

The background features a blue-to-white gradient with faint white chemical structures (molecules and rings) scattered across the top. In the lower half, a glass dropper with a red liquid inside is positioned above several test tubes, with a single drop of red liquid falling into one of them. The lighting is soft, creating a professional and scientific atmosphere.

O papel fundamental da

# QUÍMICA entre as CIÊNCIAS NATURAIS 2

Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua  
(Organizador)



O papel fundamental da

# QUÍMICA entre as CIÊNCIAS NATURAIS 2

Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua  
(Organizador)



**Atena**  
Editora  
Ano 2022

**Editora chefe**

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Editora executiva**

Natalia Oliveira

**Assistente editorial**

Flávia Roberta Barão

**Bibliotecária**

Janaina Ramos

**Projeto gráfico**

Bruno Oliveira

Camila Alves de Cremo

Daphynny Pamplona

Gabriel Motomu Teshima

Luiza Alves Batista

Natália Sandrini de Azevedo

**Imagens da capa**

iStock

**Edição de arte**

Luiza Alves Batista

2022 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2022 Os autores

Copyright da edição © 2022 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena Editora



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 Exatas e da Terra e Engenharias**

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

Profª Drª Alana Maria Cerqueira de Oliveira – Instituto Federal do Acre

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

Profª Drª Ana Paula Florêncio Aires – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

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

Profª Drª 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  
Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará  
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho  
Prof. Dr. Juliano Bitencourt Campos – Universidade do Extremo Sul Catarinense  
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª 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. Dr. Miguel Adriano Inácio – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista



## O papel fundamental da química entre as ciências naturais 2

**Diagramação:** Daphynny Pamplona  
**Correção:** Maiara Ferreira  
**Indexação:** Amanda Kelly da Costa Veiga  
**Revisão:** Os autores  
**Organizador:** Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua

### Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

P214 O papel fundamental da química entre as ciências naturais  
2 / Organizador Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua.  
- Ponta Grossa - PR: Atena, 2022.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-258-0027-1

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.271220604>

1. Química. I. Paniagua, Cleiseano Emanuel da Silva  
(Organizador). II. Título.

CDD 540

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos - CRB-8/9166

**Atena Editora**

Ponta Grossa - Paraná - Brasil

Telefone: +55 (42) 3323-5493

[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)

contato@atenaeditora.com.br



**Atena**  
Editora  
Ano 2022

## DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.



## DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access*, *desta forma* não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.



## APRESENTAÇÃO

O e-book: “O papel fundamental da química entre as ciências naturais 2” é composto por onze capítulos que apresentam trabalhos nas diferentes áreas da química: *i)* teoria e prática no ensino de química; *ii)* química dos produtos naturais; *iii)* química dos materiais; e *iv)* aplicação de novos materiais e biotecnologia para remediação ambiental.

O primeiro capítulo apresenta um trabalho resultante da observação, experiência e desafios enfrentados por discentes do curso de licenciatura em química, frente ao desafio do processo de ensino-aprendizagem de alunos do ensino médio.

O segundo capítulo apresenta um estudo que trata da importância de compostos fenólicos com propriedades antioxidantes, provenientes de frutos que compõem a dieta alimentar de milhares de famílias. Já os capítulos três e quatro apresentam estudos que avaliaram as propriedades físico-químicas de biodiesel provenientes da espécie Ouricuri e das sementes de *Glycine Max* e *Ricinus Communis L.*

Os capítulos de cinco a nove apresentam trabalhos que objetivaram sintetizar, caracterizar e elucidar as inúmeras propriedades de materiais provenientes de fibra de carbono, aminas quirais, fibras de  $\text{TiO}_2$  e de bambu funcionalizadas com óxido de ferro; a fim de se avaliar inúmeras propriedades: *i)* catalíticas; *ii)* semicondutoras e luminescentes; *iii)* novas nanoestruturas pela combinação de duas ou mais substâncias químicas; *iv)* preparo de filmes finos biodegradáveis entre outras propriedades que visem a sua aplicação em larga escala, que leve a proporcionar inúmeros benefícios em forma de tecnologia para a sociedade.

O capítulo 10 apresenta um trabalho de revisão no qual se avaliou a eficiência de  $\text{Ag}_2\text{WO}_4$  como fotocatalisador para a remoção de corantes em matrizes aquosas. Por fim, o capítulo 11 apresenta uma revisão da aplicação da propriedade de bioluminescência da bactéria *Vibrio fischeri* frente à exposição da toxicidade provenientes de inúmeras classes de Contaminantes de Interesse Emergente e seus produtos de transformação provenientes da aplicação de diferentes processos oxidativos avançados em matrizes aquosas.

Diante desta diversidade de trabalhos que abordaram a aplicação de diferentes áreas da química e afins, esta área da ciência demonstra a sua fundamental importância para aperfeiçoar, desenvolver e remediar novos produtos que chegam até o consumo da sociedade e que objetiva melhorar e aumentar a qualidade de vida das pessoas.

Nesta perspectiva, a Atena Editora vem trabalhando de forma a estimular e incentivar cada vez mais pesquisadores do Brasil e de outros países a publicarem seus trabalhos com garantia de qualidade e excelência em forma de livros, capítulos de livros e artigos científicos.




