



# MEIO AMBIENTE, SUSTENTABILIDADE E AGROECOLOGIA 4

Tayronne de Almeida Rodrigues  
João Leandro Neto  
Dennyura Oliveira Galvão  
(Organizadores)

 **Atena**  
Editora

Ano 2019

**Tayronne de Almeida Rodrigues**  
**João Leandro Neto**  
**Dennyura Oliveira Galvão**  
(Organizadores)

# **Meio Ambiente, Sustentabilidade e Agroecologia 4**

Atena Editora  
2019

2019 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação e Edição de Arte: Lorena Prestes e Geraldo Alves

Revisão: Os autores

### Conselho Editorial

- Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília  
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa  
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista  
Profª Drª Deusilene Souza Vieira Dall’Acqua – Universidade Federal de Rondônia  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice  
Profª Drª Juliane Sant’Ana Bento – Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense  
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista  
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

#### Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)

M514 Meio ambiente, sustentabilidade e agroecologia 4 [recurso eletrônico]  
/ Organizadores Tayronne de Almeida Rodrigues, João Leandro Neto, Dennyura Oliveira Galvão. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2019. – (Meio Ambiente, Sustentabilidade e Agroecologia; v. 4)

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-85-7247-330-9

DOI 10.22533/at.ed.309191604

1. Agroecologia – Pesquisa – Brasil. 2. Meio ambiente – Pesquisa – Brasil. 3. Sustentabilidade. I. Rodrigues, Tayronne de Almeida. II. Leandro Neto, João. III. Galvão, Dennyura Oliveira. IV. Série.

CDD 630

**Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422**

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores.

2019

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.

## APRESENTAÇÃO

A obra Meio Ambiente, Sustentabilidade e Agroecologia vem tratar de um conjunto de atitudes, de ideias que são viáveis para a sociedade, em busca da preservação dos recursos naturais.

Em sua origem a espécie humana era nômade, e vivia integrada a natureza, sobreviviam da caça e da colheita. Ao perceber o esgotamento de recursos na região onde habitavam, migravam para outra área, permitindo que houvesse uma reposição natural do que foi destruído. Com a chegada da agricultura o ser humano desenvolveu métodos de irrigação, além da domesticação de animais e também descobriu que a natureza oferecia elementos extraídos e trabalhados que podiam ser transformados em diversos utensílios. As pequenas tribos cresceram, formando cidades, reinos e até mesmo impérios e a intervenção do homem embora pareça benéfica, passou a alterar cada vez mais negativamente o meio ambiente.

No século com XIX as máquinas a vapor movidas a carvão mineral, a Revolução Industrial mudaria para sempre a sociedade humana. A produção em grande volume dos itens de consumo começou a gerar demandas e com isso a extração de recursos naturais foi intensificada. Até a agricultura que antes era destinada a subsistência passou a ter larga escala, com cultivos para a venda em diversos mercados do mundo. Atualmente esse modelo de consumo, produção, extração desenfreada ameaça não apenas a natureza, mas sua própria existência. Percebe-se o esgotamento de recursos essenciais para as diversas atividades humanas e a extinção de animais que antes eram abundantes no planeta. Por estes motivos é necessário que o ser humano adote uma postura mais sustentável.

A ONU desenvolveu o conceito de sustentabilidade como desenvolvimento que responde as necessidades do presente sem comprometer as possibilidades das gerações futuras de satisfazer seus próprios anseios. A sustentabilidade possui quatro vertentes principais: ambiental, econômica, social e cultural, que trata do uso consciente dos recursos naturais, bem como planejamento para sua reposição, bem como no reaproveitamento de matérias primas, no desenvolvimento de métodos mais baratos, na integração de todos os indivíduos na sociedade, proporcionando as condições necessárias para que exerçam sua cidadania e a integração do desenvolvimento tecnológico social, perpetuando dessa maneira as heranças culturais de cada povo. Para que isso ocorra as entidades e governos precisam estar juntos, seja utilizando transportes alternativos, reciclando, incentivando a permacultura, o consumo de alimentos orgânicos ou fomentando o uso de energias renováveis.

No âmbito da Agroecologia apresentam-se conceitos e metodologias para estudar os agroecossistemas, cujo objetivo é permitir a implantação e o desenvolvimento de estilos de agricultura com maior sustentabilidade, como bem tratam os autores desta obra. A agroecologia está preocupada com o equilíbrio da natureza e a produção de alimentos sustentáveis, como também é um organismo vivo com sistemas integrados

entre si: solo, árvores, plantas cultivadas e animais.

Ao publicar esta obra a Atena Editora, mostra seu ato de responsabilidade com o planeta quando incentiva estudos nessa área, com a finalidade das sociedades sustentáveis adotarem a preocupação com o futuro. Tenham uma excelente leitura!

Tayronne de Almeida Rodrigues

João Leandro Neto

Dennyura Oliveira Galvão

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
SYNTHESIS OF TRANSITION METAL NITRIDE AT LOW TEMPERATURE FROM COMPLEXED PRECURSOR	
Rayane Ricardo da Silva Carlson Pereira de Souza André Luís Lopes Moriyama	
<b>DOI 10.22533/at.ed.3091916041</b>	
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>8</b>
TÉCNICAS ASSOCIADAS DE REMEDIAÇÃO DE CONTAMINAÇÃO DA ÁGUA E DO SOLO POR HIDROCARBONETOS: ESTUDO DE CASO EM POSTO DE COMBUSTÍVEL	
José Eduardo Taddei Cardoso Paulo Cesar Lodi Ana Maria Taddei Cardoso de Barros	
<b>DOI 10.22533/at.ed.3091916042</b>	
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>17</b>
TÉCNICAS DE MANEJO PARA RECUPERAÇÃO DE POMAR DE CUPUAÇUZEIRO COM HISTÓRICO DE ALTA INFESTAÇÃO DA DOENÇA VASSOURA-DE-BRUXA	
Hyanameyka Evangelista de Lima Primo Teresinha Silveira Costa Albuquerque Alcides Galvão dos Santos Rosiere Fonteles de Araújo Ezequiel Souza Queiroz Raimundo Silva Araújo	
<b>DOI 10.22533/at.ed.3091916043</b>	
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>26</b>
TELECONEXÕES ENTRE O EL NIÑO OSCILAÇÃO SUL E O MODO ANULAR AUSTRAL EM EVENTOS EXTREMOS DE ONDA NAS REGIÕES OCEÂNICAS SUL E SUDESTE DO BRASIL	
Luthiene Alves Dalanhese Thaís Lobato Sarmento André Luiz Belém	
<b>DOI 10.22533/at.ed.3091916044</b>	
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>38</b>
TOPOSLICER® SOFTWARE FOR BIOINSPIRATION USING DOD INKJET PRINTING: FROM AFM IMAGE OF LEAFS TEMPLATES TO A PVB REPLICA OF NON-WETTING SURFACES	
Rosely Santos de Queiroz Elibe Silva Souza Negreiros Sílvio Barros de Melo Severino Alves Júnior Petrus d'Amorim Santa Cruz Oliveira	
<b>DOI 10.22533/at.ed.3091916045</b>	

**CAPÍTULO 6 ..... 45**

**UTILIZAÇÃO DO SOFTWARE PROSIMPLUS® PARA SIMULAÇÃO DE UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO CONVENCIONAL**

Tatiana da Silva Sant'Ana  
Thaís Cardozo Almeida  
Sávio de Meneses Leite Asevedo  
Isabella Muniz Monteiro Neves  
Elisa Barbosa Marra  
Camilla Rocha de Oliveira Fontoura  
Moisés Teles Madureira  
Cristiane de Souza Siqueira Pereira

**DOI 10.22533/at.ed.3091916046**

**CAPÍTULO 7 ..... 54**

**REMOÇÃO DE CIANOTOXINAS DE ÁGUA DE ABASTECIMENTO PÚBLICO POR ADSORÇÃO EM CARVÃO ATIVADO**

Maria Virgínia da Conceição Albuquerque  
Amanda da Silva Barbosa Cartaxo  
Ana Alice Quintans de Araújo  
Regina Wanessa Geraldo Cavalcanti Lima  
Kely Dayane Silva do Ó  
Wilton Silva Lopes

**DOI 10.22533/at.ed.3091916047**

**CAPÍTULO 8 ..... 65**

**REMOÇÃO DE EFLUENTE AZUL DE METILENO A PARTIR DA INCLUSÃO DO ADSORVENTE FORMADO POR ÓXIDO DE GRAFITE MISTURADO EM AREIA**

Daniel Mantovani  
Aline Takaoka Alves Baptista  
Luís Fernando Cusioli  
Paulo Cardozo Carvalho Araújo  
Renan Araújo De Azevedo

**DOI 10.22533/at.ed.3091916048**

**CAPÍTULO 9 ..... 73**

**REPRODUÇÃO E PREFERÊNCIA DE *Callosobruchus maculatus* (FABRICIUS) (COLEOPTERA: BRUCHIDAE) SUBMETIDOS A EXTRATOS DE *Caesalpinia pyramidalis* Tul**

Delzuite Teles Leite  
Adcleia Pereira Pires  
Fabricio Chagas Sobrinho  
Claudia Oliveira dos Santos  
Edson Braz Santana

**DOI 10.22533/at.ed.3091916049**

**CAPÍTULO 10 ..... 79**

**SOLUÇÃO BIOTECNOLÓGICA APLICADA EM REDE DE TRANSPORTE DE ESGOTO PARA REDUÇÃO DE GÁS ODORÍFICO (H<sub>2</sub>S)**

Abraão Evangelista Sampaio  
Almira dos Santos França Carvalho  
Marylia Albuquerque Braga  
Marcius Guimarães Pinheiro de Lemos

