

# Engenharia Sanitária e Ambiental: Tecnologias para a Sustentabilidade 4

Alan Mario Zuffo  
(Organizador)



Alan Mario Zuffo

(Organizador)

# Engenharia Sanitária e Ambiental: Tecnologias para a Sustentabilidade 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 Karine de Lima

**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)

E57 Engenharia sanitária e ambiental [recurso eletrônico]: tecnologias para a sustentabilidade 4 / Organizador Alan Mario Zuffo. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2019. – (Engenharia Sanitária e Ambiental; v. 4)

Formato: PDF  
Requisitos do sistema: Adobe Acrobat Reader.  
Inclui bibliografia  
ISBN 978-85-7247-252-4  
DOI 10.22533/at.ed.524191104

1. Engenharia ambiental. 2. Engenharia sanitária.  
3. Sustentabilidade. I. Zuffo, Alan Mario.

CDD 628

**Elaborado por Maurício Amormino Júnior I 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.

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

## APRESENTAÇÃO

A obra “Engenharia Sanitária e Ambiental Tecnologias para a Sustentabilidade” aborda uma série de livros de publicação da Atena Editora, em seu IV volume, apresenta, em seus 19 capítulos, os conhecimentos tecnológicos da engenharia sanitária e ambiental.

As Ciências estão globalizadas, englobam, atualmente, diversos campos em termos de pesquisas tecnológicas. Com o crescimento populacional e a demanda por alimentos tem contribuído para o aumento da poluição, por meio de problemas como assoreamento, drenagem, erosão e, a contaminação das águas pelos defensivos agrícolas. Tais fatos, podem ser minimizados por meio de estudos e tecnologias que visem acompanhar as alterações do meio ambiente pela ação antrópica. Portanto, para garantir a sustentabilidade do planeta é imprescindível o cuidado com o meio ambiente.

Este volume dedicado à diversas áreas de conhecimento trazem artigos alinhados com a Engenharia Sanitária e Ambiental Tecnologias para a Sustentabilidade. A sustentabilidade do planeta é possível devido o aprimoramento constante, com base em novos conhecimentos científicos.

Aos autores dos diversos capítulos, pela dedicação e esforços sem limites, que viabilizaram esta obra que retrata os recentes avanços científicos e tecnológicos, os agradecimentos do Organizador e da Atena Editora.

Por fim, esperamos que este livro possa colaborar e instigar mais estudantes e pesquisadores na constante busca de novas tecnologias para a Engenharia Sanitária e Ambiental, assim, garantir perspectivas de solução de problemas de poluição dos solos, rios, entre outros e, assim garantir para as atuais e futuras gerações a sustentabilidade.

Alan Mario Zuffo

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
O BANHEIRO SECO COMO MEDIDA MITIGADORA PARA O CONTROLE DE DOENÇAS ASSOCIADAS À FALTA DE SANEAMENTO EM CACHOEIRA DO ARARI, SALVATERRA E SOURE, NA ILHA DO MARAJÓ-PA	
Fernando Felipe Soares Almeida Aline Martinho Trindade Ferreira Evelyn Wagemacher Cunha Gabriel Almeida Silva Larissa Delfino Santana Rocha Loreno da Costa Francez	
<b>DOI 10.22533/at.ed.5241911041</b>	
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>19</b>
PESQUISA DA QUALIDADE HIGIÊNICO-SANITÁRIA DE ÁGUA DE CULTIVOS E PEIXES PROVENIENTES DE 10 PESQUE-PAGUES LOCALIZADOS NO RECÔNCAVO BAIANO	
Adriana Santos Silva Danuza das Virgens Lima Daniela Simões Velame Crisnanda da Silva e Silva Ludmilla Santana Soares e Barros	
<b>DOI 10.22533/at.ed.5241911042</b>	
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>28</b>
PESQUISA PARTICIPATIVA SOBRE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS NO BAIRRO SÁ VIANA, SÃO LUÍS, MA, BRASIL	
Letícia Fernanda Brito Moraes Juliana de Faria Lima Santos	
<b>DOI 10.22533/at.ed.5241911043</b>	
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>37</b>
PROPOSTA DE ALTERNATIVA PARA TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS ORIUNDAS DO RESTAURANTE UNIVERSITÁRIO DO SETOR BÁSICO DA UFPA/BELÉM	
Adenilson Campos Diniz André Luiz da Silva Salgado Coelho Hélio da Silva Almeida Amanda Queiroz Mitozo Yuri Bahia de Vasconcelos Neyson Martins Mendonça	
<b>DOI 10.22533/at.ed.5241911044</b>	
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>51</b>
PROPOSTA PARA O GERENCIAMENTO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS GERADOS NAS ETAPAS DE CORTE E PLAINAGEM DO SETOR MOVELEIRO QUE UTILIZA MDF NO MUNICÍPIO DE MARABÁ – PA	
Elysson Filipe de Sousa Silva Raíza Pereira Bandeira Antônio Pereira Júnior	
<b>DOI 10.22533/at.ed.5241911045</b>	