## SUMÁRIO

### **CAPÍTULO 1..... 1**

#### **EXPERIÊNCIAS DE INSERÇÃO PROFISSIONAL NO ENSINO DE QUÍMICA: TEORIA E PRÁTICA**


Alan Stampini Benhame de Castro  
Hauster Maximiler Campos de Paula

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2712206041>

### **CAPÍTULO 2..... 12**

#### **IMPORTÂNCIA DOS BIOATIVOS FENÓLICOS COMO ANTIOXIDANTES NATURAIS**


Maria Celeste da Silva Sauthier  
Ana Maria Pinto dos Santos  
Walter Nei Lopes dos Santos

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2712206042>

### **CAPÍTULO 3..... 23**

#### **AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DAS MISTURAS DE BIODIESEL DE OURICURI E DIESEL DE PETRÓLEO**


Rafaela Gabriel  
João Inácio Soletti  
Sandra Helena Vieira de Carvalho

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2712206043>

### **CAPÍTULO 4..... 35**

#### **TRANSESTERIFICAÇÃO *IN SITU* MEDIADA POR MICRO-ONDAS PARA PRODUÇÃO DE BIODIESEL A PARTIR DE SEMENTES DE *Glycine max* E *Ricinus communis L.***


Sávio Eduardo Oliveira Miranda  
Sandro Luiz Barbosa dos Santos  
Stanlei Ivair Klein

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2712206044>

### **CAPÍTULO 5..... 45**

#### **A THERMODYNAMIC APPROACH FOR MICROSTRUCTURES WITHIN CARBON FIBERS PRECURSORY MESOPHASE PITCH BASED ON THE MÜLLER-LIU PROCEDURE**


Caio Cesar Ferreira Florindo

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2712206045>

### **CAPÍTULO 6..... 53**

#### **RESOLUÇÃO CINÉTICA DINÂMICA DE AMINAS QUIRAIS COM CATALISADOR HETEROGÊNEO DE PALÁDIO SUPORTADO EM DOLOMITA**


Fernanda Amaral de Siqueira  
Renata Costa Zimpeck  
José Carlos Queiroz Arêas  
Larissa Moisés da Silva  
Lívia Yuriko Sawada

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2712206046>

**CAPÍTULO 7..... 64**

OBSERVAÇÃO DA INFLUÊNCIA DE TUNGSTÊNIO PRESENTE EM FIBRAS DE TiO<sub>2</sub> UTILIZADAS COMO SEMICONDUTORES EM FOTOCATÁLISE HETEROGÊNEA


Luana Góes Soares da Silva  
Annelise Kopp Alves

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2712206047>

**CAPÍTULO 8..... 75**

SÍNTESE DE SEMICONDUTORES DE DIFERENTES COMPOSIÇÕES E SUA CAPACIDADE DE ABSORÇÃO NA REGIÃO UVA


Luana Góes Soares da Silva  
Annelise Kopp Alves

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2712206048>

**CAPÍTULO 9..... 85**

PREPARAÇÃO DE FILMES FINOS BIODEGRADÁVEIS A BASE DE BAMBU FUNCIONALIZADOS COM ÓXIDO DE FERRO


Viviane Alencar Marques Araújo do Nascimento  
Marcelo Ramon da Silva Nunes  
William Ferreira Alves  
Anselmo Fortunato Ruiz Rodriguez

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2712206049>

**CAPÍTULO 10..... 94**

UMA BREVE REVISÃO DO DESEMPENHO DO Ag<sub>2</sub>WO<sub>4</sub> NA REMOÇÃO DE CORANTES EM SOLUÇÃO AQUOSA POR FOTOCATÁLISE


Francisco das Chagas Marques da Silva  
Germano Pereira dos Santos  
Francisco de Assis Araújo Barros  
Geraldo Eduardo da Luz Júnior

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.27122060410>

**CAPÍTULO 11..... 104**

UTILIZAÇÃO DA BACTÉRIA *Vibrio fischeri* NA INDICAÇÃO DE TOXICIDADE AGUDA PROVENIENTES DE CONTAMINANTES DE INTERESSE EMERGENTE E SEUS PRODUTOS DE DEGRADAÇÃO AVALIADOS EM DIFERENTES MATRIZES AQUOSAS

Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua  
Valdinei de Oliveira Santos

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.27122060411>

**SOBRE O ORGANIZADOR..... 117**

**ÍNDICE REMISSIVO..... 118**

## OBSERVAÇÃO DA INFLUÊNCIA DE TUNGSTÊNIO PRESENTE EM FIBRAS DE $\text{TiO}_2$ UTILIZADAS COMO SEMICONDUTORES EM FOTOCATÁLISE HETEROGÊNEA

Data de aceite: 01/03/2022

Data de submissão: 07/02/2022

### Luana Góes Soares da Silva

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

### Annelise Kopp Alves

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

**RESUMO:** A aplicabilidade de nanomateriais em catálises, células solares, células combustíveis, membranas, baterias de hidrogênio, materiais estruturais que requerem elevada resistência mecânica, nanoeletrônicos, sensores, em dispositivos ópticos, magnetos eletrônicos, engenharia de tecidos e biossensores, estão cada vez mais frequentes, em virtude de propiciarem produtos finais mais eficazes, leves e de baixo custo. A preferência em se utilizar as fibras, ao invés de compostos cerâmicos com dimensões tradicionais, nas mais diversas aplicações, se deve ao fato de entre os nanomateriais, as fibras serem uma das nanoestruturas unidimensionais que mais têm chamado atenção, em razão de sua: flexibilidade, propriedades ópticas e capacidade de interação com outras áreas da ciência. Esta relação multidisciplinar promove o desenvolvimento de novas técnicas de produção,

associando o entendimento de suas propriedades ao emprego destes novos materiais. Neste trabalho fibras nanoestruturadas de  $\text{TiO}_2$  e de  $\text{TiO}_2/\text{WO}_3$  foram obtidas por *electrospinning* e tratadas termicamente entre 650 °C e 800 °C em um forno tipo mufla. A técnica de difração de raios X (DRX) foi empregada na determinação da estrutura cristalina e tamanho de cristalito. A morfologia das fibras nanoestruturadas  $\text{TiO}_2$  e de  $\text{TiO}_2/\text{WO}_3$  foi observada por meio de microscopia eletrônica de varredura (MEV) e, a atividade fotocatalítica foi analisada através de ensaios de fotodegradação de 125 mL de uma solução 20 ppm do corante alaranjado de metila. Os resultados apontam que as fibras nanoestruturadas de  $\text{TiO}_2$  misturadas ao tungstênio ( $\text{H}_2\text{WO}_4$ ) apresentaram-se mais eficientes na descoloração do corante alaranjado de metila, indicando uma maior atividade catalítica destas amostras em comparação com um catalisador padrão P25 e as amostras de  $\text{TiO}_2$ . A presença de tungstênio aumentou a eficiência fotocatalítica dos materiais, inibiu a recombinação do par elétron/lacuna  $[(e^-)/(h^+)]$ , permitindo a transferência de cargas entre o  $\text{TiO}_2$  e o  $\text{WO}_3$ . A elevação da temperatura de tratamento térmico possibilitou que as vacâncias de  $\text{O}_2$  adquirissem a mobilidade necessária para passar para um estado desordenado na rede, aumentando a capacidade de degradação das amostras.

