

Estudos Interdisciplinares: Ciências Exatas e da Terra e Engenharias 2

Alexandre Igor Azevedo Pereira
(Organizador)

Alexandre Igor Azevedo Pereira
(Organizador)

**Estudos Interdisciplinares: Ciências
Exatas e da Terra e Engenharias
2**

Atena Editora
2019

2019 by Atena Editora
Copyright © Atena Editora
Copyright do Texto © 2019 Os Autores
Copyright da Edição © 2019 Atena Editora
Editora Executiva: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira
Diagramação: Geraldo Alves
Edição de Arte: Lorena Prestes
Revisão: Os Autores

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

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

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
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
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
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

Ciências Biológicas e da Saúde

Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás
Prof.ª Dr.ª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará

Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Conselho Técnico Científico

Prof. Msc. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo
Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba
Prof. Msc. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Prof.ª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Prof. Msc. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Msc. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará
Prof. Msc. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista
Prof.ª Msc. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia
Prof. Msc. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof.ª Msc. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal
Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)	
E82	Estudos interdisciplinares: ciências exatas e da terra e engenharias 2 [recurso eletrônico] / Organizador Alexandre Igor Azevedo Pereira. – Ponta Grossa, PR: Atena Editora, 2019. – (Estudos Interdisciplinares: Ciências Exatas e da Terra e Engenharias; v. 2) Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-85-7247-587-7 DOI 10.22533/at.ed.877190309 1. Ciências exatas e da terra. 2. Engenharia. I. Pereira, Alexandre Igor Azevedo. II. Série. CDD 507
Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422	

Atena Editora
Ponta Grossa – Paraná - Brasil
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

A obra “*Estudos Interdisciplinares: Ciências Exatas e da Terra e Engenharias 2*” aborda um considerável acervo técnico-científico de publicação da Atena Editora. Este primeiro volume, apresenta 21 capítulos dedicados às Ciências Exatas. De leitura compreensível, com resultados relevantes envolvendo aplicações teóricas, práticas e atualizadas nas áreas de Matemática, Química e Física, a presente obra configura-se como um conglomerado de estudos que utilizam (não apenas) o raciocínio lógico, cálculos, modelagem e teste de hipóteses fortemente atrelados à área de Ciências Exatas; mas uma proposta contextual mais ampla através da resolução e direcionamento de inovação para manipulação de problemas atuais.

O reconhecimento das Ciências Exatas como de grande utilidade e importância para a humanidade reside no fato dos avanços e inovações tecnológicas terem sido apresentadas desde muito tempo e em escala de descobertas bastante amplas, como no caso da eletricidade, computadores e smartphones, por exemplo; a até as temáticas abordadas na presente obra, sob caráter contemporâneo, como simulação computacional, modelagem, ensino de matemática, biocombustíveis, vulcanização, manipulação de resíduos industriais, ensaios eletroquímicos, química da nutrição, nanofibras, componentes poliméricos, fibras vegetais e suas propriedades mecânicas, educação de jovens e adultos, manipulação química de etanol de segunda geração, empregabilidade de novos componentes químicos sob contextos multidisciplinares e etc.

No meio profissional, os cursos ligados às Ciências Exatas ilustram um futuro promissor no mercado de trabalho devido ao seu amplo espectro funcional. Por isso, desperta o interesse de jovens estudantes, técnicos, profissionais e na sociedade como um todo, pois o ritmo de desenvolvimento atual observado em escala global gera uma robusta, consolidada e pungente demanda por mão-de-obra qualificada na área. Não obstante, as Ciências Exatas estão ganhando cada vez mais projeção, através da sua própria reinvenção frente às suas intrínsecas evoluções e mudanças de paradigmas impulsionadas pelo cenário tecnológico e econômico. Para acompanhar esse ritmo, a humanidade precisa de recursos humanos atentos e que acompanhem esse ritmo através da incorporação imediata de conhecimento com qualidade.

Esperamos que o presente e-book, de publicação da Atena Editora, possa representar como legado, em seu primeiro volume da obra “*Estudos Interdisciplinares: Ciências Exatas e da Terra e Engenharias 2*”, a oferta de conhecimento para capacitação de mão-de-obra através da aquisição de conhecimentos técnico-científicos de vanguarda praticados por diversas instituições em âmbito nacional; instigando professores, pesquisadores, estudantes, profissionais (envolvidos direta e indiretamente) com as Ciências Exatas e a sociedade (como um todo) frente a construção de pontes de conhecimento de caráter lógico, aplicado e com potencial de transpor o limiar fronteiro do conhecimento, o que - inclusive - sempre caracterizou

as Ciências Exatas ao longo dos tempos.