<b>CAPÍTULO 6</b> .....	<b>77</b>
QUANTIFICAÇÃO DO DESPERDÍCIO DE ÁGUA POTÁVEL NO PROCESSO DE DESTILAÇÃO E ALTERNATIVAS DE REUSO	
Mariane Santana Silva Jaira Michele Santana Silva Micaelle Almeida Santos Joseane Oliveira da Silva	
<b>DOI 10.22533/at.ed.5241911046</b>	
<b>CAPÍTULO 7</b> .....	<b>84</b>
QUANTUM DOTS FROM RENEWABLE PRECURSORS INCORPORATED AT ZINC OXIDE BY SONOCHEMICAL METHOD FOR PHOTOCATALYTIC PROPERTIES	
Mayara Feliciano Gomes Yara Feliciano Gomes André Luis Lopes Moriyama Eduardo Lins de Barros Neto Carlson Pereira de Souza	
<b>DOI 10.22533/at.ed.5241911047</b>	
<b>CAPÍTULO 8</b> .....	<b>100</b>
REGIONALIZAÇÃO DE CURVA DE PERMANÊNCIA DE VAZÃO PARA A SUB- BACIA DO RIO MADEIRA	
Letícia dos Santos Costa	
<b>DOI 10.22533/at.ed.5241911048</b>	
<b>CAPÍTULO 9</b> .....	<b>114</b>
REÚSO DE ÁGUA EM EMPREENDIMENTOS DE LAVAGEM DE VEÍCULOS	
Antonio de Freitas Coelho Ailton Braz da Silva	
<b>DOI 10.22533/at.ed.5241911049</b>	
<b>CAPÍTULO 10</b> .....	<b>126</b>
SANEAMENTO: INTERFERÊNCIA NA SAÚDE PÚBLICA E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO	
Francisco Das Chagas Sa Cabedo Junior; Keven Barbosa da Silva Cunha; Anderson Luiz da Silva Aguiar Francisco Daniel Nunes Araújo	
<b>DOI 10.22533/at.ed.52419110410</b>	
<b>CAPÍTULO 11</b> .....	<b>135</b>
TiO <sub>2</sub> SUPORTADO EM VIDRO COMO FOTOCATALISADOR PARA DEGRADAÇÃO DE LARANJADO DE METILA	
Siara Silvestri Fernanda C. Drumm Patrícia Grassi Jivago S. de Oliveira Edson L. Foletto	
<b>DOI 10.22533/at.ed.52419110411</b>	

<b>CAPÍTULO 12</b> .....	<b>145</b>
USO DA ÁGUA DOS APARELHOS DE AR CONDICIONADO NO CAMPUS PARALELA DO CENTRO UNIVERSITÁRIO JORGE AMADO – UNIJORGE	
Alex dos Santos Queiroz Laís Lage dos Santos José Arthur Matos Carneiro	
<b>DOI 10.22533/at.ed.52419110412</b>	
<b>CAPÍTULO 13</b> .....	<b>151</b>
USO DE RESÍDUOS DA AGROINDÚSTRIA NA REMOÇÃO DO CORANTE VIOLETA	
Jordana Georjin Paola Rosiane Teixeira Hernandes Letícia de Fátima Cabral de Miranda Daniel Allasia Guilherme Luiz Dotto	
<b>DOI 10.22533/at.ed.52419110413</b>	
<b>CAPÍTULO 14</b> .....	<b>158</b>
UTILIZAÇÃO DA ÁGUA DA MÁQUINA DE LAVAR ROUPA PARA IRRIGAÇÃO DE GRAMA	
Lucas Oliveira de Souza Sandra Zago Falone	
<b>DOI 10.22533/at.ed.52419110414</b>	
<b>CAPÍTULO 15</b> .....	<b>169</b>
UTILIZAÇÃO DE POLÍMEROS CATIONICOS ORGÂNICOS NO TRATAMENTO DA ÁGUA: AVALIAÇÃO DO POTENCIAL TANÍFERO DE PLANTAS DO SEMIÁRIDO BAIANO	
Thailany de Almeida Magalhães Aura Lacerda Crepaldi Yuji Nascimento Watanabe Floricea Magalhães Araújo	
<b>DOI 10.22533/at.ed.52419110415</b>	
<b>CAPÍTULO 16</b> .....	<b>179</b>
UTILIZAÇÃO DE UM PROTOCOLO DE AVALIAÇÃO RÁPIDA PARA IDENTIFICAÇÃO DAS CONDIÇÕES AMBIENTAIS PRESENTES EM CINCO PONTOS DO RIO BUCANHA LOCALIZADO NA CIDADE DE TRACUATEUA, NORDESTE PARAENSE	
Renata Conceição Silveira Sousa Sávio Costa de Carvalho Mauro André Damasceno de Melo Cristovam Guerreiro Diniz	
<b>DOI 10.22533/at.ed.52419110416</b>	
<b>CAPÍTULO 17</b> .....	<b>186</b>
UTILIZAÇÃO DO CAROÇO DE AÇAÍ COMO LEITO FILTRANTE NO TRATAMENTO DE ÁGUA DE ABASTECIMENTO E RESIDUÁRIA	
Letícia dos Santos Costa Rui Guilherme Cavaleiro de Macedo Alves	
<b>DOI 10.22533/at.ed.52419110417</b>	
<b>CAPÍTULO 18</b> .....	<b>199</b>
VARIABILIDADE DA INTENSIDADE PLUVIOMÉTRICA DO MUNICÍPIO DE MARABÁ-PARÁ	
Jakeline Oliveira Evangelista Samira Alves Silva	

Phaloma Aparecida  
Tathiane Santos da Silva  
Glauber Epifânio Loureiro

**DOI 10.22533/at.ed.52419110418**

**CAPÍTULO 19 ..... 209**

WETLAND CONSTRUÍDO DE FLUXO SUBSUPERFICIAL NO TRATAMENTO DE RESÍDUOS  
LÍQUIDOS DE BOVINOCULTURA DE LEITE

Kiane Cristina Leal Visconcin

Henrique Moreira Dutra

Liniker Rafael Rodrigues

Edu Max da Silva

**DOI 10.22533/at.ed.52419110419**

**SOBRE O ORGANIZADOR..... 214**

## TiO<sub>2</sub> SUPORTADO EM VIDRO COMO FOTOCATALISADOR PARA DEGRADAÇÃO DE LARANJADO DE METILA

### Siara Silvestri

Programa de Pós-graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria – RS, Brasil