**PALAVRAS-CHAVE:** Fibras, Nanoestruturadas, Dióxido de Titânio ( $\text{TiO}_2$ ), Trióxido de Tungstênio ( $\text{WO}_3$ ), *Electrospinning* e Vacâncias de  $\text{O}_2$ .

## 1 | INTRODUÇÃO

A nanotecnologia tem como princípio elementar o manejo da matéria em escala atômica, para a geração de estruturas com diferentes arranjos moleculares, incorporando inúmeras propriedades ao material já existente. Os materiais e compostos nanoestruturados possuem propriedades químicas intensificadas ou até mesmo modificadas em consequência da redução de tamanho [1].

Materiais nanoestruturados são assim chamados, quando ao menos, uma de suas dimensões se apresenta com valores menores ou igual a 100 nm. Os resultados mais importantes relacionados a estes materiais relatam à possibilidade de regular e manipular a sua morfologia, área superficial, volume, que podem melhorar e/ou criar novas propriedades [2,3].

Nanomateriais podem ser classificados em: zero dimensional, quando se apresentam na forma de partículas; unidimensionais, quando se apresentam na forma de tubos, fitas e fibras; e bidimensionais, quando se apresentam na forma de filmes [2,3].

Materiais cerâmicos com dimensões nanométricas podem substituir compostos cerâmicos com dimensões tradicionais em várias aplicações como catálises, células solares, células combustíveis, membranas, baterias de hidrogênio, materiais estruturais que requerem elevada resistência mecânica, nanoeletrônicos, sensores, em dispositivos ópticos, magnetos eletrônicos, engenharia de tecidos e biossensores [2,3].

Dentro deste contexto, o presente trabalho relata a obtenção por *electrospinning* de fibras nanoestruturadas de  $\text{TiO}_2$  e de  $\text{TiO}_2/\text{WO}_3$ , para serem utilizadas como semicondutores em fotocatalise heterogênea e, terem a sua atividade fotocatalítica na degradação de 125 mL de uma solução 20 ppm do corante alaranjado de metila analisada.

## 2 | MATERIAIS E MÉTODOS

A Figura 1 ilustra como as fibras nanoestruturadas de  $\text{TiO}_2$  e de  $\text{TiO}_2/\text{WO}_3$  foram obtidas por *electrospinning*, dos métodos empregados para a sua caracterização quanto: as fases cristalinas, morfologia, energia de *band gap*, fotoatividade, e, dos principais resultados obtidos.



Figura 1. Ilustração esquemática da metodologia empregada e dos resultados obtidos.

## 2.1 *Electrospinning*

As fibras nanoestruturadas foram obtidas através do preparo de 2 soluções precursoras. A solução de  $\text{TiO}_2$  foi obtida através da mistura de 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). A solução de  $\text{TiO}_2/\text{WO}_3$  foi preparada misturando os reagentes acima mencionados acrescida de 1 mL de peróxido de hidrogênio e 0,10 g de  $\text{H}_2\text{WO}_4$ , que foram mantidos sob agitação magnética por 15 minutos. Em seguida, uma seringa de plástico foi carregada com 5 mL da solução precursora de  $\text{TiO}_2$  ou de  $\text{TiO}_2/\text{WO}_3$  que foi conectada a uma agulha de alimentação de aço inoxidável hipodérmica por uma fonte de alta tensão. A distância entre o tubo capilar e o coletor cilíndrico foi de 12 cm, a tensão foi de 13,5 kV com um fluxo de 1,8 mL/h. O coletor cilíndrico foi recoberto com uma folha de alumínio para coletar as fibras nanoestruturadas produzidas a cada 30 minutos por um período de 4 horas. As fibras nanoestruturadas de  $\text{TiO}_2$  e de  $\text{TiO}_2/\text{WO}_3$  foram tratadas termicamente em um forno elétrico (SANCHIS) a 650 °C, 700 °C, 750 °C ou 800 °C com patamar de 1 h e taxa de aquecimento de 1,4 C/min.

A Figura 2 são fotografias do aspecto visual, da aparência das fibras nanoestruturadas de  $\text{TiO}_2$  e de  $\text{TiO}_2/\text{WO}_3$  obtidas por *electrospinning*, após o tratamento térmico.

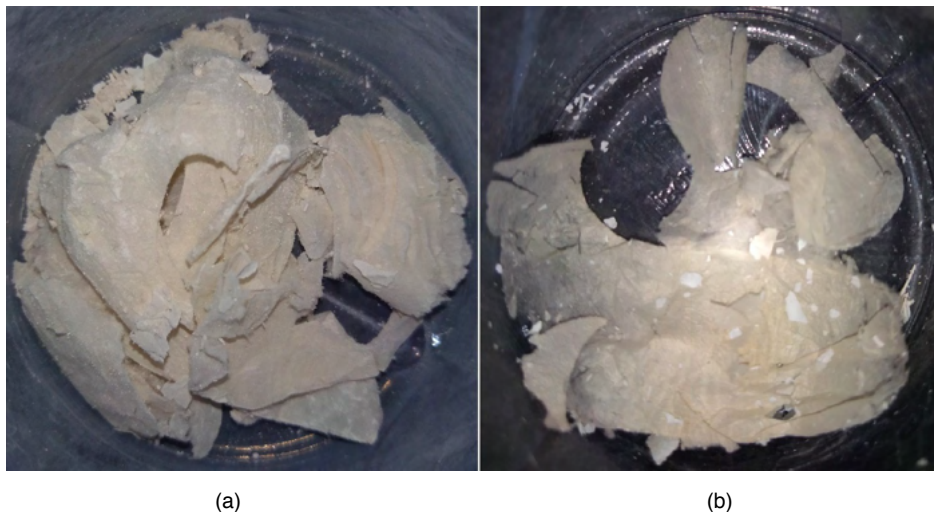


Figura 2. Fotografias da aparência das fibras nanoestruturadas de (a)  $\text{TiO}_2$  e (b)  $\text{TiO}_2/\text{WO}_3$  após o tratamento térmico.

