de polimetilmetacrilato (PMMA). Em seguida, as alíquotas foram analisadas por um espectrofotômetro (Cary 5000, Agilent, com acessório UMA).

3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 4 (a-b) apresentam as imagens de microscopia eletrônica de varredura das fibras nanoestruturadas de TiO_2 sem tratamento térmico e tratadas termicamente à temperatura de 800 °C, respectivamente. É possível observar que as fibras nanoestruturadas de TiO_2 estão aleatoriamente dispersas, sem uma direção uniforme e possuem diâmetros de 0,41 (sem tratamento térmico) e 0,25 μm (tratadas à 800 °C). O que já era esperado, visto que, com o tratamento térmico há uma tendência a diminuição do diâmetro das fibras pela remoção do veículo polimérico e de componentes orgânicos de suas estruturas.

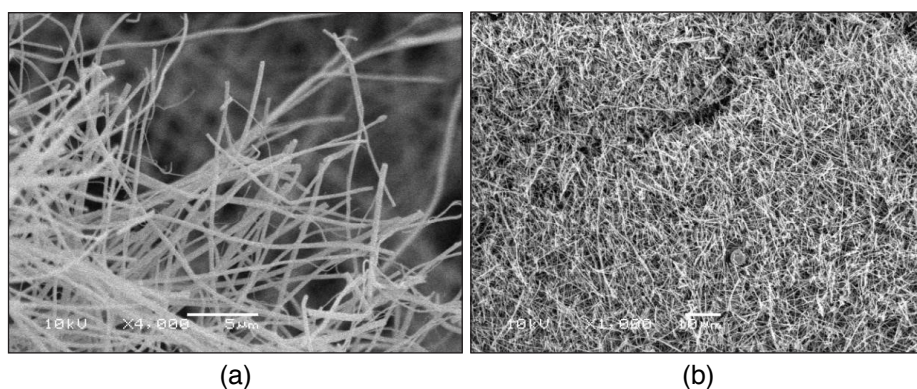


Figura 4. Imagens de microscopia eletrônica de varredura das fibras (a) sem tratamento térmico e (b) tratadas termicamente a 800 °C.

Fonte. Próprias autoras.

A Figura 5 mostra os resultados dos ensaios de difração de raios X (DRX) das fibras nanoestruturadas de TiO_2 sem tratamento térmico (STT) e após o tratamento térmico a 650 °C, 700 °C, 750 °C e 800 °C. Antes do tratamento térmico, as fibras sintetizadas eram amorfas.

Até 700 °C somente a fase anatase foi identificada. Tratamentos térmicos superiores a 750 °C formaram as fases anatase e rutilo. Em temperaturas mais elevadas de tratamento térmico se promove a transformação da fase anatase para a fase rutilo. Esse resultado é esperado, pois sabe-se que ocorre uma transição da fase cristalina anatase para rutilo, após a aplicação de tratamento térmico entre 350 e 1175 °C (RAHIMI et al., 2016). Porém, a temperatura em que ocorre esta transição de fases depende de vários fatores, como: presença de impurezas ou aditivos, a técnica empregada na síntese das amostras e atmosfera presente durante a transformação (FELTRIN et al., 2013).

O primeiro pico característico da fase anatase, foi observado na temperatura de 650 °C, em aproximadamente 25,156° com índice de Miller (101) e, para a fase rutilo foi observado primeiramente na temperatura de 750 °C, em 27,342° que correspondem ao índice de Miller (110). Esses dados foram obtidos com o auxílio do programa X'Pert HighScore que acompanha o difratômetro.

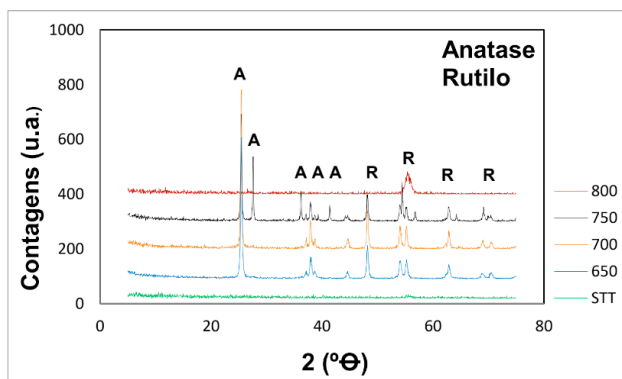


Figura 5: Difratograma das fibras nanoestruturadas de TiO_2 sintetizadas por *electrospinning*.