### Fernanda C. Drumm

Programa de Pós-graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria – RS, Brasil

### Patrícia Grassi

Programa de Pós-graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria – RS, Brasil

### Jivago S. de Oliveira

Programa de Pós-graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria – RS, Brasil

### Edson L. Foletto

Programa de Pós-graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria – RS, Brasil

**RESUMO:** No presente estudo o TiO<sub>2</sub> foi fixado em uma placa de Petri (P.TiO<sub>2</sub>), usada como suporte rígido. A deposição na placa foi realizada por fina camada de solução aquosa de TiO<sub>2</sub> seguida de calcinação a 550 °C, temperatura próxima a de fusão do vidro. A P.TiO<sub>2</sub> foi caracterizada por DRX e o *band gap* determinado via espectros de reflectância UV-vis. A P.TiO<sub>2</sub> foi testada quanto à degradação fotocatalítica do corante laranja de metila (LM) sob radiação

solar. Ensaio variando a intensidade da radiação solar mostraram que o TiO<sub>2</sub> suportado é capaz de degradar o corante mesmo em baixa intensidade de radiação solar, além de apresentar similar eficiência de degradação para soluções com diferentes concentrações e volumes. A eficiência fotocatalítica se manteve acima de 90% por 5 ciclos, sem perda de material, indicando que o TiO<sub>2</sub> está bem aderido à superfície vítrea. Contudo, a placa de vidro com TiO<sub>2</sub> suportado tem grande potencial para ser utilizada industrialmente, pois sua produção é rápida, simples e sua atividade fotocatalítica se manteve ótima após os ciclos de reuso, dispensando métodos de separação.

**PALAVRAS-CHAVE:** TiO<sub>2</sub> suportado. Radiação solar. Reuso.

**ABSTRACT:** In the present study TiO<sub>2</sub> was fixed in a Petri dish (P.TiO<sub>2</sub>), used as a rigid support. The deposition on the plate was performed by thin layer of aqueous solution of TiO<sub>2</sub> followed by calcination at 550 °C, near the glass melting temperature. P.TiO<sub>2</sub> was characterized by XRD and the band gap determined by UV-vis reflectance spectra. P.TiO<sub>2</sub> was tested for photocatalytic degradation of methylene orange dye (LM) under solar radiation. Assays varying the intensity of the solar radiation showed that the supported TiO<sub>2</sub> is able to degrade the dye even in low intensity of solar radiation, besides

presenting similar efficiency of degradation for solutions with different concentrations and volumes. The photocatalytic efficiency remained above 90% for 5 cycles, without loss of material, indicating that  $\text{TiO}_2$  is well adhered to the glass surface. However, the glass plate with  $\text{TiO}_2$  supported has great potential to be used industrially, because its production is fast, simple and its photocatalytic activity remained optimum after the reuse cycles, dispensing separation methods.

**KEYWORDS:**  $\text{TiO}_2$  supported. Solar radiation. Reuse.

## 1 | INTRODUÇÃO

O  $\text{TiO}_2$  é largamente conhecido como um ótimo fotocatalisador frente à poluentes ambientais. Sua maior utilização ocorre na forma de pó, pois disperso na solução do poluente é altamente eficaz, devido à maior área superficial específica. Por ser um pó fino, o  $\text{TiO}_2$  dispersa-se com facilidade, dificultando sua recuperação e reuso, por necessitar de técnicas de separação como centrifugação e filtração (BARAN; MAKOWSKI; WARDAS, 2005; STYLIDI; KONDARIDES; VERYKIOS, 2003).

Alguns trabalhos têm utilizado o  $\text{TiO}_2$  suportado em materiais na forma de pó, ou como filme fino em suportes rígidos para a fotocatalise de pesticidas (GUO *et al.*, 2009; PHANIKRISHNA SHARMA; DURGA KUMARI; SUBRAHMANYAM, 2008; UZUNOVA-BUJNOVA *et al.*, 2010), microorganismos (DITTA *et al.*, 2008; SILVESTRI *et al.*, 2016), corantes e medicamentos (BELVER; BEDIA; RODRIGUEZ, 2017; GONZÁLEZ-BAHAMÓN *et al.*, 2011; KIM; KAN, 2016; MASCOLO *et al.*, 2007; SINGH, S.; MAHALINGAM; SINGH, P. K., 2013).

Fernández e colaboradores (FERNÁNDEZ *et al.*, 1995) usaram quartzo e vidro como suporte para o  $\text{TiO}_2$ , através da deposição por eletroforese, para uso como fotocatalisador do ácido málico sob radiação UV artificial.

Usando uma suspensão ácida de  $\text{TiO}_2$  e *dip coating* para imobilizar o fotocatalisador em um substrato de vidro, seguido de calcinação à 500 °C por 2h, Bouarioua e colaboradores testaram o material frente a degradação do corante laranja de metila sob irradiação de uma lâmpada UV. Três camadas de filme ficaram aderidas à superfície do vidro e houve perda de material após ciclos de reutilização (BOUARIOUA; ZERDAOUI, 2017).

Khataee e colaboradores (KHATAEE; PONS; ZAHRAA, 2009) the photocatalytic degradation of three commercial textile dyes (C.I. Acid Orange 10 (AO10) suportaram  $\text{TiO}_2$  em retângulos de vidro usando uma suspensão aquosa seguida de lavagem ácida, calcinação à 475 °C e lavagem básica. A eficiência fotocatalítica foi avaliada para a degradação de três corantes azo sob radiação de uma lâmpada UV, obtendo eficiência de 94 % entre 130 e 210 min.