## 2.2 Caracterização

Utilizou-se um difratômetro PHILIPS com radiação  $\text{CuK}\alpha$ , com tensão de 40 kV e 40 mA, equipado com o software X'PERT HighScore, para identificar as fases presentes em todas as fibras nanoestruturadas. Um microscópio eletrônico de varredura (MEV, JEOL 6060) equipado com EDS (espectroscopia de energia dispersiva), usado para avaliar a morfologia das amostras e identificar a presença de átomos de W, Ti e O, dependendo da composição das fibras nanoestruturadas. O diâmetro médio das fibras foi estimado com o auxílio do programa *UTHSCSA ImageTool*. O equipamento utilizado para medir a energia de *band gap* foi um espectrofotômetro de feixe duplo UV-vis- NIR (Cary 5000), com uma esfera integradora no modo de reflexão difusa de luz. Os valores da energia de *band gap* foram obtidos através da correlação de Kubelka e Munk.

O desempenho fotocatalítico das fibras nanoestruturadas de  $\text{TiO}_2$  e de  $\text{TiO}_2/\text{WO}_3$  foi analisado através da alteração na concentração do corante alaranjado de metila, sob irradiação UVA. O processo de fotocatalise foi realizado em um reator fotocatalítico, de vidro *pyrex*, onde a radiação foi proporcionada por 12 lâmpadas negras UVA, de 8 W cada, modelo Flúor BLB T5 e da marca *Sadokin*. As lâmpadas estão dispostas em dois semi-cilindros, que possuem superfície interna refletora. Os outros componentes do reator fotocatalítico incluem; um agitador magnético, um sistema de aeração de ar comprimido e um banho termostático. Para a execução dos ensaios fotocatalíticos, as fibras nanoestruturadas de  $\text{TiO}_2$  ou de  $\text{TiO}_2/\text{WO}_3$  foram misturadas a 125 mL de uma solução contendo 20 ppm do corante alaranjado de metila. A mistura foi colocada em um ultrassom (Cole-Parmer CP-750), por 15 minutos. A solução foi então transferida para o reator fotocatalítico, sob

constante agitação, e a temperatura de 30 °C. Fez-se borbulhar ar no período de exposição à luz UVA. Antes do início de cada ensaio, uma amostra de 4 mL desta solução foi coletada e definida como amostra inicial. Durante o ensaio, com sistema de luz UVA ligado, foram retiradas com uma seringa de plástico, alíquotas de 4 mL da solução, em intervalos de 15 minutos, filtradas em filtros de 0,2 µm e, colocadas em cubetas de polimetilmetacrilato (PMMA) para em seguida serem analisadas por espectrofotometria.

A determinação da atividade fotocatalítica foi realizada com base na relação C/Co, onde C é a concentração molar da solução aquosa de corante em presença do catalisador no tempo da análise e Co é a concentração molar inicial da solução aquosa de corante sem a presença do catalisador.

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 3 apresenta os resultados dos ensaios de difração de raios X (DRX) das fibras nanoestruturadas sem tratamento térmico (STT), de TiO<sub>2</sub> e de TiO<sub>2</sub>/WO<sub>3</sub> sintetizadas por *electrospinning* e tratadas termicamente a 650 °C, 700 °C, 750 °C e 800 °C. As amostras sem tratamento térmico (STT) apresentaram-se amorfas para todas as formulações. As fibras nanoestruturadas de TiO<sub>2</sub> (Figura 3a) tratadas até a temperatura de 700 °C apresentaram somente a presença da fase cristalina anatase (JCPDS 010782486), com o primeiro pico característico em aproximadamente  $2\Theta = 25,271^\circ$ . As fibras nanoestruturadas tratadas a partir de 750 °C apresentaram além da fase anatase, a fase rutilo (JCPDS 01-077-0442), com o primeiro pico característico em aproximadamente  $2\Theta = 27,294^\circ$ , resultado da ocorrência de uma transição de fases do TiO<sub>2</sub>, previsto após o aumento da temperatura de tratamento térmico [4,5]. As fibras nanoestruturadas de TiO<sub>2</sub>/WO<sub>3</sub> (Figura 3b) tratadas até 650 °C foram identificadas as fases anatase (JCPDS 01-078-2486) e brookita (JCPDS 01-075-1582) para TiO<sub>2</sub> com picos característicos em aproximadamente  $2\theta = 25,271^\circ$  e  $25,425^\circ$ , respectivamente. As fibras nanoestruturadas tratadas a partir de 700 °C apresentaram para o TiO<sub>2</sub> as fases anatase, brookita e rutilo (JCPDS 01-077-0442), com o primeiro pico característico em aproximadamente  $2\Theta = 27,294^\circ$ . Para WO<sub>3</sub> a fase monoclínica (JCPDS 00-032-1393) apareceu em todas as temperaturas de tratamento térmico, com o primeiro pico característico a aproximadamente  $2\Theta = 23^\circ$ .

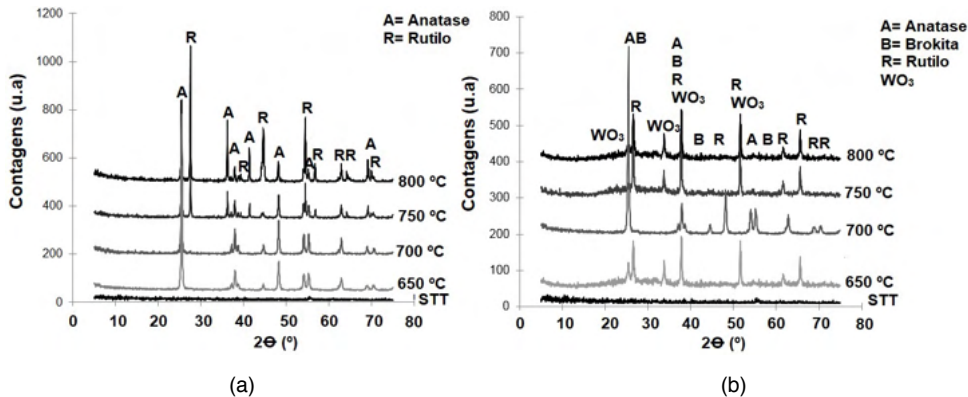


Figura 3. Difratoograma das fibras nanoestruturadas sem tratamento térmico (STT) e as tratadas termicamente a 650 °C, 700 °C, 750 °C e 800 °C: (a)  $\text{TiO}_2$ , (b)  $\text{TiO}_2/\text{WO}_3$ .