Alexandre Igor de Azevedo Pereira

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA ONDULAÇÃO GEOIDAL NA MEDIÇÃO DE PONTOS SOBRE A SUPERFÍCIE FÍSICA	
Plinio Temba Júlia Couto Nogueira Vitoria Ellen da Silva Oliveira Marcelo Antonio Nero Marcos Antonio Timbó Elmiro Sandra Cristina Deodoro Daniel Henrique Carneiro Salim	
DOI 10.22533/at.ed.8771903091	
CAPÍTULO 2	14
INTERVENÇÃO DIDÁTICA NAS AULAS DE FÍSICA: EXPERIMENTO SOBRE ESPELHOS PLANOS E ÓPTICA GEOMÉTRICA	
Adriane Beatriz Liscano Janisch Karin Ritter Jelinek Alana Amaral Rotter	
DOI 10.22533/at.ed.8771903092	
CAPÍTULO 3	19
A UTILIZAÇÃO DO SOFTWARE STELLARIUM COMO RECURSO DIDÁTICO PARA O ENSINO DE ECLIPSES E ESTAÇÕES DO ANO NO ENSINO MÉDIO	
Arilson Paganotti Marcos Rincon Voelzke Graciene Carvalho Vieira	
DOI 10.22533/at.ed.8771903093	
CAPÍTULO 4	29
AS NOÇÕES BÁSICAS DE GEOMETRIA ESPACIAL X ORIGAMIS MODULARES VISTOS SOBRE O CONTEXTO DA SALA DE AULA DE TEMPO INTEGRAL	
José Erildo Lopes Júnior	
DOI 10.22533/at.ed.8771903094	
CAPÍTULO 5	41
O ENSINO DE MATEMÁTICA NA EJA: A FORMAÇÃO DE PROFESSORES E AS PRÁTICAS	
Janaina da Conceição Martins Silva Cibele Paula Silva Marta Aparecida Quintiliano Rabelo Vânia Lúcia Rodrigues	
DOI 10.22533/at.ed.8771903095	
CAPÍTULO 6	51
PROPORÇÕES ENTRE PRODUTOS EXPONENCIAIS	
Guilherme Cavichiolo Moreira Barbosa	
DOI 10.22533/at.ed.8771903096	

CAPÍTULO 7 63

ANÁLISE E DESENVOLVIMENTO DE DISSIPADORES DE CALOR PARA FONTES LED RGB POR MEIO DE MODELAGEM E SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS

Thiago Lopes Quevedo
Filipe Melo Aguiar

DOI 10.22533/at.ed.8771903097

CAPÍTULO 8 76

CARACTERÍSTICAS ESTRUTURAIS DAS HIDROTALCITAS DE MAGNÉSIO E ALUMÍNIO MODIFICADAS COM FERRO (III) E CRÔMIO (III) SINTETIZADAS PELO MÉTODO DA PRECIPITAÇÃO POR HIDRÓXIDOS

Graciele Vieira Barbosa
Cintia Hisano
Rafael Aparecido Ciola Amoresi
Maria Aparecida Zaghete Bertochi
Jusinei Meireles Stropa
Lincoln Carlos Silva de Oliveira
Alberto Adriano Cavalheiro

DOI 10.22533/at.ed.8771903098

CAPÍTULO 9 88

CATALISADORES DE ARGILA BENTONÍTICA NA35 PARA PRODUÇÃO DE BIODIESEL

Alan Gabriel Adamczewski
Edson Cezar Grzebielucka
Eder Carlos Ferreira de Souza
Maria Elena Payret Arrúa
André Vitor Chaves de Andrade
Sandra Regina Masetto Antunes

DOI 10.22533/at.ed.8771903099

CAPÍTULO 10 101

EMBALAGENS: UM ESTUDO DE CASO DA SUA APLICAÇÃO NA PRODUÇÃO DE SABONETES

Caroline de Souza Rodrigues
Carolina Laguna Pimenta
Laís Cabrerizo Vargas de Almeida
Marcos Vinícius Pereira da Costa
Sara Rudek
Raquel Teixeira Campos

DOI 10.22533/at.ed.87719030910

CAPÍTULO 11 108

ESTUDOS DOS PROCESSOS CORROSIVOS DO ALUMÍNIO AA 3003 EM MEIO DE ETANOL E GASOLINA

Mayara Soares
Carine Vieira
Cynthia Beatriz Fürstenberger
Danielle Borges
Danielle Cristina Silva Olizeski
Felipe Staciaki da Luz
Everson do Prado Banczek