Utilizando o método de deposição por vapor, alcoxidos de titânio foram suportados em miçangas de vidro, seguidos de lavagens ácidas e básicas e testado na degradação de clorofenol (SERPONE *et al.*, 1986).

Estudos relatam que uma boa adesão do  $\text{TiO}_2$  ao vidro requer tratamento térmico (FERNÁNDEZ *et al.*, 1995). Estes tratamentos térmicos são necessários para uma boa coesão da camada de titânia e boa aderência no suporte. Durante o tratamento térmico a interface não permanece inativa, pois induz a difusão dos íons presentes no vidro (SERPONE *et al.*, 1986).

O diferencial deste trabalho é a fácil, rápida, simples e eficaz fixação do  $\text{TiO}_2$  em um suporte rígido, podendo ser reaproveitado em outros ciclos de fotocatalise, sem perda de material ao longo do uso. Bem como a redução de tempo e materiais para fazer a recuperação, por não necessitar de centrifugação ou filtração. Pesquisas afirmam que o  $\text{TiO}_2$  quando fixado, reduz sua eficiência fotocatalítica, por reduzir sua área superficial exposta (HENDERSON, 2011). Sendo assim, outro diferencial é a alta eficiência do  $\text{TiO}_2$  suportado sob radiação solar. A radiação solar é gratuita, limpa, abundante e intensa, e por abranger amplo espectro é mais eficaz em reações de fotocatalise que lâmpadas comerciais.

## 2 | MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Preparação do $\text{TiO}_2$ suportado

Uma suspensão aquosa (2 mL) de  $\text{TiO}_2$  (Sigma Aldrich) (0,3 g) foi preparada e gotejada sobre uma placa de Petri (PP) ( $\square = 10$  cm). Usando *spin coating* com 300 rpm por 30 segundos, formou-se uma camada fina e homogênea da suspensão sobre o vidro. A amostra foi calcinada a 550 °C por 5h, com taxa de aquecimento de 5 °C por minuto. O tratamento térmico da amostra ( $\text{P.TiO}_2$ ) foi realizado em um ponto próximo ao ponto de fusão do vidro (FERNÁNDEZ *et al.*, 1995) SEM/EDX, XRD and UV-vis absorption spectroscopy. The materials were then tested for the photocatalytic degradation of malic acid. For this reaction, the sample supported on quartz showed the highest catalytic activity. The photocatalytic activity pattern as a function of the nature of the support (fused silica, glass, stainless steel e da transição da fase anatase para rutilo do  $\text{TiO}_2$  (HANAOR; SORRELL, 2011). Após calcinação, a placa foi lavada em água corrente para retirar o excesso de  $\text{TiO}_2$  que não aderiu ao vidro.

A massa de  $\text{TiO}_2$  suportado na placa foi aferida, pesando-se a placa de Petri (PP) antes da aplicação da suspensão e após a remoção do  $\text{TiO}_2$  excedente posteriormente a calcinação.

### 2.2 Caracterização

A  $\text{P.TiO}_2$  foi submetida a análise de difração de raios-X (DRX) (difratômetro Rigaku Miniflex 300), usando radiação Cu-K $\alpha$  a 30 kV e 10 mA, com passos ( $2\theta$ ) de 0,03° e um tempo de contagem de 0,3 s por passo. Os padrões foram registrados dentro do intervalo  $2\theta = 10 - 100^\circ$ . O tamanho médio de cristalito do material foi calculado a partir da equação de Scherrer:  $D = K.\lambda/(\beta.\cos\theta)$ , onde D é o tamanho do cristalito, K é a

constante Sherrer (0,94),  $\lambda$  é o comprimento de onda do raio-X a radiação (1.54056 Å para Cu-K $\alpha$ ),  $\beta$  é a largura do pico a meia altura e,  $\theta$  corresponde à posição do pico (neste estudo,  $2\theta = 25,38^\circ$ ) (PATTERSON, 1939).

O espectrômetro UV-Visível (UV-2600 Plus, Shimadzu) foi utilizado para registrar espectros de reflectância difusa, a fim de determinar a energia do intervalo de banda do material. Para estimar a diferença de banda, utilizou-se a função Kubelka-Munk,  $F(R) = (1-R)^2/2R$ . A energia de intervalo de banda (*band gap*, eV) é definida pela extrapolação da parte ascendente para o eixo x ( $\lambda$ , nm) e calculada por  $E_g = 1240/\lambda$  (NOBBS, 1985).

### 2.3 Atividade fotocatalítica

Soluções de corante laranja de metila (LM) foram preparadas nas concentrações de 10 e 20 ppm. Testes de fotoatividade foram realizados com 10 e 20 mL de solução de corante LM sobre a P.TiO<sub>2</sub>, com área superficial de aproximadamente 314 cm<sup>2</sup>.

O sistema (P.TiO<sub>2</sub> + solução de corante) foi mantido no escuro por 30 min para equilíbrio de adsorção. Após atingido o equilíbrio, o sistema foi exposto à radiação solar nos dias 11, 12 de novembro de 2017 entre às 10:00 e 13:00 e no dia 13 de novembro de 2017, entre às 8:00 e 10:00 h na cidade de Santa Maria – RS (29° 41' 03" S e 53° 48' 25" W).