**DOI 10.22533/at.ed.30919160410**

<b>CAPÍTULO 11</b> .....	<b>89</b>
PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE COMPÓSITOS ARGILO-POLIMÉRICOS PARA O REUSO DE ÁGUA	
Roberto Rodrigues Cunha Lima Gabriela Medeiros dos Santos Paulla Beatriz França de Sousa Paulo Douglas Santos de Lima	
<b>DOI 10.22533/at.ed.30919160411</b>	
<b>CAPÍTULO 12</b> .....	<b>101</b>
ANÁLISE DE FALHAS E RISCOS AMBIENTAIS: O USO DA FERRAMENTA FMEA NA IDENTIFICAÇÃO E AVALIAÇÃO DOS ASPECTOS E IMPACTOS AMBIENTAIS NO CAMPUS JOÃO PESSOA DO IFPB	
Jéssica Silva Ramalho Adriano Lucena da Silva Maria Deise da Dores Costa Duarte	
<b>DOI 10.22533/at.ed.30919160412</b>	
<b>CAPÍTULO 13</b> .....	<b>111</b>
ANÁLISE DE EFICIENCIA DE UM COLETOR SOLAR PVT POR SIMULAÇÃO NUMÉRICA COM BASE NO MAPA SOLARIMETRICO DE MINAS GERAIS	
Geisiane Aparecida de Lima Fábio Moreira Teixeira Marcos Vinícius da Silva Rudolf Huebner Lucas Paglioni Pataro Faria	
<b>DOI 10.22533/at.ed.30919160413</b>	
<b>CAPÍTULO 14</b> .....	<b>120</b>
ANÁLISE DE FOURIER PARA IDENTIFICAÇÃO DOS PERÍODOS DOMINANTES INTRADIÁRIOS DO FLUXO DE DIÓXIDO DE CARBONO NA FLORESTA DE TRANSIÇÃO EM SINOP-MT	
Stéfano Teixeira Silva Sergio Roberto de Paulo Adriel Martins Lima Leomir Batista Neres Ricardo Vanjura Ferreira	
<b>DOI 10.22533/at.ed.30919160414</b>	
<b>CAPÍTULO 15</b> .....	<b>134</b>
LEVANTAMENTO DAS ETNOVARIEDADES DE MANDIOCA ( <i>MANIHOT ESCULENTA CRANTZ</i> ) NOS ECOSISTEMAS DE TERRA FIRME NAS COMUNIDADES DO LAGO DO ANTÔNIO, PROJETO DE ASSENTAMENTO AGROEXTRATIVISTA SÃO JOAQUIM –HUMAITÁ/AM	
Erika Micheilla Brasil Aurelio Diaz Sonia Maria Bezerra	
<b>DOI 10.22533/at.ed.30919160415</b>	

**CAPÍTULO 16 ..... 141**

MONITORAMENTO DA CONCENTRAÇÃO DE DIÓXIDO DE NITROGÊNIO NA ATMOSFERA POR AMOSTRAGEM PASSIVA COMO PARTE DA GESTÃO AMBIENTAL EM INSTITUIÇÃO DE ENSINO SUPERIOR

Karina Stella da Silva Ferreira dos Santos  
Aurora Mariana Garcia de Franca Souza

**DOI 10.22533/at.ed.30919160416**

**CAPÍTULO 17 ..... 148**

NANOGERADORES TRIBOELÉTRICOS: NOVOS DISPOSITIVOS PARA ENERGY HARVESTING

Nilsa Toyoko Azana  
Pei Jen Shieh  
Talita Mazon  
Natanael Lopes Dias  
Antônio Carlos Camargo do Amaral

**DOI 10.22533/at.ed.30919160417**

**CAPÍTULO 18 ..... 157**

NANOTUBOS DE TITANATO DE SÓDIO E NANOPARTÍCULAS DE DIÓXIDO DE TITÂNIO: SÍNTESE, CARACTERIZAÇÃO E APLICAÇÃO NA REMEDIAÇÃO DE EFLUENTESCONTENDO O CORANTE RODAMINA B

Francisco Xavier Nobre  
Rosane dos Santos Bindá  
Elton Ribeiro da Silva  
Rodrigo Muniz de Souza  
José Milton Elias de Matos  
Lizandro Manzato  
Yurimiler Leyet Ruiz  
Walter Ricardo Brito  
Paulo Rogério da Costa Couceiro

**DOI 10.22533/at.ed.30919160418**

**CAPÍTULO 19 ..... 175**

CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA E MICROESTRUTURAL EM HIDROXIAPATITA COMERCIAL E SINTETIZADA PELO MÉTODO SOL-GEL UTILIZANDO CASCA DE OVO DE GALINHA COMO PRECURSOR

Marcelo Vitor Ferreira Machado  
José Brant de Campos  
Marilza Sampaio Aguiar  
Vitor Santos Ramos

**DOI 10.22533/at.ed.30919160419**

**CAPÍTULO 20 ..... 184**

BATERIAS LI-O<sub>2</sub> E A INFLUÊNCIA DE ESTRUTURAS CATALÍTICAS AO ELETRODO DE OXIGÊNIO

Gustavo Doubek  
Leticia Frigerio Cremasco  
André Navarro de Miranda  
Lorrane Cristina Cardozo Bonfim Oliveira

**DOI 10.22533/at.ed.30919160420**

<b>CAPÍTULO 21 .....</b>	<b>197</b>
BIOSENSORES À BASE DE ÓXIDOS METÁLICOS TRANSPARENTES: TRANSISTORES DE EFEITO DE CAMPO (FETS) E NANOFIOS	
Cleber Alexandre de Amorim Kate Cristina Blanco Ivani Meneses Costa Adenilson José Chiquito	
<b>DOI 10.22533/at.ed.30919160421</b>	
<b>CAPÍTULO 22 .....</b>	<b>214</b>
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E TÉRMICAS DE BLENDA POLIMÉRICAS DE PHBV COM ELASTÔMEROS	
Fernanda Menezes Thais Ferreira da Silva Fábio Roberto Passador Ana Paula Lemes	
<b>DOI 10.22533/at.ed.3091916042122</b>	
<b>CAPÍTULO 23 .....</b>	<b>227</b>
CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DE FRUTOS DE TAMARILHO EM FUNÇÃO DO ENSACAMENTO	
Fábio Oseias dos Reis Silva José Darlan Ramos Nathalia Vállery Tostes Iago Reinaldo Cometti Alexandre Dias da Silva Letícia Gabriela Ferreira de Almeida Renata Amato Moreira Miriã Cristina Pereira Fagundes Verônica Andrade dos Santos Giovani Maciel Pereira Filho	
<b>DOI 10.22533/at.ed.3091916042123</b>	
<b>CAPÍTULO 24 .....</b>	<b>233</b>
CARACTERIZAÇÃO BIOMÉTRICA E QUALIDADE FISIOLÓGICA EM SEMENTES DE JACARANDÁ-DA-BAHIA ( <i>Dalbergia nigra</i> (VELL.) FR. ALL. EX BENTH.)	
Tatiana Reis dos Santos Bastos Jacqueline Rocha Santos Cleidiane Barbosa dos Santos Jerffson Lucas Santos Otoniel Magalhães Morais	
<b>DOI 10.22533/at.ed.3091916042124</b>	
<b>CAPÍTULO 25 .....</b>	<b>239</b>
ESTUDO COMPARATIVO DE PEROVSKITAS CATALÍTICAS OBTIDAS POR MÉTODOS QUÍMICOS MOLHADOS PARA CONVERSÃO DOS COV'S	
Cássia Carla de Carvalho Anderson Costa Marques Alexandre de Souza Campos Felipe Olobardi Freire Filipe Martel de Magalhães Borges	

Juan Alberto Chavez Ruiz

**DOI 10.22533/at.ed.3091916042125**

**CAPÍTULO 26 ..... 249**

**AVALIAÇÃO DE METAIS EM SEDIMENTOS DA MICRO BACIA TIETÊ BATALHA  
POR MEIO DO SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA (SIG)**

Ana Maria Taddei Cardoso de Barros

Paulo Cesar Lodi

José Eduardo Taddei Cardoso

**DOI 10.22533/at.ed.3091916042126**

**CAPÍTULO 27 ..... 261**

**AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS NA ZONA INDUSTRIAL DO MENDANHA,  
CAMPO GRANDE, RJ**

Ana Cláudia Pimentel de Oliveira

Alessandra Matias Alves

Aron da Silva Gusmão

Devyd de Oliveira da Silva

Tatiane Vieira de Menezes Coelho

**DOI 10.22533/at.ed.3091916042127**

**CAPÍTULO 28 ..... 271**

**AVALIAÇÃO ECOTÓXICOLOGICA DE EFLUENTES NA ZONA INDUSTRIAL DE  
SANTA CRUZ, RJ**

Ana Cláudia Pimentel de Oliveira

Tatiane Vieira de Menezes Coelho

Sirléia Conceição de Medeiros

**DOI 10.22533/at.ed.3091916042128**

**CAPÍTULO 29 ..... 283**

**INFLUENCE OF DIFFERENT PERCENTAGES OF ALUMINA ADDITION IN THE  
HIGH ENERGY BALL MILLING PROCESS OF THE AISI 52100 STEEL**

Bruna Horta Bastos Kuffner

Gilbert Silva

Carlos Alberto Rodrigues

Geovani Rodrigues

**DOI 10.22533/at.ed.3091916042129**

**CAPÍTULO 30 ..... 290**

**ON THE ASSESSMENT OF DYE RETENTION IN QUARTZ-BASED CERAMIC  
POROUS MATERIAL BY OPTICAL FIBER SENSOR**

Marco César Prado Soares

Murilo Ferreira Marques Santos

Egont Alexandre Schenkel

Beatriz Ferreira Mendes

Gabriel Perli

Samuel Fontenelle Ferreira

Eric Fujiwara

Carlos Kenichi Suzuki

**DOI 10.22533/at.ed.3091916042130**

**CAPÍTULO 31 ..... 296**  
**APLICAÇÃO DE ÓXIDOS CONDUTORES TRANSPARENTES PARA DETECÇÃO**  
**DE PRODUTOS ENZIMÁTICOS MICROBIANOS**

Cleber Alexandre de Amorim  
Kate Cristina Blanco

**DOI 10.22533/at.ed.3091916042131**

**SOBRE OS ORGANIZADORES..... 311**

## NANOTUBOS DE TITANATO DE SÓDIO E NANOPARTÍCULAS DE DIÓXIDO DE TITÂNIO: SÍNTESE, CARACTERIZAÇÃO E APLICAÇÃO NA REMEDIAÇÃO DE EFLUENTES CONTENDO O CORANTE RODAMINA B

### **Francisco Xavier Nobre**

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas – IFAM, Campus Coari – CCO, Coari - AM

Departamento de Química, Universidade Federal do Amazonas, Manaus – AM

### **Rosane dos Santos Bindá**

Departamento de Química, Universidade Federal do Amazonas, Manaus – AM

### **Elton Ribeiro da Silva**

Departamento de Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Amazonas, Manaus - AM

### **Rodrigo Muniz de Souza**

Departamento de Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Amazonas, Manaus - AM

### **José Milton Elias de Matos**

Departamento de Química, Universidade Federal do Piauí, Teresina – PI

### **Lizandro Manzato**

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas – IFAM, Campus Manaus Distrito Industrial – CMDI, Manaus - AM

### **Yurimiler Leyet Ruiz**

Departamento de Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Amazonas, Manaus - AM

### **Walter Ricardo Brito**

Departamento de Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Amazonas, Manaus - AM

### **Paulo Rogério da Costa Couceiro**

Departamento de Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Amazonas, Manaus - AM

**RESUMO:** Apresentamos neste estudo a obtenção de nanopartículas de  $\text{TiO}_2$  usando o método sol-gel a  $65^\circ\text{C}$  por 5 h, como também, nanoestruturas de titanato de sódio - NTTiNa ( $\text{Na}_2\text{Ti}_3\text{O}_7$ ) usando a mistura de fases de  $\text{TiO}_2$  em meio alcalino empregando a síntese hidrotérmica a  $150^\circ\text{C}$  por 72 h. Os materiais foram caracterizados por difração de raio X (DRX) e refinamento Rietveld, confirmando a presença das fases anatase ( $\approx 30\%$ ) e bruquita ( $\approx 70\%$ ) para o  $\text{TiO}_2$ , como também, a estrutura tubular para os NTTiNa. Os modos vibracionais das fases anatase, bruquita e dos NTTiNa foram identificados nas espectroscopias de infravermelho e Raman, corroborando aos resultados apresentados por DRX. A caracterização óptica revelou o valor de  $E_{\text{gap}}$  igual a 2,95 eV e 3,09 eV referentes a mistura de fases das nanopartículas de  $\text{TiO}_2$  e NTTiNa, respectivamente. As imagens capturadas por microscopia eletrônica de varredura sob emissão de campo – MEV-FEG ( $\text{TiO}_2$ ) e microscopia eletrônica de transmissão – TEM (NTTiNa), tornou possível visualizar aglomerados de nanopartículas com dimensões menores que 100 nm para o  $\text{TiO}_2$  e nanotubos para os NTTiNa com comprimento e largura média de 100 nm e 5 nm, respectivamente. O estudo fotocatalítico realizado com os materiais obtidos revelou elevada estabilidade para as moléculas do corante Rodamina B - RhB, aos processos

fotoquímicos. Contudo, houve um expressivo acréscimo da taxa de degradação das moléculas do corante RhB, quando na presença dos catalisadores  $\text{TiO}_2$  e NTTiNa. Foi observado a total degradação das moléculas do corante RhB pelas nanopartículas de  $\text{TiO}_2$ , resultando no tempo de meia vida ( $t_{1/2}$ ), constante de velocidade aparente ( $k_{app}$ ) e percentual de degradação de 22,5 min,  $30,8 \times 10^{-3} \text{ min}^{-1}$  e 98,7%, respectivamente.