DOI 10.22533/at.ed.87719030911

CAPÍTULO 12 120

EXTRAÇÃO, ANÁLISE E ESTUDO DA VIABILIDADE ECONÔMICA DE OBTENÇÃO DE ERGOSTEROL EM RESÍDUOS DE *Ganoderma lucidum* (FR.) KRAST (GANODERMATACEAE)

Bianca de Araujo Ribeiro Rodrigues
Marcelo Telascrêa
Raquel Teixeira Campos
Oswaldo Luiz Gonçalves da Cunha
Márcia Ortiz Mayo Marques

DOI 10.22533/at.ed.87719030912

CAPÍTULO 13 132

FABRICAÇÃO DE SENSOR DE GÁS AMÔNIA ATRAVÉS DA TÉCNICA DE ELETROFIAÇÃO DE POLÍMEROS CONDUTORES EM MATRIZES ISOLANTES

Deuber Lincon da Silva Agostini
André Antunes da Silva
Bruno Henrique de Santana Gois
Jessyka Carolina Bittencourt
Clarissa de Almeida Olivati
Pedro Leonardo Silva
Vagner dos Santos
Wilson Silva Nascimento

DOI 10.22533/at.ed.87719030913

CAPÍTULO 14 142

INVESTIGAÇÃO DO DIÓXIDO DE TITÂNIO ESTABILIZADO COM ZIRCÔNIO E SILÍCIO COMO MATRIZ PARA NOVOS DOPANTES

Natali Amarante da Cruz
Rafael Aparecido Ciola Amoresi
Maria Aparecida Zaghete Bertochi
Silvanice Aparecida Lopes dos Santos
Lincoln Carlos Silva de Oliveira
Alberto Adriano Cavalheiro

DOI 10.22533/at.ed.87719030914

CAPÍTULO 15 154

MATERIAIS COMPÓSITOS DE MATRIZ POLIÉSTER E FIBRA DE CAPIM CAPETA: RESISTÊNCIA À TRAÇÃO

Douglas Santos Silva
Igor dos Santos Gomes
Edil Silva de Vilhena
Edielson Silva de Vilhena
Rodrigo da Silva Magalhães Dias
Maurício Maia Ribeiro
Roberto Tetsuo Fujiyama

DOI 10.22533/at.ed.87719030915

CAPÍTULO 16 167

MICROBALANÇA DE CRISTAL DE QUARTZO NO MONITORAMENTO DE REAÇÕES EM TEMPO-REAL

Cesar Augusto Tischer
Gina Alejandra Gil Giraldo

DOI 10.22533/at.ed.87719030916

CAPÍTULO 17 180

PRODUÇÃO DE ETANOL ATRAVÉS DE UMA PLANTA INTEGRADA DE PRIMEIRA E SEGUNDA GERAÇÃO

Rafael Rodrigues Gomes
Diego Martinez Prata
Lizandro de Sousa Santos

DOI 10.22533/at.ed.87719030917

CAPÍTULO 18 193

PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE FILMES DE BLENDAS DE POLI(CAPROLACTONA) E ACETATO DE CELULOSE CONTENDO ÁCIDO ASCÓRBICO

Sthefany Ananda Bruna Almeida Mendes
Maria Oneide Silva de Moraes
Tainah Vasconcelos Pessoa
Taisa Lorene Sampaio Farias
Catarina Barbosa Levy
Ivanei Ferreira Pinheiro
Walter Ricardo Brito
João de Deus Pereira de Moraes Segundo

DOI 10.22533/at.ed.87719030918

CAPÍTULO 19 202

SÍNTESE DA ESTRUTURA PEROVSKITA DE TITANATO DE CÁLCIO E COBRE EM BAIXA TEMPERATURA PELO MÉTODO SOL-GEL

Eliane Kujat Fischer
Vinícius Moreira Alves
Rafael Aparecido Ciola Amoresi
Maria Aparecida Zaghete Bertochi
Graciele Vieira Barbosa
Cintia Hisano
Silvanice Lopes dos Santos
Lincoln Carlos Silva de Oliveira
Alberto Adriano Cavalheiro

DOI 10.22533/at.ed.87719030919

CAPÍTULO 20 214

SÍNTESE E CARACTERIZAÇÃO DE HIDROTALCITAS FOSFATADAS DE MAGNÉSIO E ALUMÍNIO POR COPRECIPITAÇÃO

Alberto Adriano Cavalheiro
Sabrina Vitor Gonçalves
Creuza Kimito Caceres Kawahara
Rafael Aparecido Ciola Amoresi
Graciele Vieira Barbosa