As Figuras 4 e 5 apresentam imagens de microscopia eletrônica de varredura (MEV) das fibras nanoestruturadas de  $\text{TiO}_2$  e de  $\text{TiO}_2/\text{WO}_3$ , tratadas termicamente entre 650 °C até 800 °C. Pelas imagens é possível observar que ambas fibras nanoestruturadas de  $\text{TiO}_2$  e de  $\text{TiO}_2/\text{WO}_3$  aparentam morfologia similar, parecem ser constituídas de um aglomerado de partículas primárias, com forma alongada, contínua e sem uma orientação preferencial. As fibras nanoestruturadas de  $\text{TiO}_2$  apresentam diâmetro médio de (0,24  $\mu\text{m}$ ), menor do que as fibras nanoestruturadas de  $\text{TiO}_2/\text{WO}_3$  que exibiram diâmetro médio de (0,40  $\mu\text{m}$ ). O aumento do diâmetro médio das fibras nanoestruturadas de  $\text{TiO}_2/\text{WO}_3$  em relação as amostras de  $\text{TiO}_2$  ocorre possivelmente em função da presença do aglomerado de  $\text{WO}_3$  nas fibras nanoestruturadas provenientes desta formulação [6,7,8].

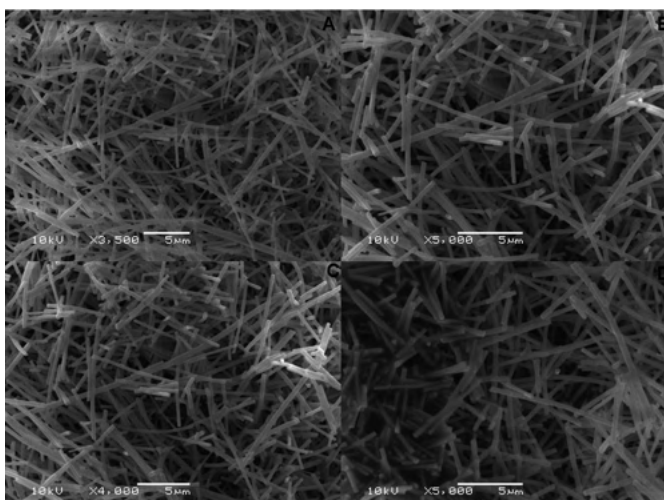


Figura 4: Imagens obtidas por MEV das fibras nanoestruturadas de  $\text{TiO}_2$  tratadas termicamente: (a) 650 °C, (b) 700 °C, (c) 750 °C e (d) 800 °C.



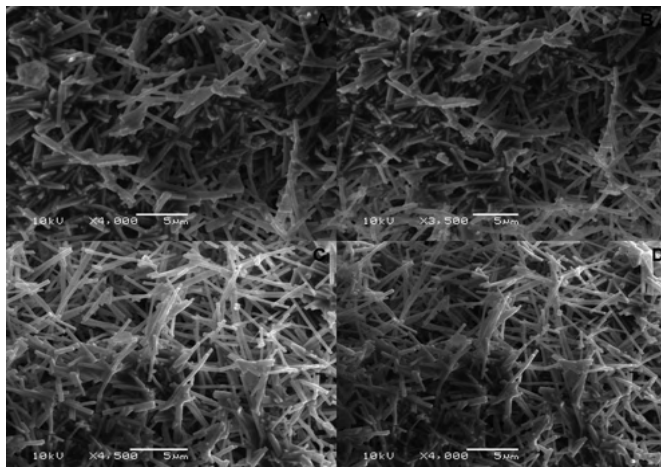


Figura 5: Imagens obtidas por MEV das fibras nanoestruturadas de  $\text{TiO}_2/\text{WO}_3$  tratadas termicamente: (a) 650 °C, (b) 700 °C, (c) 750 °C e (d) 800 °C.

As imagens abaixo foram obtidas por microscopia eletrônica de varredura (MEV), que além de corroborar a morfologia das fibras nanoestruturadas das Figuras 4 e 5 também identificou por espectroscopia de energia dispersiva (EDS), a presença de átomos de W, Ti e O nas amostras, dependendo da composição das fibras nanoestruturadas [9].

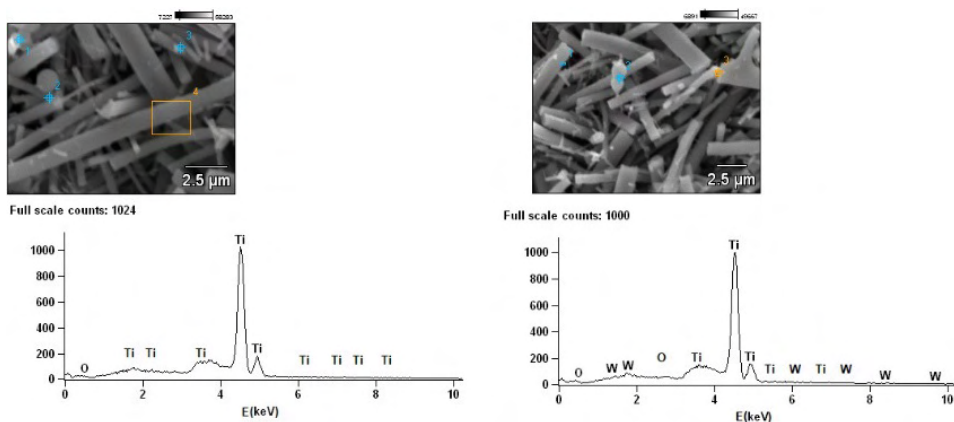


Figura 6. Imagens de microscopia eletrônica de varredura (MEV) das fibras nanoestruturadas de (a)  $\text{TiO}_2$  e de (b)  $\text{TiO}_2/\text{WO}_3$  tratadas a 800 °C.