Fonte. Próprias autoras.

A Figura 6 apresenta a atividade catalítica das fibras de TiO_2 na degradação do corante alaranjado de metila durante 135 minutos de exposição à luz UV-A ($\lambda = 365 \text{ nm}$). Todas as fibras apresentaram atividade fotocatalítica quando comparadas as fibras de TiO_2 P25 e foram capazes de degradar o corante alaranjado de metila.

É possível observar que quanto maior a temperatura de sinterização, menor fotoatividade das fibras sintetizadas. Este fato está associado ao aumento da quantidade de

rutilo presente nas fibras tratadas termicamente a temperaturas mais elevadas, pois com o aumento da temperatura ocorre uma transformação de fase do TiO_2 , de anatase para rutilo. Esta última comprovadamente menos fotoativa. As fibras mais efetivas na degradação do corante alaranjado de metila foram as tratadas à temperatura de 650 °C. Estas amostras continham 100% de anatase em suas estruturas.

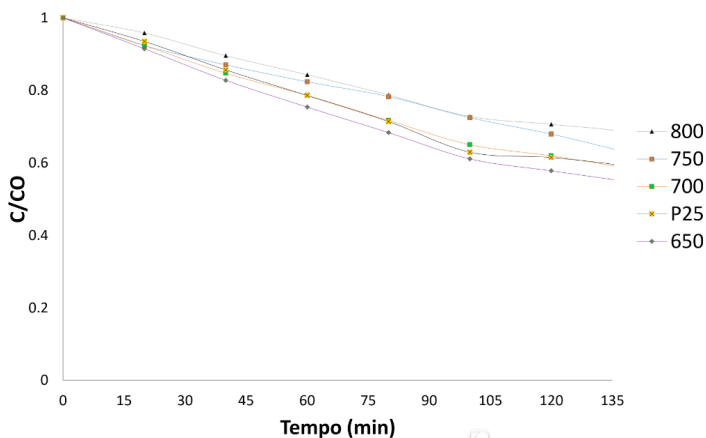


Figura 6: Degradação fotocatalítica da solução de alaranjado de metila na presença de fibras nanoestruturadas de TiO_2 .

Fonte. Próprias autoras.

Os valores descritos pela literatura para as fases cristalinas de anatase e rutilo são 3,2 eV e 3,0 eV, respectivamente. A Figura 7 mostra que as fibras sintetizadas ficaram dentro destes valores. Tanto a anatase quanto o rutilo podem absorver raios UV. O rutilo é capaz de absorver em comprimentos de onda próximos ao visível, sendo assim, era de se esperar que o fato do rutilo absorver luz em um espectro mais abrangente, o faria ser mais ativo como fotocatalisador. No entanto, a anatase apresenta uma atividade fotocatalítica maior e, um dos fatores que contribuem para isso são às diferenças existentes na posição da banda de condução destes dois tipos de TiO_2 . A banda de condução de anatase é mais negativa que a do rutilo e, por esse motivo, o poder redutor da anatase é maior ao do rutilo (SOARES, 2018).

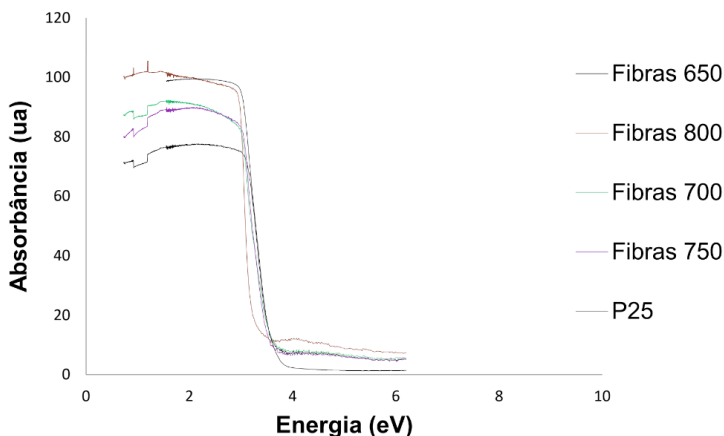


Figura 7. Energia de band gap das fibras de TiO_2 tratadas termicamente a 650 °C, 700 °C, 750 °C, e 800 °C e do padrão P25.