DOI 10.22533/at.ed.87719030920

CAPÍTULO 21 225

COMPÓSITO DE BORRACHA NATURAL REFORÇADO COM BAGAÇO DA CANA-DE-AÇÚCAR: EFEITOS MECÂNICOS DO TRATAMENTO ALCALINO

Fábio Friol Guedes de Paiva

Vitor Peixoto Klienchen de Maria
Giovani Barrera Torres
Guilherme Dognani
Renivaldo José dos Santos
Flávio Camargo Cabrera
Aldo Eloizo Job

DOI 10.22533/at.ed.87719030921

SOBRE O ORGANIZADOR.....	235
ÍNDICE REMISSIVO	236

INVESTIGAÇÃO DO DIÓXIDO DE TITÂNIO ESTABILIZADO COM ZIRCÔNIO E SILÍCIO COMO MATRIZ PARA NOVOS DOPANTES

Natali Amarante da Cruz

Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul,
CDTEQ.

Naviraí – MS.

E-mail: nataliamarante19@gmail.com

Rafael Aparecido Ciola Amoresi

Universidade Estadual Paulista, Instituto de
Química de Araraquara.

Araraquara – SP.

E-mail: rafaelciola@yahoo.com.br

Maria Aparecida Zaghete Bertochi

Universidade Estadual Paulista, Instituto de
Química de Araraquara.

Araraquara – SP.

E-mail: zaghete@iq.unesp.br

Silvanice Aparecida Lopes dos Santos

Universidade Federal de Mato Grosso do Sul,
Instituto de Química.

Campo Grande – MS.

E-mail: silvanicelopes@gmail.com

Lincoln Carlos Silva de Oliveira

Universidade Federal de Mato Grosso do Sul,
Instituto de Química.

Campo Grande – MS.

E-mail: lincoln.oliveira@ufms.br

Alberto Adriano Cavalheiro

Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul,
CDTEQ.

Naviraí – MS.

E-mail: albecava@gmail.com

RESUMO: O dióxido de titânio TiO_2 é um material cerâmico transparente, atóxico, resistente à lixiviação em uma ampla faixa de pH e com propriedade semicondutora adequada para torná-lo um dos melhores fotocatalisadores para purificação de água contaminada com micropoluentes orgânicos. No entanto, a eficiência fotocatalítica deste material depende da predominância da fase anatase livre de defeitos estruturais, o que potencializa a transferência de cargas para o meio reacional. A inserção de dopantes heterovalentes ou o processo de cristalização por tratamento térmico, cujas abordagens objetivam melhorar a eficiência fotocatalítica do dióxido de titânio, provoca a transição de fase irreversível anatase-rutilo, afetando o material consideravelmente. O principal problema a ser resolvido neste caso é conseguir eliminar os defeitos estruturais sem a ocorrência da transição de fases e também possibilitar a dopagem do material com uma série de cátions metálicos absorvedores de radiação luminosa. Neste capítulo é demonstrado como a cristalização deste material foi possível até 800 °C, sem a ocorrência de fase rutilo, mediante a estabilização da fase anatase com 10 mol% de Zr-Si. Também pode se constatar que dopantes críticos para a formação de fases secundárias, como o bismuto e o vanádio, podem ser inseridos na matriz estabilizada sem a ocorrência de fases secundárias até altas

temperaturas.

PALAVRAS-CHAVE: Semicondutor, fase anatase, modificador estruturais.

INVESTIGATION OF TITANIUM DIOXIDE STABILIZED WITH ZIRCONIUM AND SILICON AS A MATRIX FOR NEW DOPANTS

ABSTRACT: TiO_2 titanium dioxide is a transparent, non-toxic, leach resistant material in a wide pH range and with adequate semiconductor properties to make it one of the best photocatalyst for purifying water contaminated with organic micropollutants. However, the photocatalytic efficiency of this material depends on the predominance of the anatase phase free of structural defects, which potentiates the transfer of charges to the reaction medium. The insertion of heterovalent dopants or the crystallization process by heat treatment, whose approaches aim to improve the photocatalytic efficiency of titanium dioxide, causes irreversible anatase-rutile phase transition, affecting the material considerably. The main problem to be solved in this case is to be able to eliminate the structural defects without the occurrence of phase transitions and also to enable the material doping with a series of metallic cations with light radiation absorption properties. In this chapter it is demonstrated how the crystallization of this material was possible up to 800 °C, without the occurrence of rutile phase, by stabilizing the anatase phase with 10% mol of Zr-Si. It can also be seen that critical dopants for the formation of secondary phases, such as bismuth and vanadium, can be inserted into the stabilized matrix without the occurrence of secondary phases at high temperatures.