**PALAVRAS-CHAVE:** Polimorfos, morfologia e oxidação.

**ABSTRACT:** In this paper, we report the obtention of  $\text{TiO}_2$  nanoparticles using the sol-gel method at 65 °C for 5 h, as well as sodium titanate nanostructures - NTTiNa ( $\text{Na}_2\text{Ti}_3\text{O}_7$ ) using the mixture of  $\text{TiO}_2$  phases in alkaline medium using hydrothermal synthesis at 150 °C for 72 h. These materials were characterized by X-ray diffraction (XRD) and Rietveld refinement, confirming the presence of the anatase ( $\approx 30\%$ ) and bruquita ( $\approx 70\%$ ) phases for  $\text{TiO}_2$ . As well as the tubular structure for the NTTiNa. The vibrational modes of the anatase, bruquita and NTTiNa phases were identified in infrared and Raman spectroscopies, corroborating the results presented by XRD. The optical characterization revealed the  $E_{\text{gap}}$  value of 2.95 eV and 3.09 eV for  $\text{TiO}_2$  nanoparticles and NTTiNa, respectively. The images captured by field emission scanning electron microscopy (FE-SEM) and Transmission electronic microscopy TEM (NTTiNa), made it possible to visualize agglomerates of nanoparticles smaller than 100 nm for  $\text{TiO}_2$  and nanotubes for NTTiNa with an average length and width of 100 nm and 5 nm, respectively. The photocatalytic study performed out with the materials revealed high stability for the Rhodamine B - RhB dye molecules, to the photochemical processes. However, there was an expressive increase in the rate of degradation of the RhB dye molecules when in the presence of  $\text{TiO}_2$  and NTTiNa catalysts. The degradation rate of the RhB dye molecules by the  $\text{TiO}_2$  nanoparticles resulted in the half-life ( $t_{1/2}$ ), rate apparent constant ( $k_{app}$ ) and degradation percentage of 22.5 min,  $30.8 \times 10^{-3} \text{ min}^{-1}$  and 98.7%, respectively.

**KEYWORDS:** Polymorphs, morphology, oxidative process.

## 1 | INTRODUÇÃO

A intensa atividade industrial e a frequente produção de resíduos de inúmeras fontes têm contribuído significativamente com o desequilíbrio ecológico, e assim, comprometido os recursos naturais, principalmente os mananciais e cursos hídricos de natureza superficial (SIEVERS *et al.*, 2018) these important ecological features are being altered, degraded and destroyed around the world. Despite a wealth of research on how animals respond to anthropogenic changes to natural wetlands and how they use created wetlands, we lack a broad synthesis of these data. While some altered wetlands may provide vital habitat, others could pose a considerable risk to wildlife. This risk will be heightened if such wetlands are ecological traps – preferred habitats that confer lower fitness than another available habitat. Wetlands functioning as ecological traps could decrease both local and regional population persistence, and

ultimately lead to extinctions. Most studies have examined how animals respond to changes in environmental conditions by measuring responses at the community and population levels, but studying ecological traps requires information on fitness and habitat preferences. Our current lack of knowledge of individual-level responses may therefore limit our capacity to manage wetland ecosystems effectively since ecological traps require different management practices to mitigate potential consequences. We conducted a global meta-analysis to characterise how animals respond to four key drivers of wetland alteration: agriculture, mining, restoration and urbanisation. Our overarching goal was to evaluate the ecological impacts of human alterations to wetland ecosystems, as well as identify current knowledge gaps that limit both the current understanding of these responses and effective wetland management. We extracted 1799 taxon-specific response ratios from 271 studies across 29 countries. Community-(e.g. richness).

A carga de poluentes orgânicos, destacando-se os agrotóxicos, corantes têxteis, fármacos, hormônios e óleos, tem comprometido a qualidade não somente dos reservatórios hídricos, como também, solo, flora e a biodiversidade (LI; ZHANG; WANG, 2018) published by EDP Sciences, 2018. Produced water (PW. Entre estes, os corantes têxteis, compostos utilizados no tingimento de fibras, têm sido frequentemente correlacionados aos efeitos tóxicos, carcinogênicos e bioacumulativos em organismos aquáticos (VIKRANT *et al.*, 2018). Além disso, diminuem a transmitância da luz solar em meio aquoso o que dificulta a produção de fotossíntese, ocasionando a diminuição da taxa de oxigenação do meio (BHATT; RANI, 2013).

Neste contexto, diversas metodologias com princípios físicos, químicos ou combinados, surgiram desde o século passado, com o intuito de remediar os efluentes industriais. Destacam-se o uso da adsorção com carvão ativado (MD. MAHMUDUR RAHMAN & QUAZI HAMIDUL BARI, 2015), eletrocatalise (SALAZAR *et al.*, 2018) e biocatalise (GAO; YANG; WANG, 2018). Contudo, a produção de compostos secundários ou necessidade de diversas etapas ao longo do processo têm posto à prova a eficiência e custos relacionados a estas metodologias.

Paralelo ao desenvolvimento das técnicas abordadas, surgiu os processos oxidativos avançados (G. COVINICH *et al.*, 2014). Estes baseiam-se na geração de radicais hidroxilos ( $\text{HO}\cdot$ ) provenientes da oxidação das moléculas de água ou decomposição do peróxido de hidrogênio ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) em meio aquoso (HANAOR; SORRELL, 2011). Uma vez formado, os radicais hidroxilos possuem elevada instabilidade o que resulta no ataque às cadeias carbônicas dos compostos orgânicos, resultando em compostos incolores, de baixo peso molecular e em geral, não-tóxicos, processo também denominado mineralização (BOPPELLA; BASAK; MANORAMA, 2012; COSTA *et al.*, 2016; FERREIRA *et al.*, 2013).

O emprego de semicondutores inorgânicos nos processos oxidativos têm sido amplamente investigados pela comunidade científica. Principalmente na fotocatalise heterogênea, que emprega a radiação natural (sol) ou artificial (lâmpadas, LED's ou

lasers) na excitação/recombinação de elétrons nos semicondutores, possibilitando assim, a formação do par elétron/buraco (ELSAYED TALAT HELMY; AHMED EL NEMR; MAHMOUD MOUSA; ESAM ARAFA; SHADY ELDAFRAWY, 2018). Este fenômeno torna possível a geração de radicais hidroxilos em meio aquoso, devido a oxidação de moléculas de água adsorvidas na superfície dos catalisadores, ou seja, semicondutores (NOBRE *et al.*, 2018). Dentre os semicondutores existentes na atualidade, ganham destaque os polimorfos do dióxido de titânio –  $\text{TiO}_2$  (BOPPELLA; BASAK; MANORAMA, 2012), óxido de zinco –  $\text{ZnO}$  (ARAÚJO JÚNIOR *et al.*, 2017), molibdato de prata ( $\text{Ag}_2\text{MoO}_4$ ) (SOUSA *et al.*, 2018) e polimorfos do titanato de sódio (COSTA *et al.*, 2016), principalmente quando em escala nanométricas.

Em face ao exposto, o presente estudo buscou investigar as características estruturas, vibracionais, ópticas e morfologias de nanopartículas de  $\text{TiO}_2$  e nanotubos de titanato de sódio (NTTiNa) obtido a partir da síntese hidrotérmica usando nanopartículas de  $\text{TiO}_2$  em meio alcalino. Além disso, investigar as propriedades catalíticas destes, na fotodegradação das moléculas do corante Rodamina B em meio aquoso.

## 2 | MATERIAIS E MÉTODO

### 2.1 Síntese dos nanomateriais

#### 2.1.1 Síntese das nanopartículas de dióxido de titânio - $\text{TiO}_2$

A síntese do  $\text{TiO}_2$  foi realizada seguindo os passos descrito por (NOBRE *et al.*, 2018). Inicialmente preparou-se uma solução na proporção 1/1 (V/V) de isopropóxido de titânio –  $\text{C}_{12}\text{H}_{28}\text{O}_4\text{Ti}$  (Sigma-Aldrich, 99,9%), juntamente com álcool isopropílico –  $(\text{CH}_3)_2\text{CHOH}$  (Sigma-Aldrich, > 99.7%) em um balão volumétrico com capacidade de 50 mL. A solução obtida foi gotejada lentamente em 100 mL de água destilada com  $\text{pH} = 3$ , calibrada com uma solução de ácido clorídrico –  $\text{HCl}$  (Synth, 37%) de concentração  $1 \text{ mol L}^{-1}$ . O sistema foi mantido a temperatura de  $65 \text{ }^\circ\text{C}$  por 5 h, obtendo uma suspensão de cor branca, ao qual foi filtrada, lavada diversas vezes com água destilada e seco em estufa por 24 h a  $100 \text{ }^\circ\text{C}$ . Obtendo portanto, a mistura de fases de  $\text{TiO}_2$ , com característica predominantemente amorfa.

#### 2.1.2 Síntese dos nanotubos de titanato de sódio - NTTiNa

O  $\text{TiO}_2$  obtido no procedimento descrito anteriormente foi utilizado na obtenção dos NTTiNa, modificando-se a metodologia descrita por (COSTA *et al.*, 2016). Nesta, 1,5 g de  $\text{TiO}_2$  foram inseridos em um copo teflon (80 mL capacidade) juntamente com 50 mL de solução  $10 \text{ mol L}^{-1}$  de hidróxido de sódio –  $\text{NaOH}$  (Synth, P.A. 100%) permanecendo sob agitação por 30 min. O sistema foi inserido em um sistema autoclave e submetido a síntese hidrotermal a temperatura de  $150 \text{ }^\circ\text{C}$  por 74 h. O material obtido foi lavado

diversas vezes com uma solução de HCl de concentração 1M até obter um pH  $\approx$  7. O precipitado de cor branca foi seco em estufa por 12 h a 100 °C.