Os valores da intensidade da radiação solar em cada dia e horário foram obtidos a partir de registros disponíveis no sistema eletrônico do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia). Alíquotas (3 mL) foram retiradas a cada 5 minutos para a medição da absorbância usando um espectrofotômetro (BEL photonics 1105). A eficiência de descoloração ( $\xi$ ) do corante LM foi calculada usando a Eq. 1:

$$\xi (\%) = \frac{A_o - A_f}{A_o} \times 100$$

onde  $A_o$  é a absorbância inicial e  $A_f$  é a absorbância após exposição à radiação, a  $\lambda_{\text{máx}} = 484$  nm. Mediu-se o pH a cada retirada de alíquota.

- Reuso: para testes de reuso, aferiu-se a massa da placa de Petri com o TiO<sub>2</sub> suportado antes de cada ensaio. Ao final de cada ensaio, a P.TiO<sub>2</sub> foi lavada e seca em estufa a 100 °C, antes do início de um novo ciclo de reuso. Foram realizados 5 ciclos.

## 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

O TiO<sub>2</sub> suportado foi identificado como sendo fase anatase (Fig. 1), conforme ficha catalográfica 01-073-1764 da base de dados JCPDS. O vidro da PP usado como suporte mostrou-se amorfo e não apresentou interferência na fase cristalográfica do

TiO<sub>2</sub>.

O tamanho médio de cristalito do material encontrado pela Equação de Debye-Sherrer foi de 19,08 nm.

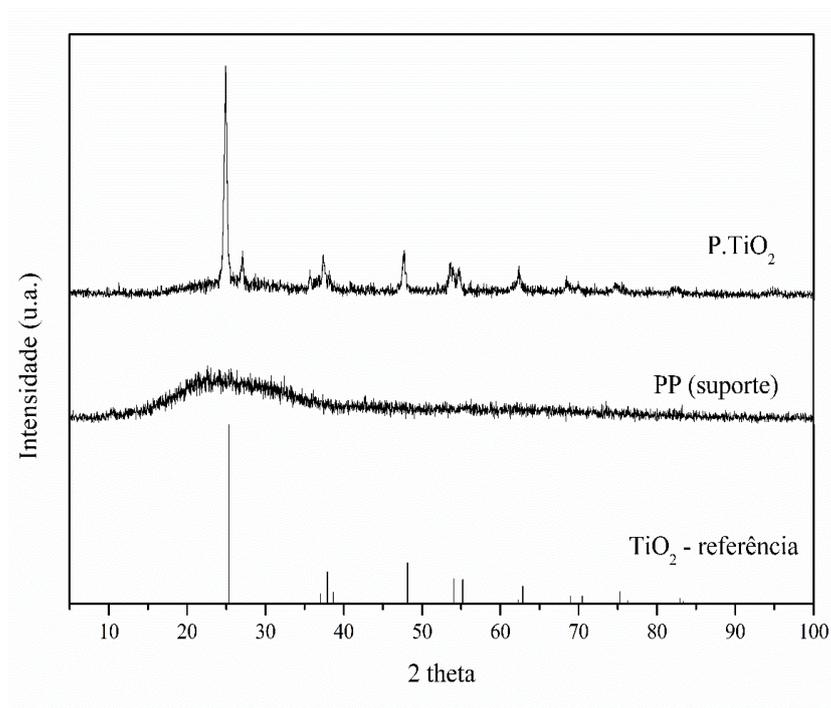


Figura 1: Difratograma da placa de Petri (PP - vidro) e da placa com o TiO<sub>2</sub> suportado (P.TiO<sub>2</sub>.)

De acordo com a função de Kubelka-Munk (Valencia et al., 2010), com base nos espectros de reflectância difusa UV-Vis (Fig. 2), os valores de *band gap* (eV) do vidro e do TiO<sub>2</sub> suportado, foram 3,40 e 4,42 respectivamente. Esses valores indicam que o TiO<sub>2</sub> suportado apresenta o mesmo valor encontrado para o *band gap* do TiO<sub>2</sub> na forma de pó, logo, a fixação do mesmo no vidro não está interferindo na energia necessária para a transição do elétron da banda de valência para a banda de condução.

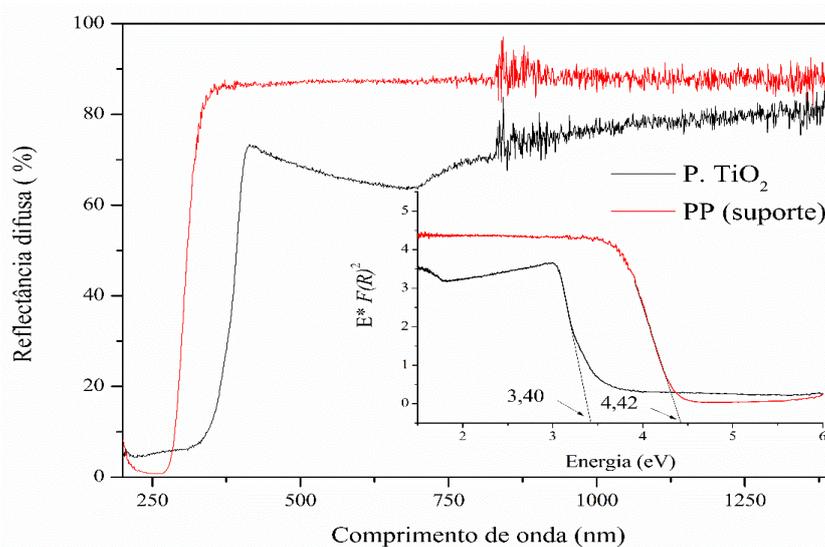


Figura 2: Espectros de reflectância difusa e *band gap* para a placa de Petri (PP-vidro) e para P.TiO<sub>2</sub>.