KEYWORDS: Semiconductor, anatase phase, structural modifiers.

1 | INTRODUÇÃO

As tecnologias de tratamento de água nas Estações de Tratamento de Água são capazes de remover ou degradar alguns tipos de poluentes mutagênicos e cancerígenos, considerados com micropoluentes orgânicos, por serem ativos mesmo em concentrações extremamente baixas. Isso nos traz a necessidade premente de executar tratamento da água destinada ao consumo humano usando métodos avançados (YANG et al., 2010; BARISON, 2015).

A Fotocatálise Heterogênea é um destes processos de oxidação avançado e é um dos mais eficientes para degradação de micropoluentes orgânicos em baixíssimas concentrações. A fotodegradação envolve vários aspectos experimentais, mas a utilização de um semicondutor eficiente tanto para uso de radiação ultravioleta como de luz solar, futuramente é o mais fundamental deles. Isto porque, a energia da radiação luminosa de excitação do semicondutor deve ser capaz de gerar cargas elétricas de superfície e mantê-las separadas o tempo suficiente para serem transferidas continuamente para o meio reacional enquanto o material for irradiado, dando origem aos radicais oxidantes hidroxila e superóxido (LAGALY, 2001; AMETA et al.; 2013).

Estes radicais formados são em última instância, as espécies responsáveis

por oxidar as moléculas orgânicas até completa mineralização, gerando dióxido de carbônico dissolvido na água e sais minerais, o que confere potabilidade e leveza ao paladar. A vantagem da fotocatalise heterogênea frente a outros processos de oxidação avançados é a não necessidade de uso de reagentes de rotina. Este processo também é considerado um processo limpo e sustentável, pois quando a radiação ultravioleta é cessada, os radicais oxidantes se aniquilam em milissegundos, de modo que o tratamento não gera qualquer resíduo (CHEN et al., 2010; WEN et al., 2015).

A energia luminosa e a intensidade da radiação são fatores que afetam a eficiência da fotocatalise, pois a energia luminosa deve ser superior à energia de bandgap do semicondutor, para que haja excitação eletrônica e formação de grande quantidade de cargas superficiais. Entretanto, a energia de bandgap e a taxa de recombinação dos pares elétrons buraco é função de outras características do semicondutor, como quantidade de defeitos estruturais e tamanho de partícula (YANG et al., 2010; MARCONE et al., 2012).

O dióxido de titânio TiO_2 reúne as melhores características, com uma energia de bandgap correspondente a luz ultravioleta UV-A, podendo ser excitado com luz negra comum. Quando excitado, o semicondutor gera pares de elétron-buraco, que migram para a superfície das partículas e podem ser transferidas para o meio reacional. Além disso, o dióxido de titânio é atóxico, transparente e bem resistente à lixiviação em ampla faixa de pH, o que faz com que este material seja adequado para obtenção de recobrimento ópticos em uma serie de materiais cerâmicos e até metálicos (ZULKIFLEE et al., 2017).

A cerâmica TiO_2 possui duas fases cristalinas em condições ordinárias de temperatura e pressão, denominadas anatase e rutilo. Enquanto a fase anatase é predominante em baixas temperaturas, desde que sintetizada em presença de água, a fase rutilo predomina em temperaturas acima de 600°C , formada por uma transição irreversível de fases envolvendo quebra e reconstrução das ligações químicas. Mesmo com menor energia de bandgap (3,0 eV) do que a anatase (3,2 eV), e baixa concentração de defeitos, a superfície da fase rutilo não é favorável para fotocatalise e deve ser evitada (BRAUN et al., 1992; ORENDORZ et al., 2007; DAMBOURNET et al., 2010).

As características da fase anatase também são função do método de síntese, por isso, os métodos químicos são promissores para a obtenção de um semicondutor de dióxido de titânio com boa eficiência fotocatalítica. O Método Sol-Gel é um dos mais promissores, pois permite a obtenção da fase anatase já no xerogel e pouca matéria orgânica, o que facilita a cristalização por calcinação acima de 250°C , apesar de grande quantidade de defeitos estruturais remanescentes (WANG et al., 2016; DHANYA & APARNA, 2016).