## 2.2 Caracterização

O padrão de difração do TiO<sub>2</sub> e NTTiNa foram coletados usando um equipamento da marca Bruker, modelo D2Phaser, operando com um anodo de cobre como fonte de raio X (CuK $\alpha$  = 1.5604 Å) no intervalo 2 $\theta$  entre 5 a 80°, usando velocidade de 2°min<sup>-1</sup>. Os espectros Raman foram obtidos operando um microscópio confocal Raman da marca Bruker, modelo SENTERRA, com linha de laser com comprimento de onda em 532 nm (verde), potência de 0,25 mW e resolução de 4 cm<sup>-1</sup>. O estudo óptico foi conduzido coletando espectros usando a espectroscopia UV-vis sob módulo de reflectância difusa, através de um equipamento da marca Shimadzu, modelo UV 1800, coletando as informações no intervalo de 200 a 900 nm, tendo o sulfato de bário – BaSO<sub>4</sub> como padrão de reflectância. A morfologia das nanopartículas de TiO<sub>2</sub> foi investigada usando um microscópio eletrônico da marca FEI COMPANY, modelo Quanta FEG 250, dispersando inicialmente as amostras em água destilada e depositando a suspensão sobre um substrato de cobre e submetendo-a a secagem por 6 h a 70 °C. Enquanto que a morfologia do NTTiNa foi investigada usando a microscopia eletrônica de transmissão, operando um equipamento da marca JEOL, modelo 1010, e realizando os mesmos procedimento de obtenção das matrizes usado para o TiO<sub>2</sub>.

## 2.3 Ensaio catalíticos

Os ensaios fotocatalíticos realizados com o TiO<sub>2</sub> e NTTiNa foram carreados na descoloração/degradação das moléculas do corante Rodamina B (RhB), sob radiação UV ( $\lambda$  = 253,7 nm) ao longo de 120 min de exposição. Nesta, foi adicionado 10 mg do catalisador (TiO<sub>2</sub> ou NTTiNa) em 50 mL de solução do corante RhB a diferentes concentrações (10, 20 e 30 mgL<sup>-1</sup>) e submetido ao equilíbrio de adsorção por 10 min na ausência de radiação. Posteriormente, a suspensão foi adicionada a um sistema fotocatalítico ao qual é composto por 6 lâmpadas UV com potência individual de 15 W (6 x 15 = 90 W), monitorando o perfil gráfico do espectro do corante RhB, especificamente a absorbância no comprimento de onda 554 nm, característico deste. Alíquotas contendo 5 mL foram coletadas do meio reacional, centrifugadas por 10 min usando 10 x 10<sup>3</sup> rpm e analisadas no intervalo de 200 a 900 por um espectrofotômetro da marca Thermo Scientific, modelo Genesys 10S.

## 3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

A caracterização estrutural por difração de raios X (DRX) e Refinamento estrutural para as nanopartículas de TiO<sub>2</sub> e NTTiNa está apresentado na Figura 1.

O perfil e a intensidade dos picos de difração para o  $\text{TiO}_2$  implicam afirmar que as nanopartículas obtidas são compostas pela mistura dos polimorfos anatase (tetragonal) e bruquita (ortorrômbico), ao qual exibem grupo espacial  $I41/amd$  e  $Pbca$ , respectivamente (WANG *et al.*, 2015). O padrão de difração coletado encontra-se em ótimas concordâncias com as informações cristalográficas disponíveis nos cartões *Inorganic Crystal Structure Database* – ICSD de números 9854 (Fig. 1b) e 36411 (Fig. 1c), referentes aos polimorfos anatase e bruquita, respectivamente (NOBRE *et al.*, 2018).

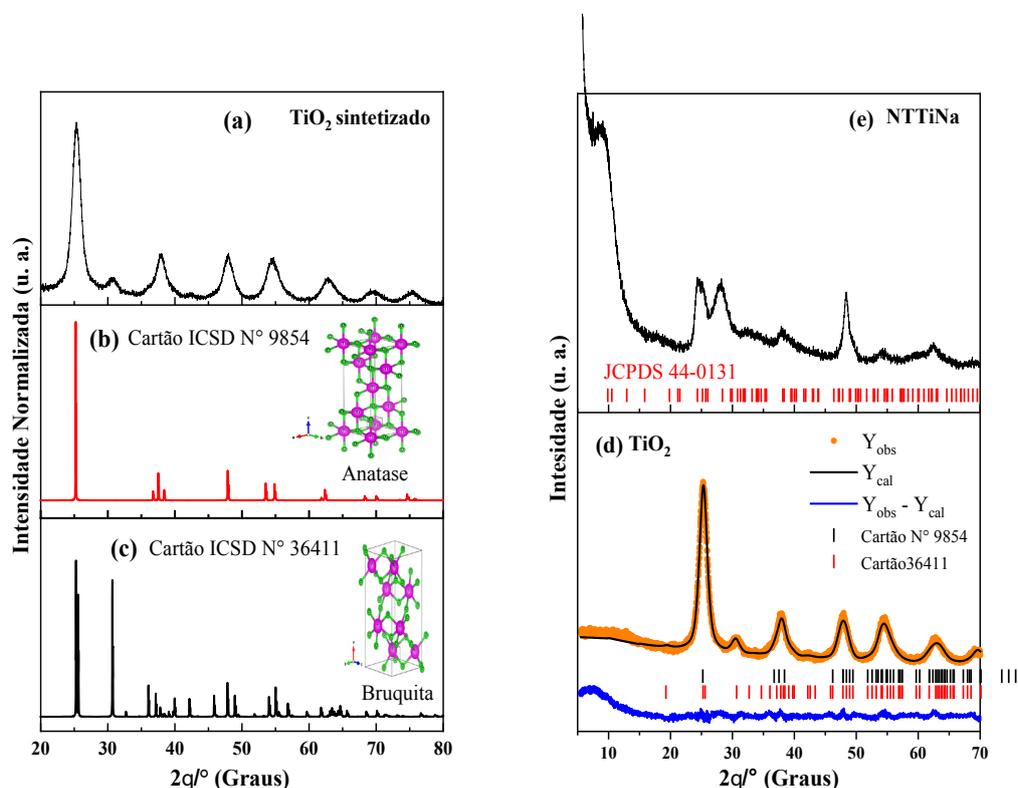


Figura 1: (a) Padrão de difração experimental para as nanopartículas de  $\text{TiO}_2$  obtidas por sol-gel, (b) padrão de difração teórico da anatase e (c) padrão de difração teórico para a bruquita, (d) refinamento estrutural para as nanopartículas de  $\text{TiO}_2$  e (e) padrão de difração para os NTTiNa.

A análise estrutural foi realizada utilizando o método de Rietveld (BAERLOCHER *et al.*, 1995). Neste, foram investigados a fração de cada fase presente na composição das nanopartículas, como também, a concordância do ajuste teórico referente aos parâmetros de rede ( $a$ ,  $b$  e  $c$ ,  $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\gamma$ ), posições atômicas e volume de célula unitária –  $V$  (FAGUNDES *et al.*, 2018). A computação dos dados foi realizada através do software de disponibilidade gratuita Fullprof, versão junho de 2018 (RODRÍGUEZ-CARVAJAL *et al.*, 2014). Adotou-se neste estudo, a função matemática Pseudo-Voigt (NOBRE *et al.*, 2016) no ajuste do perfil e intensidade dos picos de difração experimental, computando as informações cristalográficas dos cartões ICSD de números 9854 (anatase) e 36411 (bruquita) como informações cristalográficas padrão (teórico) (NOBRE *et al.*, 2018; ZHANG *et al.*, 2014). A qualidade do refinamento estrutural foi monitorada pelos valores dos indicadores  $R_{wp}$ ,  $R_p$ ,  $R_{exp}$  e  $\chi^2$ , como também, a concordância das intensidades

experimentais -  $Y_{obs}$ , com a intensidade dos planos de difração teórico -  $Y_{calc}$  e linha residual -  $Y_{obs} - Y_{calc}$  (TOBY, 2006).

Na Figura 1(d) está apresentado graficamente o resultado para o refinamento estrutural realizado com as nanopartículas de  $TiO_2$  sintetizadas pelo método sol-gel a 65 °C. A partir destes, tornou-se possível confirmar a presença da mistura de fases para os polimorfos do  $TiO_2$ , como também, garantir a ótima concordância da informações experimentais e teóricas computadas pelo software utilizado. Além das informações gráficas apresentadas na Figura 1(d), a Tabela 1 sumariza os resultados obtidos para a composição das fases presentes, coordenadas atômicas, parâmetros de rede, dentre outros parâmetros refinados, sendo estes, complementares ao estudo estrutural.

Os valores obtidos para as posições atômicas corroboram aos obtidos pelas literaturas consultadas (BOPPELLA; BASAK; MANORAMA, 2012; WANG *et al.*, 2015; ZHANG *et al.*, 2014), havendo pequenos desvios para as posições dos átomos de oxigênio. Contudo, justificados pela presença de vacâncias de átomos de oxigênios, distorções das ligações Ti-O nos clusters  $[TiO_6]$  e defeitos estruturas inerentes a combinação das fases e processo de síntese empregado (BOPPELLA; BASAK; MANORAMA, 2012; MUTUMA *et al.*, 2015; ZHAO *et al.*, 2009) "id": "ITEM-1", "issued": {"date-parts": ["2012"]}, "page": "1-5", "title": "Supporting Information : A viable method for the synthesis of biphasic TiO 2 nanocrystals with tunable phase composition and enabled visible light photocatalytic performance", "type": "article-journal"}, "uris": ["http://www.mendeley.com/documents/?uuid=c1031ac8-18ed-4bf5-a7d0-46194827d277"]}, {"id": "ITEM-2", "itemData": {"DOI": "10.1039/b909883f", "ISBN": "1359-7345", "ISSN": "1359-7345", "PMID": "20448964", "abstract": "Pure brookite TiO(2. A confiabilidade dos resultados apresentados foi confirmada pelos valores de  $R_{wp}$  (11,9),  $R_p$  (11,0)  $R_{exp}$  (3,45) e  $\chi^2$ (1,69), todos dentro dos limites e desvios toleráveis para um refinamento estrutural de qualidade. Enquanto que a análise da composição das fases presentes resultou na fração majoritária para a bruquita (69,9%) e a anatase compondo a fração percentual de 30,1%.

átomo	Coordenadas atômicas			Parâmetros de rede*			V
	x	y	z	a	b	c	
<u>Anatase</u>							
Ti	0	0	0	3.81704	3.81704	9.47657	138.072
O	0	0	0.21787				
<u>Bruquita</u>							
Ti	0.12374	0.12398	0.83867				
O1	0.08896	0.14009	0.09622	9.12800	5.46128	5.34283	266.343
O2	0.22895	0.12228	0.52020				

Tabela 1: Resultados obtidos para os parâmetros refinados usando o método de Rietveld.