Após a calcinação da placa, lavou-se para retirar o excesso de  $\text{TiO}_2$  não suportado. A massa de  $\text{TiO}_2$  suportado foi verificada através de pesagem, descontando a massa da placa de Petri. Das 0,03 g de  $\text{TiO}_2$  adicionado via suspensão aquosa, 0,025 g ficaram suportados na superfície vítrea. Após cada ensaio, a placa foi lavada, seca e novamente pesada. Não houve alteração da massa de  $\text{TiO}_2$  suportado, indicando que não houve lixiviação durante o processo de fotocatalise.

De acordo com a Fig. 3, é possível observar que o  $\text{TiO}_2$  possui eficiência de degradação muito próxima para soluções com diferentes volumes e diferentes concentrações do corante LM.

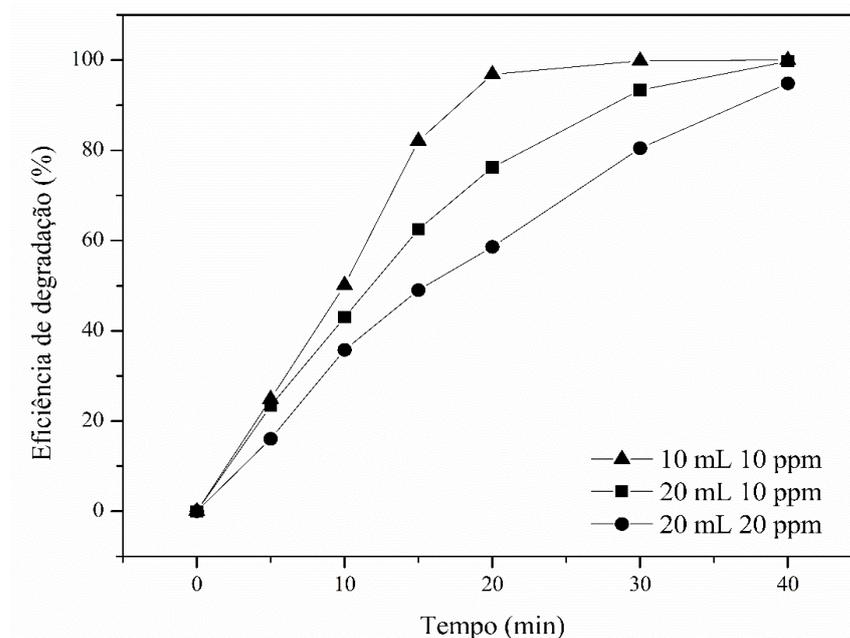


Figura 3: Eficiência de degradação do corante LM com variação da concentração e volume de solução.

Aferiu-se o pH a cada retirada de alíquota e o valor de 6.3 manteve-se o mesmo a cada aferição. Esta informação indica que a solução está em equilíbrio iônico, não interferindo na reação de fotocatalise.

Todos os resíduos aquosos gerados nos experimentos foram descoloridos usando a placa desenvolvida neste trabalho sob a luz solar, até que todas as soluções fossem incolores, evitando assim qualquer descarga de materiais tóxicos.

De acordo com a Fig. 4, quanto mais intensa a radiação solar (Fig. 5), mais rapidamente a  $\text{P.TiO}_2$  descolore a solução de LM. A solução ficou incolor após 40 min de exposição à radiação. O  $\text{TiO}_2$  suportado é capaz de degradar o LM mesmo em horários de baixa intensidade de radiação solar. A descoloração foi completa após 110 min, quando a intensidade de radiação estava entre 510 (8 h – início do ensaio) e 2133  $\text{KJ/m}^2$  (9:50 h – fim do ensaio).