Outra maneira de buscar melhorar o material é o uso de alguns modificadores de metais de transição, buscando aumentar a quantidade de radiação absorvida

pelo semicondutor irradiado com luz ultravioleta ou deslocar a energia de bandgap intrínseca do dióxido de titânio para a região do visível e torná-lo aplicável em luz solar. Mas, muitos dos modificadores também acabam por inserir defeitos estruturais ou gerar fases secundárias inativas, como os cátions de níquel, crômio, cobalto, bismuto, nióbio, vanádio, entre outros (VARGAS et al., 2009; REDDY et al., 2011; HANAOR et al, 2012; LIN & LIN, 2012; AVANSI et al, 2014; LIN & SHIH, 2016; DUTA, 2016 CARLI et al., 2016).

Tanto a dopagem em si, com este tipo de cátion heterovalente ao estado de oxidação do cátion de titânio (IV) do dióxido de titânio, quanto as fases secundárias possivelmente geradas, acabam por aumentar a taxa de recombinação do par elétron-buraco no material, tornando o fotocatalisador muito pouco eficiente (ZALESKA, 2008).

Assim, modificadores homovalentes, como zircônio (IV) e silício (IV), não alteram a energia de bandgap do dióxido de titânio e se inseridos isoladamente acabam por afetar as características de superfície das partículas. Como o zircônio tetravalente é maior (72 pm) do que o titânio tetravalente (61 pm), ambos hexacoordenados, a cela unitária tende a se expandir até a formação de fases secundárias (SHANNON, 1976).

Por outro lado, o cátion tetravalente de silício é bem menor (40 pm), também hexacoordenado, o que promove a relaxação da cela unitária e eleva a borda de absorção luminosa para comprimentos de onda próximos da luz UV-B, reduzindo o aproveitamento fotônico da luz UV-A. Além disso, a superfície de óxido de silício possui menor acidez, dificultando a adsorção das espécies oxidáveis do meio reacional. Estes aspectos fazem da anatase a fase mais eficiente para fotocatalise, mas um tratamento térmico deve ser feito para eliminar os defeitos estruturais (NEPPOLIAN et al., 2007; LOPES et al., 2014).

Este tratamento térmico de cristalização da fase anatase leva inexoravelmente a transição para fase rutilo em temperaturas muito próximas a 600 °C, onde o processo de eliminação de defeitos é acentuado, o que cria um problema a ser resolvido. Recentemente, os dopantes tetravalentes de zircônio e silício foram usados na forma conjugada, com um total de 6 mol% para estabilizar a fase anatase em altas temperaturas, sem ocorrência de qualquer traço de fase rutilo (CRUZ et al., 2017).

O fundamento desta abordagem é impedir o ganho de simetria do sistema tetragonal (Figura 1) e dificultar a transição de fase por substituições alternadas de átomos grandes de zircônio (IV) e pequenos de silício (IV) (CAVALHEIRO et al., 2017).

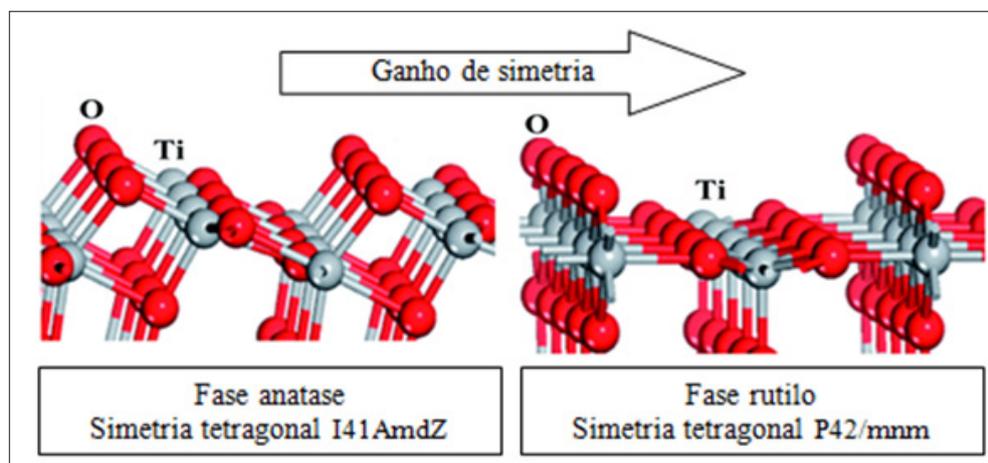


Figura 1: Rearranjo estrutural do dióxido de titânio na transição irreversível anatase-rutilo.

O mesmo conceito de par de dopantes pode ser usado para fazer modificações com cátions heterovalentes, os quais inserem invariavelmente defeitos estruturais se adicionados isoladamente. Cátions grandes e heterovalentes como o bismuto (III) e vanádio (V) formam fases não estequiométricas (JCPDS, 2002), quando o dióxido de titânio de fase anatase é cristalizado por tratamento térmico.