Legenda: V = volume de célula unitária (Å<sup>3</sup>); \* = unidade em Å.

A obtenção dos NTTiNa foi confirmada posterior a análise do gráfico disposto na Figura 1(e). Nesta, encontra-se o padrão de difração para os NTTiNa sintetizados usando o método hidrotérmico a 150 °C por 72 h.

O perfil alargado dos picos obtidos para os NTTiNa é característico para estruturas do tipo tubulares, todos estes, identificados nos valores de  $2\theta = 8,79^\circ, 24,4^\circ, 28,2^\circ, 38,2^\circ, 48,3^\circ, 54,1^\circ$  e  $62,6^\circ$  (COSTA *et al.*, 2016). Todos estes para o NTTiNa são concordantes com os dispostos no cartão JCPDS 44-0131 (HAFEZ *et al.*, 2009), como também, as literaturas consultadas (MUNIYAPPAN *et al.*, 2017; REN *et al.*, 2012), como sendo referente a fase  $\text{Na}_2\text{Ti}_3\text{O}_7$ .

KASUGA *et al.* (1999) reportam em seu estudo a metodologia pioneira na obtenção de nanotubos de titanato de sódio usando uma rota química em meio fortemente básico empregado o processamento hidrotermal. Neste, os autores enfatizam a obtenção de morfologias distintas para os materiais obtidos quando processados sob o efeito de ambientes químicos diferentes.

As propriedades vibracionais exibidas pelas nanopartículas de  $\text{TiO}_2$  e nanotubos de titanato de sódio – NTTiNa foram investigadas utilizando a espectroscopia Raman e no infravermelho, como dispostos os espectros de ambos os materiais na Figura 2(a-d). A teoria de grupos revela que os diferentes polimorfos naturalmente possível para o  $\text{TiO}_2$ , exibem claramente diferentes quantidades e tipos de elementos de simetria para os modos vibracionais ativos na espectroscopia vibracional, resultando portanto, em diferentes fórmulas irredutíveis.

OHSAKA; IZUMI; FUJIKI, (1978) reportam em seu estudo, considerado pioneiro quando a elucidação dos modos vibracionais para a estrutura anatase, os modos vibracionais ativos para um monocristal de anatase. Segundo os mesmos autores, a anatase possui grupo pontual de simetria  $D_{4h}19$  (I4/amd) e exibe 15 modos ativos associado a estrutura tetragonal. Resultando na fórmula irredutível apresentada a seguir (Equação 01):

$$(\text{IR}+\text{Raman}) = 1A_{1g} + 1A_{2u} + 2B_{1g} + 1B_{2u} + 3E_g + 2E_u \quad (01)$$

Pórem, os modos  $A_{2u}$  e  $E_u$  são ativos na espectroscopia infravermelha, havendo a possibilidade de identificação somente dos modos  $A_{1g}$ ,  $B_{1g}$  e  $E_g$ .

A bruquita, diferentemente da fase anatase, exibe estrutura ortorrômbica com grupo espacial e grupo pontual de simetria  $Pbca$ , respectivamente (GUPTA; TRIPATHI, 2011; ZHAO *et al.*, 2009). O estudo realizado por TOMPSETT *et al.* (1995) apresenta as informações vibracionais inerentes a fase bruquita. Os autores apresentam segundo os princípios da teórica de grupos, a fórmula irredutível para os modos ativos possíveis na espectroscopia Raman e Infravermelho. Segundo os mesmos, o polimorfo possui 63 modos vibracionais, como apresentada na Equação 02.

$$9A_{1g} + 9B_{1g} + 9B_{2g} + 9B_{3g} + 9A_{1u} + 8B_{1u} + 8B_{2u} + 8B_{3u} \quad (02)$$

Onde, os modos  $B_{1u}$ ,  $B_{2u}$  e  $B_{3u}$  são possíveis de serem identificados somente na espectroscopia de infravermelho. Enquanto que os modos  $A_{1g}$ ,  $B_{1g}$  e  $B_{2g}$  são ativos somente na espectroscopia Raman. Os nove modos remanescentes  $A_{1u}$  não são

identificados em nenhuma das espectroscopias vibracionais.

Os nanotubos de titanato de sódio com fórmula química  $\text{Na}_2\text{Ti}_3\text{O}_7$ , exibem sistema cristalino monoclinico com grupo espacial  $P2_1/m$ , grupo pontual e duas formulas por célula unitária –  $Z = 8$  (BAMBERGER; BEGUN, 1987). VIANA *et al.* (2011) reportam o estudo vibracional de nanotubos de titanato de sódio ( $\text{Na}_2\text{Ti}_3\text{O}_7$ ), como também, fazem menção a existência de sessenta e nove modos ativos segundo a teórica de grupos, como disposto na Equação 03.

$$24A_g + 11A_u + 12B_g + 22B_u \quad (03)$$

Dentre estes, os modos  $A_g$  e  $B_g$  são ativos somente na espectroscopia de infravermelho, enquanto que todos os demais na espectroscopia Raman.

Em partes da Figura 2(a-d) estão dispostos graficamente os espectros Raman e infravermelho experimental das nanopartículas de  $\text{TiO}_2$  e nanotubos de titanato de sódio.

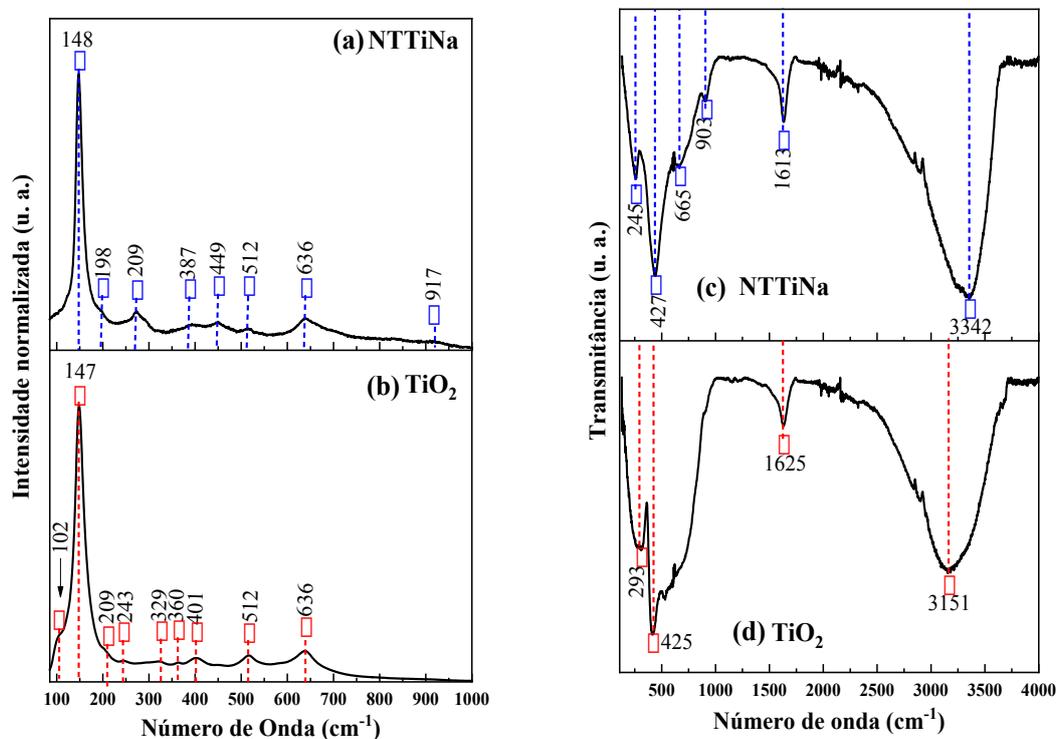


Figura 2: (a) e (b) espectros Raman, (c) e (d) espetros de infravermelho das nas nanopartículas de  $\text{TiO}_2$  e nanotubos de titanato de sódio – NTTiNa.

Todos os números de onda identificados no espectro Raman para as nanopartículas de  $\text{TiO}_2$  são característicos para a fase anatase e bruquita. Os picos em 148  $\text{cm}^{-1}$  ( $E_g$ ), 400  $\text{cm}^{-1}$  ( $E_g$ ), 514  $\text{cm}^{-1}$  ( $E_g$ ) e 626  $\text{cm}^{-1}$  ( $E_g$ ), são todas assinaturas da fase anatase (OHSAKA; IZUMI; FUJIKI, 1978). A fase bruquite foi confirmada ao ser identificado os modos associados aos modos presentes em 209  $\text{cm}^{-1}$ , 247  $\text{cm}^{-1}$  ( $A_{1g}$ ), 329  $\text{cm}^{-1}$  ( $B_{1g}$ ) e 360  $\text{cm}^{-1}$ , 360 ( $B_{2g}$ ) e 636  $\text{cm}^{-1}$  ( $A_{1g}$ ) (BOPPELLA; BASAK; MANORAMA, 2012; TOMPSETT *et al.*, 1995). No espectro Raman do NTTiNa (Fig. 2a) é possível

identificar os modos vibracionais pertinentes a mistura de fases do  $\text{TiO}_2$ , como resquício de fase precursora no processo de síntese, nos números de onda  $148\text{ cm}^{-1}$ ,  $512\text{ cm}^{-1}$  e  $636\text{ cm}^{-1}$  (KASUGA et al., 1999). Enquanto que em  $198\text{ cm}^{-1}$ ,  $209\text{ cm}^{-1}$ ,  $387\text{ cm}^{-1}$ ,  $449\text{ cm}^{-1}$  e  $917\text{ cm}^{-1}$ , são associados as estruturas tubulares de nanotubos de titanato alcalinos (BAMBERGER; BEGUN, 1987; KASUGA et al., 1999; VIANA et al., 2011).

Os espectros de infravermelho obtidos para as nanopartículas de  $\text{TiO}_2$  confirmam a presença dos polimorfos anatase e broquita na composição do material sintetizado, destacando-se os modos ativos em  $293\text{ cm}^{-1}$  e  $425\text{ cm}^{-1}$  associados com os estiramentos das ligações Ti-O presentes nos clusters  $[\text{TiO}_6]$ , como também os modos em  $1625\text{ cm}^{-1}$  característico de vibrações de O-H de moléculas de água adsorvidas e em  $3151\text{ cm}^{-1}$  estiramentos O-H provenientes das ligações Ti-O-H das estruturas cristalinas (EL-SHERBINY *et al.*, 2014). Na Figura 2(c) está apresentado o espectro de infravermelho dos NTTiNa, neste, são identificados picos de estiramento vibracional em  $245\text{ cm}^{-1}$  e atribuído aos estiramentos das ligações Na-Ti-O,  $427\text{ cm}^{-1}$ ,  $665\text{ cm}^{-1}$  e  $903\text{ cm}^{-1}$ , relacionada aos estiramentos das ligações Ti-O terminais dos clusters octaédricos  $[\text{TiO}_6]$ , enquanto que em  $1613\text{ cm}^{-1}$  às vibrações O-H de moléculas de água adsorvida e por fim, estiramentos das ligações O-H terminais em  $3342\text{ cm}^{-1}$  (VIANA *et al.*, 2009, 2011).