A Figura 7 são cubetas de polimetilmetacrilato (PMMA) contendo a resposta fotocatalítica das fibras nanoestruturadas de  $\text{TiO}_2/\text{WO}_3$  tratadas termicamente a 800 °C, na degradação de 125 mL de uma solução 20 ppm do corante alaranjado de metila, durante 135 minutos de irradiação UVA. É uma imagem antes das fibras nanoestruturadas serem analisadas por espectrofotometria, mas que já demonstra a efetividade destas amostras

na degradação do corante, visto que em 135 minutos de irradiação de luz, estas amostras conseguiram degradar aproximadamente 100% da coloração alaranjada, deixando-a bem parecida com a água.

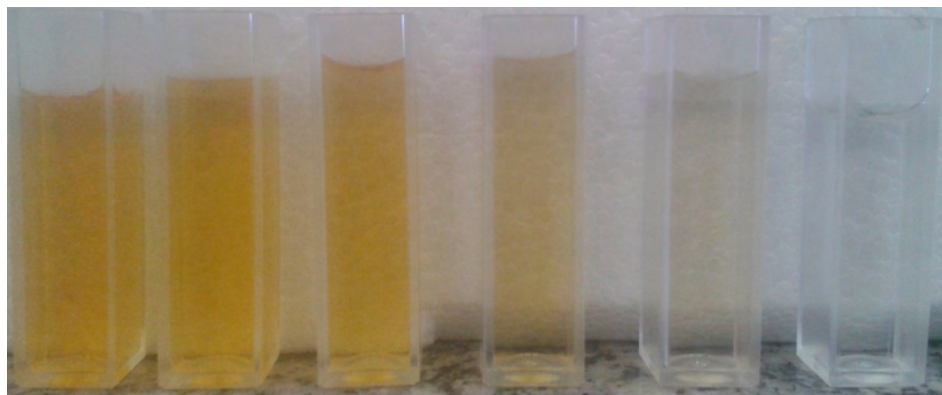


Figura 7. Resultado do ensaio fotocatalítico utilizando fibras nanoestruturadas de  $\text{TiO}_2/\text{WO}_3$  tratadas termicamente a  $800^\circ\text{C}$ .

A Figura 8 apresenta a atividade fotocatalítica do padrão P25 e das fibras nanoestruturadas de  $\text{TiO}_2$  e de  $\text{TiO}_2/\text{WO}_3$  na degradação do corante alaranjado de metila durante 135 minutos de exposição à luz UVA ( $\lambda = 365\text{ nm}$ ).

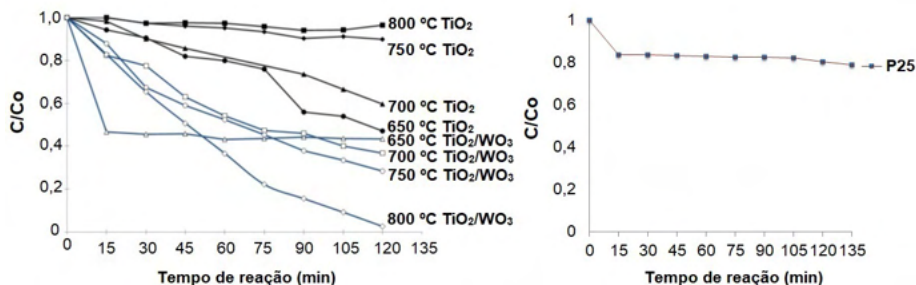


Figura 8. Concentração relativa do corante alaranjado de metila durante o ensaio fotocatalítico.

Observando a Figura 8 percebe-se que ocorre a degradação do corante alaranjado de metila sob a ação do padrão P25 e das fibras de nanoestruturadas de  $\text{TiO}_2$  e de  $\text{TiO}_2/\text{WO}_3$  sintetizadas por *electrospinning*, ou seja, todas as amostras apresentaram atividade fotocatalítica.

A amostra contendo apenas  $\text{TiO}_2$  que mostrou maior eficiência na descoloração do corante alaranjado de metila foram aquelas tratadas à temperatura de  $650^\circ\text{C}$ . Esta amostra degradou aproximadamente 50% do corante em 120 min de irradiação UV.

As fibras nanoestruturadas tratadas a 750 °C e o padrão P25 tiveram um comportamento similar, degradaram aproximadamente 20% do corante em 135 minutos de irradiação UVA. E as fibras nanoestruturadas tratadas a 700 °C e 800 °C, degradaram aproximadamente 30% e 10%, respectivamente, do corante em 135 minutos de irradiação UVA.

Este decréscimo observado na fotoatividade das amostras é o resultado da formação da fase rutilo, que no caso das fibras nanoestruturadas surge a partir de tratamentos acima de 700 °C. A forma rutilo é menos fotoativa do que a forma anatase e, por esta razão o seu aparecimento reduz a atividade fotocatalítica das fibras nanoestruturadas sintetizadas [4].

A presença de tungstênio nas amostras de  $\text{TiO}_2/\text{WO}_3$  aumentou a atividade fotocatalítica das fibras nanoestruturadas tratadas a temperatura de 700 °C, 750 °C e 800 °C, para aproximadamente 60%, 70% e 100% de degradação, respectivamente. Tal efetividade se deve; a redução do *band gap* de 3,05 eV até 2,89 eV (Tabela 1), inibição da recombinação do par elétron/lacuna [(e)/(h<sup>+</sup>)], que permitiu a transferência de cargas entre o  $\text{TiO}_2$  e o  $\text{WO}_3$ , e ao aumento na formação de defeitos pontuais (vacâncias de  $\text{O}_2$ ). A elevação da temperatura de tratamento térmico possibilitou que as vacâncias de  $\text{O}_2$  adquirissem a mobilidade necessária para passar para um estado desordenado na rede, aumentando a capacidade de degradação e a eficiência do processo [10,11,12].