Mesmo com o uso destes dopantes na forma de par de dopantes, com média de estado de oxidação homovalente ao titânio, se considerado o ordenamento de longo alcance, em altas temperaturas, fases secundárias são formadas em paralelo a transição de fase para rutilo. Este evento, no entanto, pode ser evitado usando uma matriz de dióxido de titânio estabilizada, como inferido por Cavalheiro e colaboradores (2017).

2 | METODOLOGIA EXPERIMENTAL

Os materiais investigados neste trabalho foram sintetizados através do método Sol-Gel, utilizando alcóxidos de titânio, zircônio e silício complexados com ácido acético glacial na razão de 1 para 4 e diluídos em etanol absoluto. Para inserção dos dopantes heterovalentes, foram utilizados o subnitrato de bismuto e o metavanadato de amônio preparados em soluções aquosas acidificadas com ácido nítrico.

Para efetiva comparação com as amostras dopadas com bismuto e vanádio, a solução aquosa acidificada também foi inserida no sistema contendo somente a matriz pura e estabilizada com 10 mol% de zircônio e silício. E a presença de água em pH de 2,5 que promove a hidrólise controlada dos precursores alcóxidos complexados e dá origem a um gel homogêneo depois de 24 horas de repouso, o qual é seco em estufa a 100 °C por 24 horas.

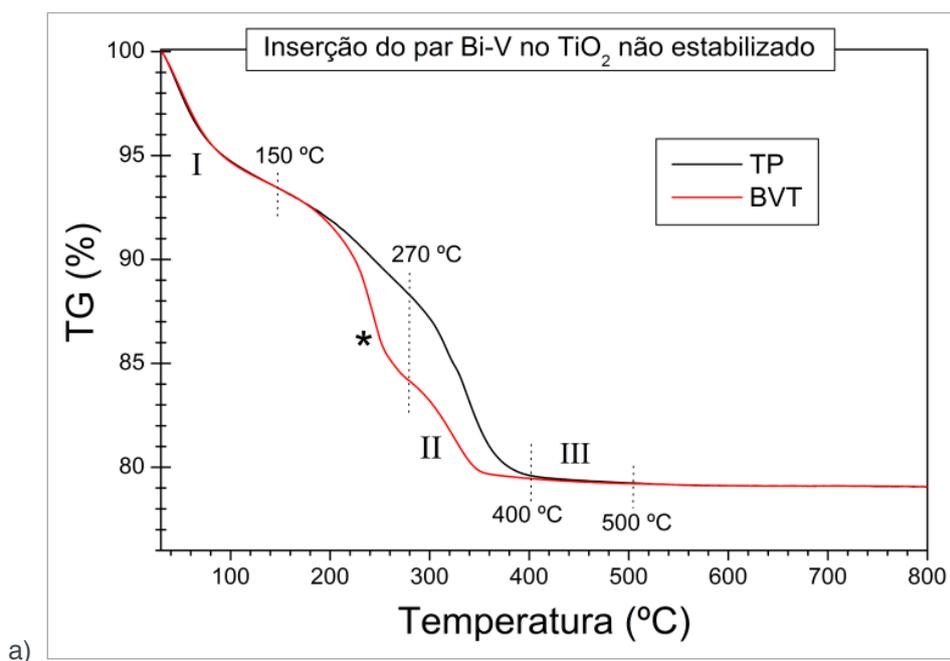
Foram obtidos quatro diferentes sistemas composicionais: dióxido de titânio não estabilizado e não dopado (TP), dióxido de titânio não estabilizado e dopado com 2 mol% de Bi-V (BVT), dióxido de titânio estabilizado com 10 mol% de Zr-Si e não

dopado (ZST) e dióxido de titânio estabilizado com 10 mol% de Zr-Si e dopado com 2 %mol de Bi-V (BVZST). Cada um dos xerogéis foi triturado em almofariz de porcelana e levado a etapa de calcinação nas temperaturas de 500 a 800 °C durante 2 horas em forno com ar estático.

As amostras foram caracterizadas por análise térmica em fluxo de ar sintético utilizando equipamentos da TA Instruments (modelos TGA Q50 e DSC-Q20) com razão de aquecimento de 10 °C min⁻¹. Os difratogramas de raios X foram obtidos utilizando um equipamento da Siemens, modelo D5005, operando com radiação K-alfa de Cu e varredura teta/2-teta de 20 a 80 °(2θ) em um goniômetro vertical. Os padrões de difração obtidos foram analisados por comparação com o banco de dados de difração JCPDS (2003).