A análise morfológica das nanopartículas de  $\text{TiO}_2$  foi realizada utilizando a microscopia eletrônica de varredura sob emissão de campo (MEV-FEG), como apresentada em partes da Figura 3(a-c).

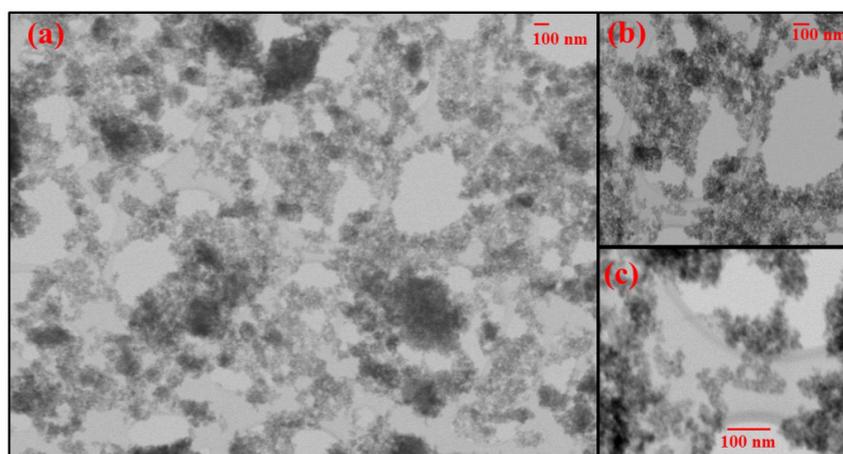


Figura 3: Imagem obtida por MEV em diferentes regiões (a-c) das nanopartículas de  $\text{TiO}_2$ .

Nota-se claramente a que as partículas exibem tamanho em escala nanométrica, inferir a  $50\text{ nm}$ , exibindo padrão aglomerados nanoparticularizados com formato irregular. Estudos já reportados em publicações anteriores mostram que estas nanopartículas possuem tamanho médio próximo de  $11,3\text{ nm}$ , quando sintetizadas a  $65\text{ }^\circ\text{C}$  (NOBRE *et al.*, 2018).

Corroborando as demais caracterizações, a obtenção dos nanotubos de titanato de sódio foi confirmada por microscopia eletrônica de transmissão (TEM), como

mostrado em partes da Figura 4(a-c). As nanoestruturas obtidas exibem comprimento próximo de 100 nm com diâmetro interno de 6,26 nm, com aspecto multilamelar com espessura aproximadamente 0,37 nm.

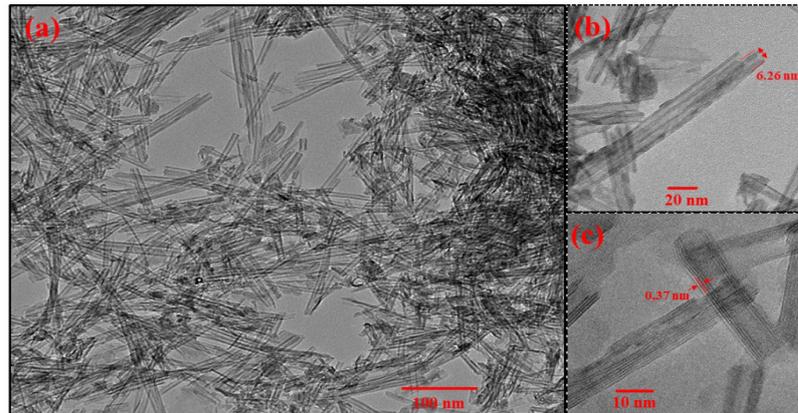


Figura 4: Imagem obtida por TEM sob diferentes magnificações (a), (b) e (c) para os NTTiNa.

Os espectros UV-vis por reflectância difusa experimentalmente coletados para as nanopartículas de  $\text{TiO}_2$  e nanotubos de titanato de sódio estão apresentados em partes da Figura 5(a-d).

O perfil para o espectro das nanopartículas de  $\text{TiO}_2$  (Fig. 5a) é concordante com os reportados pelas literaturas consultadas (NOBRE et al., 2018; REYES-CORONADO et al., 2008). Neste, identificou-se uma região de percentual máximo de reflectância no intervalo de 230 a 380 nm, característico de semicondutores inorgânicos, especificamente os polimorfos do  $\text{TiO}_2$  (BOPPELLA; BASAK; MANORAMA, 2012). Na Figura 5(c) é apresentado o espectro UV-vis por reflectância difusa para os NTTiNa, exibindo uma região de máximo de percentual de reflectância em 400 nm (MIYAUCHI; TOKUDOME, 2006, 2007).

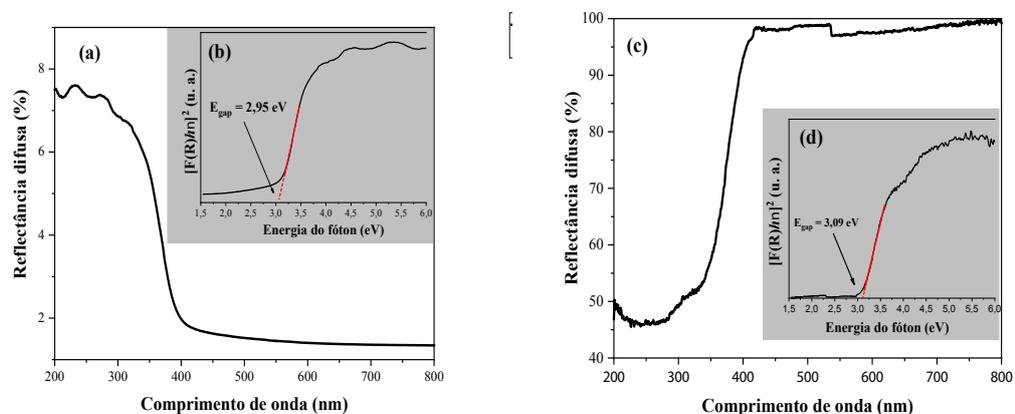


Figura 5: (a) e (c) espectros UV-vis por reflectância difusa e (b) e (d) plot da energia *versus* a função de Kubelka-Munk para obtenção do  $E_{\text{gap}}$ .

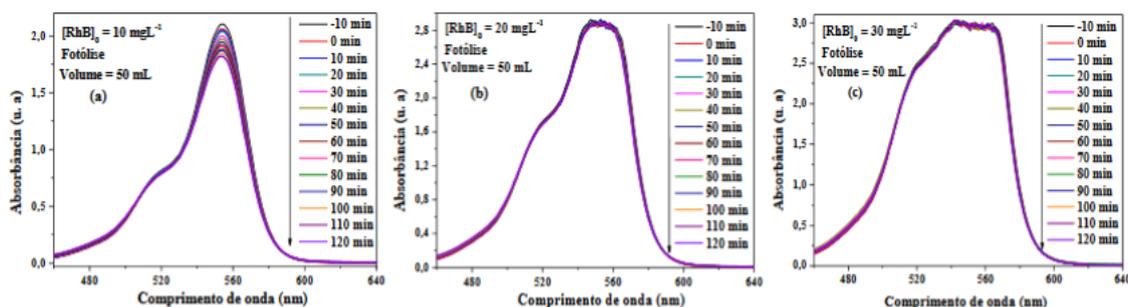
Os espectros UV-vis foram utilizados na obtenção da energia do *band gap* ( $E_{\text{gap}}$ )

óptico, neste estudo utilizou-se o modelo apresentado por Kubelka e Munk (DŽIMBEG-MALČIĆ; BARBARIĆ-MIKOČEVIĆ; ITRIĆ, 2011) isotropic, non-fluorescent, non-glossy and the sample has to be illuminated by diffuse, monochromatic light. Though real paper never completely satisfies all of the assumptions, and sometimes significantly deviates from them, the K-M model has been widely used in paper industry for many years probably due to its explicit form, simple use and its acceptable prediction accuracy. It is used for multiple-scattering calculations in paper, paper coatings, printed paper, deinked paper (recycled paper and hand sheets. Na formalidade matemática adotou-se transições permitidas diretas ( $n = \frac{1}{2}$ ) para a mobilidade dos elétrons presentes na banda de valência (BV) para a banda de condução (BC), após a absorção de fótons.

Os valores de  $E_{\text{gap}}$  foram obtidos extrapolando-se a seção reta da curva paraboloide obtida pelo plot da função de Kubelka-Munk versus energia do fóton (NOBRE *et al.*, 2018). Assim, obteve-se 2,95 eV para a mistura de fases de  $\text{TiO}_2$  (Fig. 3b) e 3,09 eV para os nanotubos de titanato de sódio – NTTiNa, como apresentado na Figura 5(d). Todos estes, determinados para as nanopartículas de  $\text{TiO}_2$  e NTTiNa, são concordantes com os resultados reportados por BOPPELLA; BASAK; MANORAMA, (2012) ao estudar a mistura de fases dos polimorfos do  $\text{TiO}_2$  e estudos apresentados por FERREIRA *et al.* (2013), respectivamente.

Na avaliação da performance fotocatalítica utilizou-se soluções contendo o corante RhB, ao qual possui máximo de absorção no comprimento de onda 554 nm. Em partes da Figura 6(a-i) estão apresentados a evolução do processo fotocatalítico na ausência dos catalisadores, ou seja, fotólise somente (Fig. 6a-c), como também, na presença das nanopartículas de  $\text{TiO}_2$  (Fig. 6d-f) e NTTiNa (Fig. 6g-i).

É claramente perceptível que os espectros para as soluções do corante RhB em diferentes concentrações ( $[\text{RhB}] = 10, 20 \text{ e } 30 \text{ mg L}^{-1}$ ) ao qual foram submetidos a exposição à radiação na ausência dos catalisadores, praticamente não sofreram diminuição do máximo de absorção ao longo de 120 min, implicando afirmar da elevada estabilidade aos processos físicos e químicos de degradação. Contudo, na presença dos catalisadores compostos por nanopartículas de  $\text{TiO}_2$  e NTTiNa, notou-se uma expressiva descoloração/degradação das moléculas do corante ao longo de 120 min de exposição à radiação UV. Além disso, destaca-se a total degradação das moléculas do corante pelas nanopartículas de  $\text{TiO}_2$  na concentração de  $10 \text{ mg L}^{-1}$  (Fig. 6d).