Na Tabela 1 são apresentados os valores de *band gap* do padrão P25 e das fibras nanoestruturadas de  $\text{TiO}_2$  e de  $\text{TiO}_2/\text{WO}_3$  obtidas por *electrospinning*, tratadas termicamente à 650 °C, 700 °C, 750 °C e 800 °C.

Pela Tabela 1 nota-se que em relação ao padrão P25, os valores de *band gap* obtidos para as fibras nanoestruturadas foram menores, o que é um indicativo de que estas amostras possuem potencialidade para atuar como semicondutores nanoestruturados em fotocatalise heterogênea. Pois, a medida que aumentou a temperatura de tratamento aos quais as fibras nanoestruturadas foram submetidas, esta influenciou na redução do valor de *band gap*. Resultado das diferenças existentes entre as estruturas das fases presentes nas fibras nanoestruturadas, da presença de ligações incompletas na superfície destes materiais, que influenciam na redução do *band gap* e favorecem as propriedades ópticas do material e, também dos efeitos de superfície sobre a distribuição de níveis eletrônicos [13,14].

A Tabela 1 também nos mostra que a presença de tungstênio nas fibras nanoestruturadas de  $\text{TiO}_2/\text{WO}_3$  contribuiu para a redução do *band gap* das amostras, pois a sincronidade existentes na posição da banda de condução destes dois tipos de semicondutores, inibiu a recombinação do par elétron/lacuna [(e)/(h<sup>+</sup>)], permitindo a transferência de cargas entre o  $\text{TiO}_2$  e o  $\text{WO}_3$  [10,11,12].

Amostras	Energia (eV)
Fibras nanoestruturadas TiO <sub>2</sub> 650 °C	3,58
Fibras nanoestruturadas TiO <sub>2</sub> 700 °C	3,52
Fibras nanoestruturadas TiO <sub>2</sub> 750 °C	3,46
Fibras nanoestruturadas TiO <sub>2</sub> 800 °C	3,27
Fibras nanoestruturadas TiO <sub>2</sub> /WO <sub>3</sub> 650 °C	3,05
Fibras nanoestruturadas TiO <sub>2</sub> /WO <sub>3</sub> 700 °C	2,95
Fibras nanoestruturadas TiO <sub>2</sub> /WO <sub>3</sub> 750 °C	2,91
Fibras nanoestruturadas TiO <sub>2</sub> /WO <sub>3</sub> 800 °C	2,89
Padrão P25	3,2

Tabela 1. Valores de *band gap* do padrão P25 e das fibras nanoestruturadas de TiO<sub>2</sub> e de TiO<sub>2</sub>/WO<sub>3</sub> tratadas à temperatura de 650, 700, 750 e 800 °C.

## 4 | CONCLUSÕES

Os resultados obtidos com as fibras nanoestruturadas sintetizadas quando da sua utilização em fotocatalise, é devido a sincronicidade existente entre as propriedades químicas e físicas dos óxidos de titânio e tungstênio, pela ocorrência da redução na energia de *band gap*, e pelo aumento na formação de defeitos pontuais (Vacâncias de O<sub>2</sub>) que foram essenciais na fotoatividade de degradação do corante alaranjado de metila. Todas as fibras nanoestruturadas puderam ser utilizadas como fotocatalisadores. Mesmo as fibras nanoestruturadas de TiO<sub>2</sub> tratadas em temperaturas mais elevadas (750 °C e 800 °C) que tiveram baixa fotoatividade, também apresentaram capacidade de degradar o corante alaranjado de metila. A presença de tungstênio aumentou a eficiência fotocatalítica dos materiais, inibiu da recombinação do par elétron/lacuna [(e)/(h<sup>+</sup>)], permitindo a transferência de cargas entre o TiO<sub>2</sub> e o WO<sub>3</sub>. A elevação da temperatura de tratamento térmico possibilitou que as vacâncias de O<sub>2</sub> adquirissem a mobilidade necessária para passar para um estado desordenado na rede, aumentando a capacidade de degradação e absorção de luz.

## AGRADECIMENTOS

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

## REFERÊNCIAS

[1] Quintanilha, R. C.; Rocha, I.; Vichessi, R. B.; Lucht, E.; Naidek, K.; Winnischofer H.; Vidotti, M. Eletrocromismo: fundamentos e a aplicação de nanomateriais no desenvolvimento de eletrodos de alto desempenho. Quim. No., v.37, n.4, p.677-688, 2014.