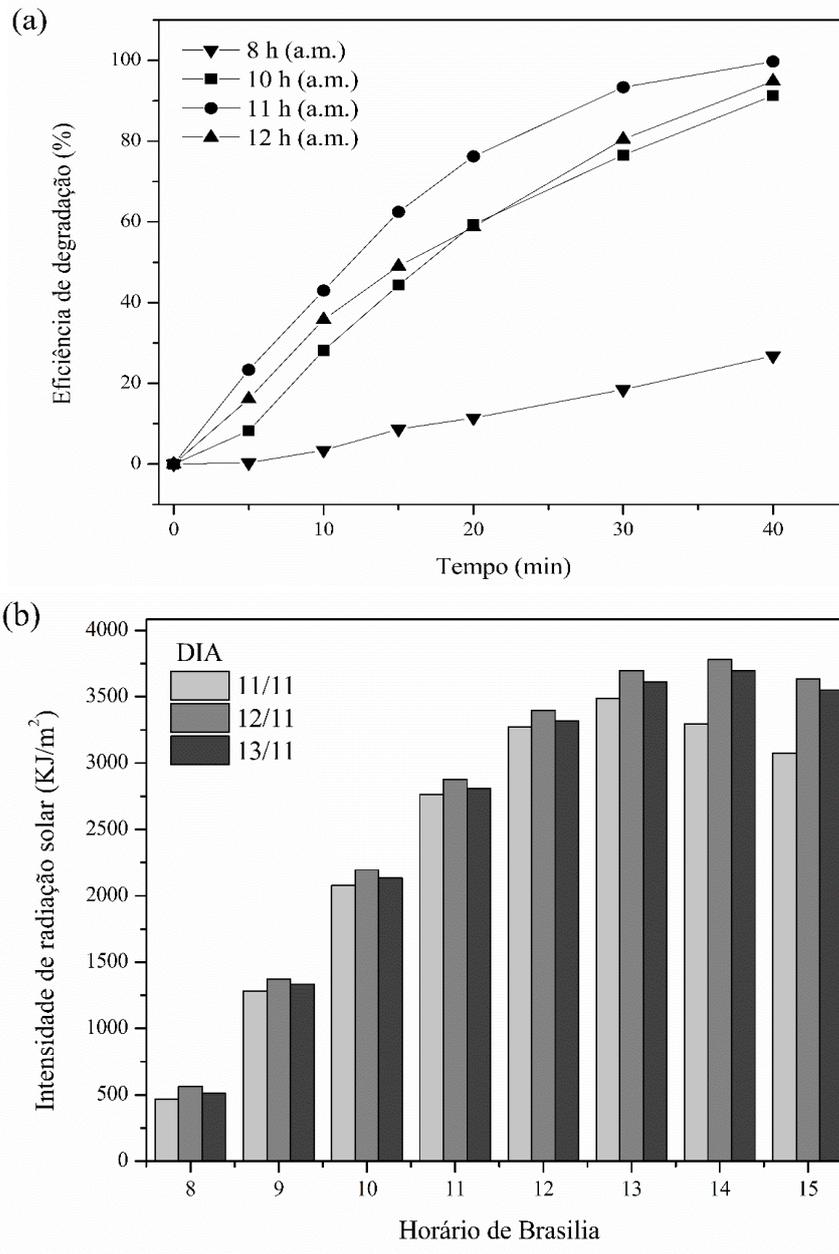


Figura 4: (a) Eficiência de degradação do corante LM com variação do horário de exposição à radiação solar. (b): Intensidade da radiação solar pela variação do horário em 3 dias do mês de Novembro de 2017. Fonte: (b) INMET Nov-2017.

Na Fig. 5 são apresentados os ciclos de reuso da  $P.TiO_2$ . Infelizmente, nem todos os ciclos puderam ser testados sob a mesma radiação solar, pois esta é variável conforme o dia. Porém, mesmo com essa variação na intensidade da radiação solar, a  $P.TiO_2$  mostrou eficiência acima de 90 % ainda no 5º ciclo, com descoloração da solução em 40 min.

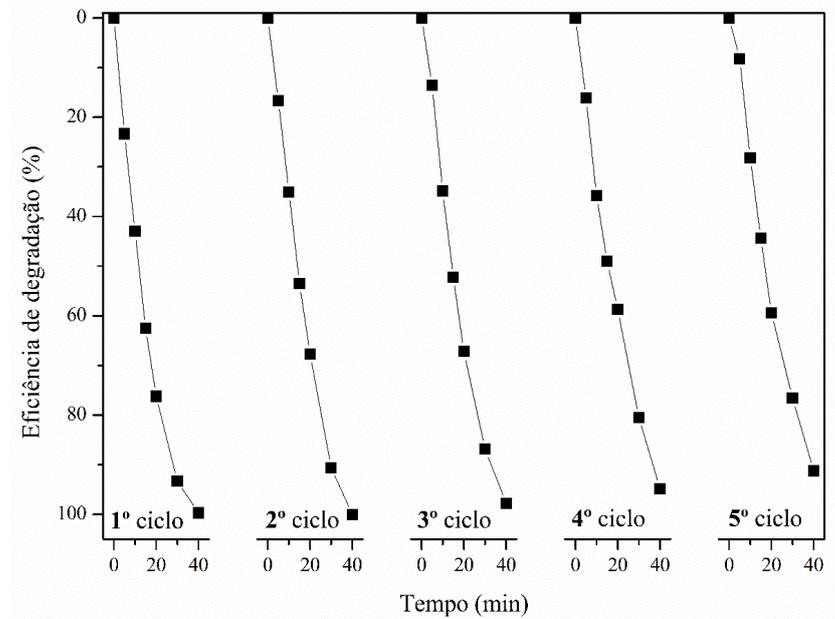


Figura 5: Eficiência de degradação em ciclos de reuso.

## 4 | CONCLUSÃO

TiO<sub>2</sub> foi suportado em placa de Petri via suspensão aquosa seguido de calcinação. A temperatura de calcinação provocou um amolecimento na superfície do vidro da placa de Petri, tornando a adesão do TiO<sub>2</sub> efetiva, pois nenhum desprendimento de titânia foi observado durante os testes fotocatalíticos. Esta é uma característica importante para um potencial uso como catalisador imobilizado em fotorreatores de lote ou fluxo com a vantagem fundamental, do ponto de vista da aplicação, de eliminar a filtração final de partículas finas de TiO<sub>2</sub> em suspensão. Tal filtração geralmente é considerada impossível na engenharia química.

A eficiência fotocatalítica do TiO<sub>2</sub> foi superior em radiação solar mais intensa, ou seja, quando exposta à radiação próxima das 12:00 h (horário de Brasília – BR) e se manteve praticamente constante ao longo dos 5 ciclos de reuso (acima de 90%).

A partir deste estudo, as placas de vidro são um suporte apropriado para uma eficiência catalítica ótima de titânia depositada.

## 5 | AGRADECIMENTOS

Os autores deste trabalho agradecem a CAPES-FAPERGS (Projeto nº 88887.195036/2018-00) pelo suporte financeiro.

## REFERÊNCIAS

BARAN, W.; MAKOWSKI, A.; WARDAS, W. **The separation of catalyst after photocatalytic reactions conducted in the presence of TiO<sub>2</sub>/FeCl<sub>3</sub>/UV**. Chemosphere, 2005. v. 59, n. 6, p. 853–859.