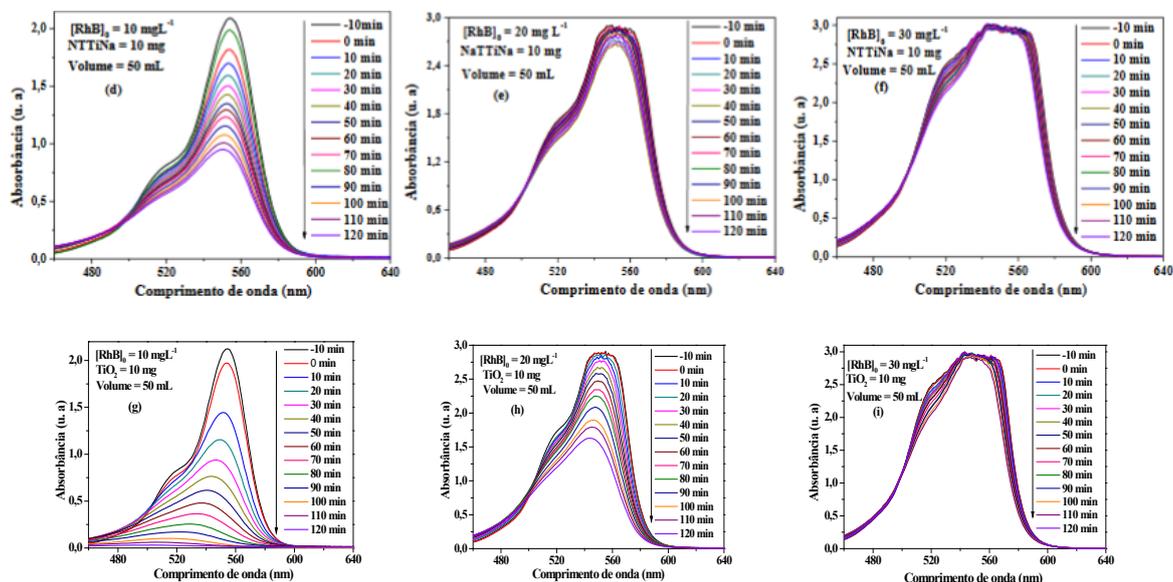


Figura 6: Espectros UV-vis de soluções do corante RhB submetidos a exposição na ausência (a-c) e presença dos catalisadores (d-f) nanopartículas de TiO<sub>2</sub> e (g-i) NTTiNa.

Partindo dos resultados obtidos nos ensaios fotocatalíticos, plotou-se a evolução do perfil catalítico em função do tempo de exposição à radiação UV (Fig. 7a), como também, a degradação percentual (Fig. 7b) para cada ensaio realizado na presença e ausência dos catalisadores TiO<sub>2</sub> e NTTiNa. Os experimentos realizados na ausência dos catalisadores apresentaram descoloração relativa apenas para a concentração de 10 mg L<sup>-1</sup> (14%), para as demais concentrações foi nulo, havendo sobreposição das curvas como visto na Figura 7(a) e ausência de valores no gráfico da Figura 7(b). Entretanto, na presença dos catalisadores, houve a descoloração da solução resultando na sequência decrescente de percentual de catálise em função do acréscimo da concentração da solução utilizada. Dentre todos os resultados obtidos, as nanopartículas de TiO<sub>2</sub> na presença da solução do corante RhB na concentração de 10 mg L<sup>-1</sup> resultou na total descoloração da solução ao longo de 120 min de exposição.

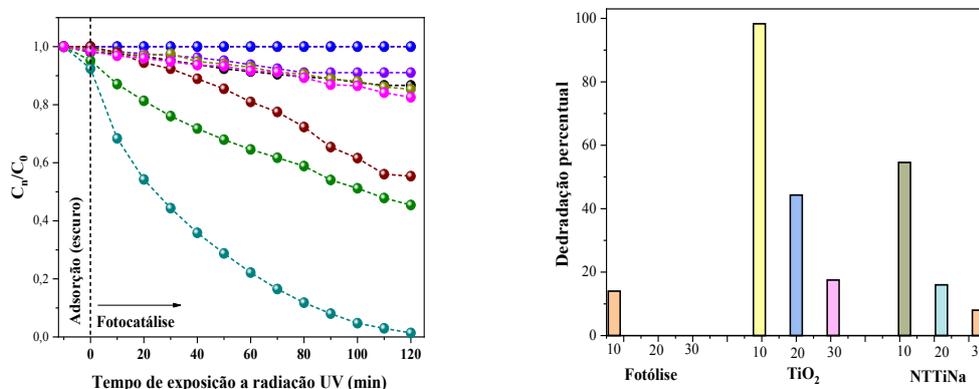


Figura 7: Evolução da catálise (a) em função do tempo e (b) percentual de degradação para cada ensaio realizado.

O estudo cinético associado aos processos envolvidos na descoloração das

soluções do corante RhB foi realizado utilizando o modelo cinético de pseudo primeira-ordem descrito por Langmuir como apresentada na Equação 04 (KHEZRIANJOO; REVANASIDDAPPA, 2012). Neste, a constante de velocidade aparente ( $k_{app}$ ) foi obtida a partir do coeficiente angular da reta que melhor ajusta os pontos para a linearização dos valores de degradação relativa ( $C_n/C_0$ ) versus o tempo de exposição à radiação. Onde  $C_n$  é a concentração em função do tempo e  $C_0$  a concentração inicial.

$$\ln\left(\frac{C_n}{C_0}\right) = -k_{app}t \quad (04)$$

Enquanto que o tempo de meia vida –  $t_{1/2}$  para cada catálise realizadas foi obtido usando a seguinte expressão:  $t_{1/2} = \ln(0,5/k_{app})$ .

Na Tabela 2 encontram-se sumarizados os resultados obtidos para o percentual de descoloração, constante de velocidade aparente e tempo de meia vida para cada um dos ensaios catalíticos realizados na ausência e presença dos catalisadores juntamente com a radiação UV. Os resultados sumarizados na Tabela 2 confirmam a eficiência das nanopartículas de  $TiO_2$  e nanotubos de titanato de sódio na degradação das moléculas do corante RhB, contudo, a melhor performance foi obtida para a catálise na concentração de 10 mg L<sup>-1</sup> utilizando as nanopartículas de  $TiO_2$  e radiação UV.

Ensaio	Degradação (%)	$k_{app} \times 10^{-3}$ (min <sup>-1</sup> )	$t_{1/2}$ (min)	R <sup>2</sup>
Fotólise – 10	14	1,18		0,997
Fotólise – 20	0	-	-	-
Fotólise – 30	0	-	-	-
$TiO_2$ – 10	98,7	30,8	22,5	0,977
$TiO_2$ – 20	44,3	4,9	141,4	0,975
$TiO_2$ – 30	17,6	1,4	495,1	0,989
NTTiNa – 10	54,6	5,9	117,5	0,998
NTTiNa – 20	16	1,3	533,2	0,996
NTTiNa – 30	8	0,2	1.155,2	0,973

Tabela 2: Resultados obtidos para o percentual de degradação, constante de velocidade, tempo de meia vida e desvio (R<sup>2</sup>) para os ensaios realizados com os catalisadores  $TiO_2$ , NTTiNa e fotólise em diferentes concentrações.

Uma vez identificado as nanopartículas de  $TiO_2$  como exibindo maior taxa de descoloração das soluções do corante RhB, realizou-se a fotodegradação de uma solução do corante RhB na concentração de 5 mgL<sup>-1</sup> como mostrado na Figura 8. Nesta, é possível verificar a total descoloração da solução do corante RhB ao longo de 60 min de exposição à radiação UV.

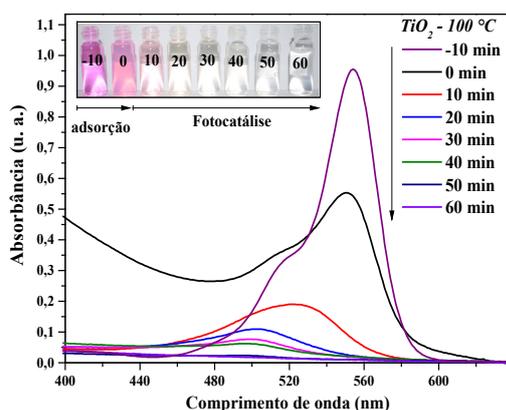


Figura 8: Espectros do corante RhB em solução catalisado por nanopartículas de TiO<sub>2</sub> ao longo de 60 min de exposição.

De modo geral, a expressiva performance catalítica para as nanopartículas se deve entre outros fatores, ao pequeno valor de *bandgap* ( $E_{\text{gap}} = 2,95$ ) para a mistura das fases anatase e bruquita, distorções das ligações Ti-O devido ao método de síntese, vacâncias de átomos de oxigênio e defeitos cristalinos. Implicando, portanto, na maior absorção dos fótons e menor taxa de recombinação dos elétrons. Favorecendo a formação de espécies oxidantes, tais como buracos ( $h^+$ ), radicais superóxidos ( $O_2^{\cdot-}$ ) e radicais hidroxilos ( $HO^{\cdot}$ ), e assim, maior taxa de degradação das moléculas do corante RhB (NOBRE *et al.*, 2018).

#### 4 | CONCLUSÃO

Em resumo, apresentamos a obtenção da mistura de fases para o dióxido de titânio, sendo estas, anatase ( $\approx 30\%$ ) e bruquita ( $\approx 70\%$ ), como também, a síntese de nanotubos de titanato de sódio a partir de nanopartículas compostas pela mistura de fases de TiO<sub>2</sub>. Os aspectos estruturais (DRX e refinamento Rietveld), vibracionais (Raman e infravermelho), ópticos (UV-vis por reflectância difusa) e morfológicos (MEV e TEM) foram investigados, havendo ótima concordância das informações experimentalmente obtidas com as reportadas pelas literaturas consultadas. A performance fotocatalítica dos materiais foi investigada usando a fotocatalise heterogênea, promovendo a degradação de moléculas do corante Rodamina B em meio aquoso sob radiação UV. Por fim, identificou-se a atividade das nanopartículas de TiO<sub>2</sub> e nanotubos de titanato de sódio – NTTiNa, resultando na total degradação das moléculas do corante quando utilizado as nanopartículas de TiO<sub>2</sub> juntamente com a solução do corante RhB na concentração de 10 mgL<sup>-1</sup> ao longo de 120 min de exposição.

## AGRADECIMENTO

Os autores deste trabalho agradecem ao Conselho de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pela bolsa de auxílio a pesquisa. Como também, ao Laboratório de Síntese e Caracterização de Nanomateriais – LSCN do Instituto Federal do Amazonas, Campus Manaus Distrito Industrial.

## REFERÊNCIAS

ARAÚJO JÚNIOR, Edgar Alves *et al.* Synthesis, growth mechanism, optical properties and catalytic activity of ZnO microcrystals obtained via hydrothermal processing. **RSC Adv.** v. 7, n. 39, p. 24263–24281, 2017.

BAERLOCHER, Christian *et al.* The Rietveld Method. p. 1995 , 1995.0198559127.

BAMBERGER, Carlos E.; BEGUN, George M. Sodium Titanates: Stoichiometry and Raman Spectra. **Journal of the American Ceramic Society** v. 70, n. 3, p. C-48-C-51 , 1987.

BHATT, Pooja; RANI, Anita. Textile dyeing and printing industry: An environmental hazard. **Asian Dyer** v. 10, n. 6, p. 51–54, 2013.