Fonte. Próprias autoras.

4 | CONCLUSÕES

Foi possível sintetizar fibras nanoestruturadas de dióxido de titânio através da técnica de *electrospinning*.

Antes das fibras se apresentaram aleatoriamente dispersas, sem uma orientação preferencial, originando uma matriz altamente porosa e com poros interconectados. Conforme submetidas ao tratamento térmico a 650 °C, 700 °C, 750 °C e 800 °C ocorreu a remoção do veículo polimérico (PVP) e de outros compostos orgânicos, a formação da fase anatase e/ou rutilo e a redução no diâmetro das fibras.

Os testes fotocatalíticos demonstraram que as fibras nanoestruturadas de TiO_2 são eficazes na degradação do corante alaranjado de metila e, podem ser aplicadas como semicondutores em fotocatalise heterogênea. A fotoatividade das fibras está relacionada com as fases formadas. As amostras mais fotoativas foram tratadas termicamente a 650 e 700 °C, onde apenas a fase de anatase está presente.

Outro fator que contribuiu para o aumento da atividade fotocatalítica das fibras nanoestruturadas de TiO_2 foi a elevação da temperatura de tratamento térmico, que ocasionou uma redução da energia de *band gap*, permitindo que os elétrons da banda de valência migrassem para a banda de condução, gerando buracos (*electron hole*) positivos na banda de valência, aumentando a capacidade de degradação das fibras na degradação do corante alaranjado de metila.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao apoio da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), do CNPq e da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

REFERÊNCIAS

ALVES, A. K. Obtenção de micro e nanofibras de TiO_2 por electrospinning: caracterização de propriedades e atividade fotocatalítica. 2008, 136p. Tese (Doutorado em Engenharia – Ciência e Tecnologia dos Materiais) – Programa de Pós Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, PPG3M/RS, Porto Alegre.

DONG, Z.; KENNEDY, S. J.; W. Y. *Electrospinning materials for energy-related applications and devices. Journal of Power Sources*, v.196, p.4886–4904, 2011.

FELTRIN, J.; SARTOR, M. N.; De NONI, A. J; BERNARDIN, A. M.; HOTZA, D.; LABRINCHA, J. Superfícies fotocatalíticas de titânia em substratos cerâmicos. Parte I: Síntese, estrutura e fotoatividade. *Cerâmica*, 59 (2013) 620-632.

FIOREZE, M. E. P. S.; SCHMACHTENBERG, N. Processos oxidativos avançados: fundamentos e aplicação ambiental. *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*, 18 (2014) 79-91.

FUJISHIMA A. e HONDA K. Electrochemical Photolysis of Water at a Semiconductor Electrode. *Nature*, 238 (1972) 37-38.

HAN, C.; LALLEY, J.; NAMBOODIRI, D.; CROMER, K.; NADAGOUDA, M. N. Titanium dioxide-based antibacterial surfaces for water treatment. *Chemical Engineering*, 11 (2016) 46–51.

NOGUEIRA, R.F.P.; JARDIM, W.F. A Fotocatálise heterogênea e sua aplicação ambiental. *Química Nova*. 21 (1998) 69-72

RAHIMI, N.; PAX, R. A.; MAC, E. G. Review of functional titanium oxides. I: TiO_2 and its modifications. *Progress in Solid State Chemistry*, 44 (2016) 86-105.

SOARES, L. G.; ALVES, A. K. Photocatalytic properties of TiO_2 and TiO_2/WO_3 films applied as semiconductors in heterogeneous photocatalysis. *Materials Letters*, 211 (2018) 339–342.