- BELVER, C.; BEDIA, J.; RODRIGUEZ, J. J. **Zr-doped TiO<sub>2</sub> supported on delaminated clay materials for solar photocatalytic treatment of emerging pollutants.** Journal of Hazardous Materials, 2017. v. 322, p. 233–242.
- BOUARIOUA, A.; ZERDAOUI, M. **Photocatalytic activities of TiO<sub>2</sub> layers immobilized on glass substrates by dip-coating technique toward the decolorization of methyl orange as a model organic pollutant.** Journal of Environmental Chemical Engineering, 2017. v. 5, n. 2, p. 1565–1574.
- DITTA, I. B. *et al.* **Photocatalytic antimicrobial activity of thin surface films of TiO<sub>2</sub>, CuO and TiO<sub>2</sub>/CuO dual layers on Escherichia coli and bacteriophage T4.** Applied Microbiology and Biotechnology, 2008. v. 79, n. 1, p. 127–133.
- FERNÁNDEZ, A. *et al.* **Preparation and characterization of TiO<sub>2</sub> photocatalysts supported on various rigid supports (glass, quartz and stainless steel). Comparative studies of photocatalytic activity in water purification.** Applied Catalysis B, Environmental, 1995. v. 7, n. 1–2, p. 49–63.
- GONZÁLEZ-BAHAMÓN, L. F. *et al.* **Photo-Fenton degradation of resorcinol mediated by catalysts based on iron species supported on polymers.** Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry, 2011. v. 217, n. 1, p. 201–206.
- GUO, G. *et al.* **Synthesis and photocatalytic applications of Ag/TiO<sub>2</sub>-nanotubes.** Talanta, 2009. v. 79, n. 3, p. 570–575.
- HANAOR, D. A. H.; SORRELL, C. C. **Review of the anatase to rutile phase transformation.** Journal of Materials Science, 2011. v. 46, p. 855–874.
- HENDERSON, M. A. **A surface science perspective on TiO<sub>2</sub> photocatalysis.** Surface Science Reports, 2011. v. 66, n. 6–7, p. 185–297.
- KHATAEE, A. R.; PONS, M. N.; ZAHRAA, O. **Photocatalytic degradation of three azo dyes using immobilized TiO<sub>2</sub> nanoparticles on glass plates activated by UV light irradiation: Influence of dye molecular structure.** Journal of Hazardous Materials, 2009. v. 168, n. 1, p. 451–457.
- KIM, J. R.; KAN, E. **Heterogeneous photocatalytic degradation of sulfamethoxazole in water using a biochar-supported TiO<sub>2</sub> photocatalyst.** Journal of Environmental Management, 2016. v. 180, p. 94–101.
- MASCOLO, G. *et al.* **Photocatalytic degradation of methyl red by TiO<sub>2</sub>: Comparison of the efficiency of immobilized nanoparticles versus conventional suspended catalyst.** Journal of Hazardous Materials, 2007. v. 142, n. 1–2, p. 130–137.
- NOBBS, J. H. **Kubelka—Munk Theory and the Prediction of Reflectance.** Review of Progress in Coloration and Related Topics, 1985. v. 15, n. 1, p. 66–75.
- PATTERSON, A. L. **The scherrer formula for X-ray particle size determination.** Physical Review, 1939. v. 56, n. 10, p. 978–982.
- PHANIKRISHNA SHARMA, M. V.; DURGA KUMARI, V.; SUBRAHMANYAM, M. **TiO<sub>2</sub> supported over SBA-15: An efficient photocatalyst for the pesticide degradation using solar light.** Chemosphere, 2008. v. 73, n. 9, p. 1562–1569.
- SERPONE, N. *et al.* **Photocatalysis over TiO<sub>2</sub> supported on a glass substrate.** Solar Energy Materials, 1986. v. 14, p. 121–127.
- SILVESTRI, S. *et al.* **Photocatalytic efficiency of TiO<sub>2</sub> biotemplates form in the decoloration of organic dye and inhibition of E.Coli growth.** Journal of Advances in Chemistry, 2016. v. 12, n. 3, p. 4247–4255.

SINGH, S.; MAHALINGAM, H.; SINGH, P. K. **Polymer-supported titanium dioxide photocatalysts for environmental remediation: A review**. Applied Catalysis A: General, 2013. v. 462–463, p. 178–195.

STYLIDI, M.; KONDARIDES, D. I.; VERYKIOS, X. E. **Pathways of solar light-induced photocatalytic degradation of azo dyes in aqueous TiO<sub>2</sub> suspensions**. Applied Catalysis B: Environmental, 2003. v. 40, n. 4, p. 271–286.

UZUNOVA-BUJNOVA, M. *et al.* **Crystal structure, morphology and photocatalytic activity of modified TiO<sub>2</sub> and of spray-deposited TiO<sub>2</sub> films**. Catalysis Today, 2010. v. 151, n. 1–2, p. 14–20.

## **SOBRE O ORGANIZADOR**

**Alan Mario Zuffo** - Engenheiro Agrônomo (Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT/2010), Mestre em Agronomia – Produção Vegetal (Universidade Federal do Piauí – UFPI/2013), Doutor em Agronomia – Produção Vegetal (Universidade Federal de Lavras – UFLA/2016). Atualmente, é professor visitante na Universidade Federal do Mato Grosso do Sul – UFMS no Campus Chapadão do Sul. Tem experiência na área de Agronomia – Agricultura, com ênfase em fisiologia das plantas cultivadas e manejo da fertilidade do solo, atuando principalmente nas culturas de soja, milho, feijão, arroz, milheto, sorgo, plantas de cobertura e integração lavoura pecuária. E-mail para contato: alan\_zuffo@hotmail.com

Agência Brasileira do ISBN  
ISBN 978-85-7247-252-4