- [2] Yang, H. *Electrospinning of polymeric and ceramic fibers: understanding of the morphological control and its application*. 2013, 136p. University of Rochester, New York.
- [3] Jian, X. H., Zhou, Y. M., Wu, Y. C., Rang, T. L., He, J. X., Zhou, Y. M., Wu, Y. C., Liu, R. T., Nanofiber coated hybrid yarn fabricated by novel electrospinning-airflow twisting method. *Surface & Coatings Technology*, 2014, v.258, pp.398–404.
- [4] Feltrin, J. Jr., Sartor, De Noni, M. N. A., Bernardin, A. M., Hotza, D., Labrincha, J. A., Superfícies fotocatalíticas de titânia em substratos cerâmicos. Parte I: Síntese, estrutura e fotoatividade, *Cerâmica*, 2013, v.59, pp.620-632.
- [5] Rahimi, N., Pax, R. A., Mac, E. G., Review of functional titanium oxides. I: TiO<sub>2</sub> and its modifications, *Progress in Solid State Chemistry*, 2016, v.44, pp. 86-105.
- [6] Nguyen, T., Jun, T., Rashid, M., Kim, Y. S. Synthesis of mesoporous tungsten oxide nanofibers using the *electrospinning* method. *Materials Letters*, 2011, v.65, pp.2823–2825.
- [7] Shim, H. K., Jeong W., Sung, Y., Kim, W. B., Electrochromic properties of tungsten oxide nanowires fabricated by *electrospinning* method. *Solar Energy Mat. & Sol. Cel.*, 2009, v.93, pp.2062–2068.
- [8] Cai, G.F. D., Zhou, Q.Q., Xiong, Zhang, J.H., Wang, X. L., Gu, C. D., GU, J. P. T., Efficient electrochromic materials based onTiO<sub>2</sub>@WO<sub>3</sub> core/shell nanorod arrays, *Solar Energy Mat. & Sol. Cel.*, 2013, v.117, pp.231–238.
- [9] Soares, L., Alves A., Photocatalytic properties of TiO<sub>2</sub> and TiO<sub>2</sub>/WO<sub>3</sub> films applied as semiconductors in heterogeneous photocatalysis, *Materials Letters*, 2018, v.211, pp.339–342.
- [10] Muccillo, E. N. S., Condutores de íons oxigênio - uma breve revisão, *Cerâmica*, 2008, v.54, pp.129-144.
- [11] Bharti, B., Kumar, S., Lee, H. N., Rajesh, K., Formation of oxygen vacancies and Ti<sup>3+</sup> state in TiO<sub>2</sub> thin film and enhanced optical properties by air plasma treatment, *Scientific Reports*, 2016, pp.1-12.
- [12] Oliveira, H. G., Eletrodos porosos contendo TiO<sub>2</sub> e WO<sub>3</sub>: propriedades eletroquímicas e atividade fotocatalítica para remoção do corante rodamina 6G e do hormônio 17 α-etinilestradiol em solução aquosa. 2012. 188p. Doutorado. (Tese de doutorado em Ciências) Instituto de Química da Universidade Estadual de Campinas SP/Campinas.
- [13] Almeida, W. M., Síntese e avaliação da atividade fotocatalítica do Ag<sub>2</sub>O/TiO<sub>2</sub> na degradação de corante. 2012. 78p. Dissertação (Mestrado – Ciência e Tecnologia Ambiental) - Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental do Centro de Ciência e Tecnologia da UEPB/Paraíba.
- [14] Tian, J., Chen, L., Yin, Y., Wang, X., Dai, J., Zhu, Z., Liu, X., Wu, P., Photocatalyst of TiO<sub>2</sub>/ZnO nano composite film: preparation, characterization, and photodegradation activity of methyl orange, *Surface & Coatings Technology*, 2009, v.204, pp.205–214.

## ÍNDICE REMISSIVO

### A

Absorção 73, 75, 76, 83, 92

Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) 23

Alaranjado de metila 64, 65, 67, 70, 71, 73, 75, 77, 78, 79, 80, 83, 94, 96, 98, 99, 100

Aminas quirais 53, 63

Antioxidantes 12, 14, 15, 20, 25

Atividade fitoquímica 13

Azul de metileno 94, 96, 98, 100

### B

Bambu 85, 86, 87, 89, 90, 91, 92

Band gap 65, 67, 72, 73, 77, 80, 83, 95

Bioativos 12, 14, 15, 20

Biodegradável 85, 87, 92

Biodiesel 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 62

### C

Carboximetilcelulose (CMC) 85

Catalisador 24, 27, 35, 36, 39, 42, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 63, 64, 68, 95

Catálise homogênea 36

Combustível 23, 24, 25, 28, 29, 30, 31, 32, 33

Conhecimento químico 1, 10

Corante 64, 65, 67, 68, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 77, 78, 79, 80, 83, 84, 97, 98, 99, 100

### D

Densidade 14, 23, 25, 26, 27, 28, 30, 31, 33

Dióxido de Titânio (TiO<sub>2</sub>) 64

Dolomita 53, 56, 57, 61, 63

### E

Electrospinning 64, 65, 66, 68, 71, 72, 74, 75, 77, 78, 82

Ensino aprendizagem 1

Ensino de química 1

Entropia 45

Estágio supervisionado 1, 2, 6, 11

## F

Fenólicos 12, 13, 14, 15, 16, 18, 19, 20  
Fibras de carbono 45  
Filmes finos 85, 87, 89, 90, 91, 92  
Formação de professores 1, 4  
Fotoatividade 65, 72, 73, 74, 75, 80, 83, 84, 100  
Fotocatálise heterogênea 64, 65, 72, 95  
Fotodegradação 64, 94, 99, 100  
Fotoestável 94, 98  
Fotorreação 95

## L

Luminescência 76, 77, 80, 81  
Luz 15, 18, 67, 68, 71, 73, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 83, 94, 95, 102, 103

## M

Microestruturas 45  
Microscopia Eletrônica de Transmissão (MET) 53, 57  
Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) 64, 69, 70, 75, 79, 92

## N

Nanocompósitos 85, 86, 87, 89, 91  
Nanomateriais 64, 65, 73, 85, 86, 92  
Nanotecnologia 65

## O

Óleo diesel 23, 24, 25  
Óleo vegetal 33, 35, 36, 39, 43  
Ouricuri 23, 24, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34  
Óxido de ferro 85, 86, 87, 89, 90, 91, 92

## P

Paládio 53, 55, 56, 61, 63  
Piche mesofásico 45  
Polietilenoglicol (PEG) 85  
Polímeros 85  
Poluição ambiental 95

Propriedades ópticas 64, 72, 75

Propriedades terapêuticas 12, 20

## **R**

Radiação eletromagnética 76

Reflectância 76

Remediação 95, 97, 98, 99, 117

Resolução cinética dinâmica (RCD) 53, 54

Rodamina B 98, 99

## **S**

Semicondutor 95

## **T**

Teoria mesoscópica 45

Termodinâmica 45

Transesterificação 24, 27, 35, 36, 37, 38, 39, 42, 43, 44

Transmissão 53, 57, 76

Tungstênio 64, 72, 73, 75, 80, 83

## **V**

Viscosidade 23, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 33



O papel fundamental da

# QUÍMICA entre as CIÊNCIAS NATURAIS 2

🌐 [www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)

✉ [contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)

📷 @atenaeditora

📘 [www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)



O papel fundamental da

# QUÍMICA entre as CIÊNCIAS NATURAIS 2

🌐 [www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)

✉ [contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)

📷 @atenaeditora

📘 [www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)