BOPPELLA, Ramireddy; BASAK, Pratyay; MANORAMA, Sunkara V. Supporting Information : A viable method for the synthesis of biphasic TiO<sub>2</sub> nanocrystals with tunable phase composition and enabled visible light photocatalytic performance. **Applied Materials and Interfaces** p. 1–5 , 2012.9140271609.

COSTA, L.N. *et al.* **Ion exchange in sodium titanate nanoribbons and its application in dye photodegradation of Remazol blue.** [S.l.: s.n.], 2016. 869 v.

DŽIMBEG-MALČIĆ, Vesna; BARBARIĆ-MIKOČEVIĆ, Željka; ITRIĆ, Katarina. Introduction 2 Kubelka-Munk model Uvod Model Kubelka-Munk KUBELKA-MUNK THEORY IN DESCRIBING OPTICAL PROPERTIES OF PAPER (I). v. 1, n. 1, p. 117–124, 2011.

EL-SHERBINY, Samya *et al.* Synthesis, characterization and application of TiO<sub>2</sub> nanopowders as special paper coating pigment. **Applied Nanoscience** v. 4, n. 3, p. 305–313, 2014.

ELSAYED TALAT HELMY; AHMED EL NEMR; MAHMOUD MOUSA; ESAM ARAFA; SHADY ELDAFRAWY. Photocatalytic degradation of organic dyes pollutants in the industrial textile wastewater by using synthesized TiO<sub>2</sub>, C-doped TiO<sub>2</sub>, S-doped TiO<sub>2</sub> and C,S co-doped TiO<sub>2</sub> nanoparticles. **Journal of Water and Environmental Nanotechnology** v. 3, n. 2, p. 116–127, 2018.

FAGUNDES, N.G. *et al.* Novel and simple way to synthesize Na<sub>2</sub>Ti<sub>6</sub>O<sub>13</sub> nanoparticles by sonochemical method. **Solid State Sciences** , 2018.

FERREIRA, V. C. *et al.* Synthesis and properties of Co-doped titanate nanotubes and their optical sensitization with methylene blue. **Materials Chemistry and Physics** v. 142, n. 1, p. 355–362, 2013.

G. COVINICH, Laura *et al.* Advanced Oxidation Processes for Wastewater Treatment in the Pulp and Paper Industry: A Review. **American Journal of Environmental Engineering** v. 4, n. 3, p. 56–70, 2014.

GAO, Yingying; YANG, Bo; WANG, Qing. Biodegradation and Decolorization of Dye Wastewater: A Review. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science** v. 178, n. 1, p. 0–5, 2018.

GUPTA, Shipra Mital; TRIPATHI, Manoj. A review of TiO<sub>2</sub> nanoparticles. **Chinese Science Bulletin** v.

56, n. 16, p. 1639–1657 , 2011.

HAFEZ, Hoda S. *et al.* Hydrothermal preparation of Gd<sup>3+</sup>-doped titanate nanotubes: Magnetic properties and photovoltaic performance. **International Journal of Photoenergy** v. 2009, 2009.

HANAOR, Dorian A H; SORRELL, Charles C. Review of the anatase to rutile phase transformation. **Journal of Materials Science** v. 46, n. 4, p. 855–874, 2011.

KASUGA, Tomoko *et al.* Titania nanotubes prepared by chemical processing. **Advanced Materials** v. 11, n. 15, p. 1307–1311, 1999.

KHEZRANJOO, S; REVANASIDDAPPA, Hd. Langmuir-Hinshelwood Kinetic Expression for the Photocatalytic Degradation of Metanil Yellow Aqueous Solutions by ZnO Catalyst. **Chemical Sciences Journal** v. 2012, n. 2012, p. 85–85, 2012.

LI, Lingxiao; ZHANG, Junping; WANG, Aiqin. Removal of Organic Pollutants from Water Using Superwetting Materials. **Chemical Record** v. 18, n. 2, p. 118–136, 2018.

MD. MAHMUDUR RAHMAN & QUAZI HAMIDUL BARI. Treatment of Textile Wastewater Using Laboratory Produced Activated Carbon. **International conference** n. August, 2015.

MIYAUCHI, Masahiro; TOKUDOME, Hiromasa. Low-reflective and super-hydrophilic properties of titanate or titania nanotube thin films via layer-by-layer assembly. **Thin Solid Films** v. 515, n. 4, p. 2091–2096, 2006.

MIYAUCHI, Masahiro; TOKUDOME, Hiromasa. Super-hydrophilic and transparent thin films of TiO<sub>2</sub> nanotube arrays by a hydrothermal reaction. **Journal of Materials Chemistry** v. 17, n. 20, p. 2095–2100 , 2007.

MUNIYAPPAN, S. *et al.* Conventional hydrothermal synthesis of titanate nanotubes: Systematic discussions on structural, optical, thermal and morphological properties. **Modern Electronic Materials** v. 3, n. 4, p. 174–178 , 2017.

MUTUMA, Bridget K. *et al.* Sol-gel synthesis of mesoporous anatase-brookite and anatase-brookite-rutile TiO<sub>2</sub> nanoparticles and their photocatalytic properties. **Journal of Colloid and Interface Science** v. 442, p. 1–7 , 2015.

NOBRE, Francisco Xavier *et al.* Facile synthesis of nTiO<sub>2</sub> phase mixture: Characterization and catalytic performance. **Materials Research Bulletin** n. September, p. 1–34 , 2018.

NOBRE, Francisco Xavier *et al.* Síntese, Caracterização e Performance catalítica do WO<sub>3</sub> e Na<sub>2</sub>W<sub>4</sub>O<sub>13</sub> dopados com prata na fotodegradação do corante RBBR em solução aquosa. **Igapó** v. 7, p. 30–41, 2016.

OHSAKA, Toshiaki; IZUMI, Fujio; FUJIKI, Yoshinori. Raman spectrum of anatase, TiO<sub>2</sub>. **Journal of Raman Spectroscopy** v. 7, n. 6, p. 321–324, 1978.

REN, Na *et al.* In situ construction of a titanate-silver nanoparticle-titanate sandwich nanostructure on a metallic titanium surface for bacteriostatic and biocompatible implants. **Journal of Materials Chemistry** v. 22, n. 36, p. 19151–19160, 2012.

REYES-CORONADO, D *et al.* Phase-pure TiO<sub>2</sub> nanoparticles: anatase, brookite and rutile. **Nanotechnology** v. 19, n. 14, p. 145605 , 2008.

RODRÍGUEZ-CARVAJAL, Juan *et al.* Magnetic Structures from Powder and Single Crystal Data. **Institut Laue-Langevin** n. November, 2014.

- SALAZAR, Ricardo *et al.* Electrochemical degradation of industrial textile dye disperse yellow 3: Role of electrocatalytic material and experimental conditions on the catalytic production of oxidants and oxidation pathway. **Chemosphere** v. 198, p. 21–29 , 2018.
- SIEVERS, Michael *et al.* Impacts of human-induced environmental change in wetlands on aquatic animals. **Biological Reviews** v. 93, n. 1, p. 529–554, 2018.
- SOUSA, Silva *et al.* Hydrothermal synthesis , structural characterization and photocatalytic properties of b-Ag<sub>2</sub>MoO<sub>4</sub> microcrystals : Correlation between experimental and theoretical data. **Arabian Journal of Chemistry**, 2018.
- TOBY, Brian H. R factors in Rietveld analysis: How good is good enough? **Powder Diffraction** v. 21, n. 01, p. 67–70, 2006.
- TOMPSETT, G. A. *et al.* The Raman spectrum of brookite, TiO<sub>2</sub> (Pbca, Z = 8). **Journal of Raman Spectroscopy** v. 26, n. 1, p. 57–62 , 1995.
- VIANA, Bartolomeu C. *et al.* Structural, Morphological and Vibrational Properties of Titanate Nanotubes and Nanoribbons. **Journal of the Brazilian Chemical Society** v. 20, n. 1, p. 167–175 , 2009.
- VIANA, Bartolomeu C *et al.* Vibrational Spectroscopy Alkali metal intercalated titanate nanotubes : A vibrational spectroscopy study. **Vibrational Spectroscopy** v. 55, n. 2, p. 183–187 , 2011.
- VIKRANT, Kumar *et al.* Recent advancements in bioremediation of dye: Current status and challenges. **Bioresource Technology** v. 253, p. 355–367, 2018.
- WANG, Yafang *et al.* New insights into fluorinated TiO<sub>2</sub> (brookite, anatase and rutile) nanoparticles as efficient photocatalytic redox catalysts. **RSC Advances** v. 5, n. 43, p. 34302–34313, 2015.
- ZHANG, Jinfeng *et al.* New understanding of the difference of photocatalytic activity among anatase, rutile and brookite TiO<sub>2</sub>. **Phys. Chem. Chem. Phys.** v. 16, n. 38, p. 20382–20386, 2014.
- ZHAO, Bin *et al.* Brookite TiO<sub>2</sub> nanoflowers. **Chemical Communications** n. 34, p. 5115, 2009.

## **SOBRE OS ORGANIZADORES**

**TAYRONNE DE ALMEIDA RODRIGUES:** Filósofo e Pedagogo, especialista em Docência do Ensino Superior e Graduando em Arquitetura e Urbanismo, pela Faculdade de Juazeiro do Norte-FJN, desenvolve pesquisas na área das ciências ambientais, com ênfase na ética e educação ambiental. É defensor do desenvolvimento sustentável, com relevantes conhecimentos no processo de ensino-aprendizagem. Membro efetivo do GRUNEC - Grupo de Valorização Negra do Cariri. E-mail: [tayronnealmeid@gmail.com](mailto:tayronnealmeid@gmail.com). com ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9378-1456>

**JOÃO LEANDRO NETO:** Filósofo, especialista em Docência do Ensino Superior e Gestão Escolar, membro efetivo do GRUNEC. Publica trabalhos em eventos científicos com temas relacionados a pesquisa na construção de uma educação valorizada e coletiva. Dedicar-se a pesquisar sobre métodos e comodidades de relação investigativa entre a educação e o processo do aluno investigador na Filosofia, trazendo discussões neste campo. Também é pesquisador da arte italiana, com ligação na Scuola de Lingua e Cultura – Itália. Amante da poesia nordestina com direcionamento as condições históricas do resgate e do fortalecimento da cultura do Cariri. E-mail: [joaoleandro@gmail.com](mailto:joaoleandro@gmail.com) ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1738-1164>

**DENNYURA OLIVEIRA GALVÃO:** Possui graduação em Nutrição pela Universidade Federal da Paraíba, mestrado pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte e doutorado em Ciências Biológicas (Bioquímica Toxicológica) pela Universidade Federal de Santa Maria (2016). Atualmente é professora titular da Universidade Regional do Cariri. E-mail: [dennyura@bol.com.br](mailto:dennyura@bol.com.br) LATTES: <http://lattes.cnpq.br/4808691086584861>

Agência Brasileira do ISBN  
ISBN 978-85-7247-330-9