3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na Figura 1 são observados os resultados de Análise Térmica para os xerogéis de dióxido de titânio não estabilizado obtidas após secagem a 100 por 24 horas e triturados em almofariz de porcelana. Os resultados estão agrupados pelas curvas TG (1.a) e DTG/DSC (1.b) para demonstrar os efeitos do processo de dopagem do par Bi-V na decomposição do xerogel e formação de fases, que ocorrem através de quatro eventos principais.



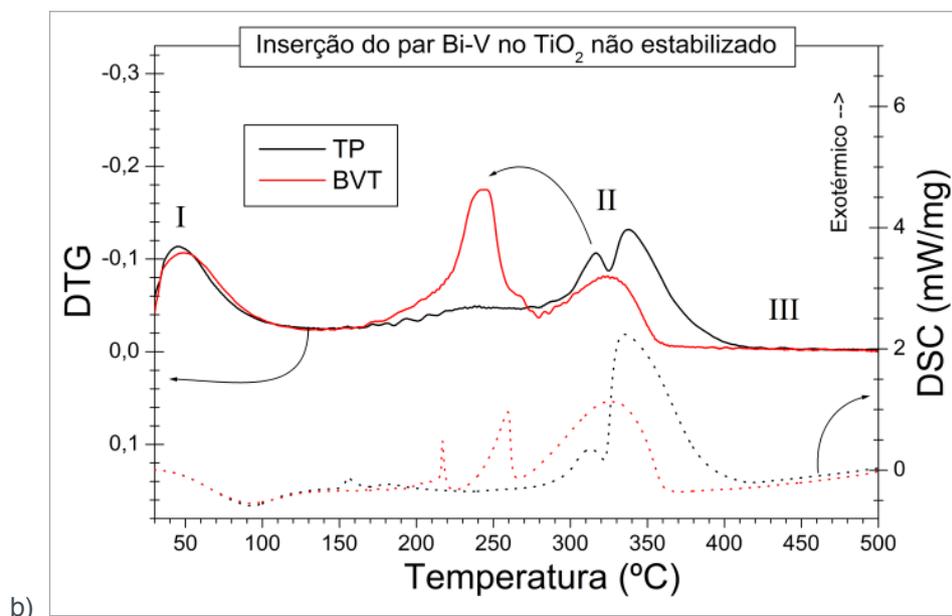


Figura 1. Análise térmica dos xerogéis de dióxido de titânio não estabilizado (TP) e o efeito da inserção de 2 %mol do par de dopantes Bi-V (BVT): a) TG e b) DTG/DSC.

Nas curvas TG (1.a) é possível observar que os sucessivos eventos térmicos ocorrem de modo consecutivo, revelando que a rede de ligações de hidróxidos metálicos originada no gel precursor dá um caráter energético difuso a cada etapa de decomposição.

Até 150 °C são eliminados de modo similar nas duas amostras os compostos voláteis remanescentes nos xerogéis triturados (evento I) e este evento possui caráter endotérmico (1.b), com um pico alargado endotérmico em torno de 100 °C.

A segunda perda de massa (evento II), associada à desidroxilação dos oxihidróxidos metálicos, ocorre em dois estágios para o dióxido de titânio não modificado, os quais são bem evidenciados nas curvas DTG/DSC com dois picos DTG em 320 °C (associado ao espaço interpartículas) e em 350 °C (associado o interior das partículas).

Na amostra BVT há um evento exotérmico adicional em 220 °C (*), associado à decomposição do nitrato de amônio proveniente dos precursores metálicos (LIDE, 2007). Esta decomposição quebra as partículas e antecipam os dois estágios de desidroxilação para 260 e 330 °C. O último evento é cinético (III) e ocorre acima de 500 °C com pouca perda de massa e baixo envolvimento energético, associado à eliminação de impurezas intersticiais.

Os padrões de difração das amostras calcinadas de 500 a 800 °C são mostradas na Figura 2. É possível observar que a fase anatase se cristaliza na amostra TP entre 500 para 600 °C já acompanhada do início da transição para a fase rutilo, a qual predomina a 700 °C (2.a). A 800 °C, o material apresenta fase única rutilo e grande contração volumétrica, como observado pela imagem destas amostras inseridas nesta Figura.

Quando o material é dopado com o par Bi-V a 2 mol% (2.b), a fase anatase pode

ser cristalizada até 600 °C sem ocorrência de fases secundárias. A transição de fases se inicia em 700 °C e a fase rutilo passa a coexistir com as fases anatase e bisvanita (BiVO_4).

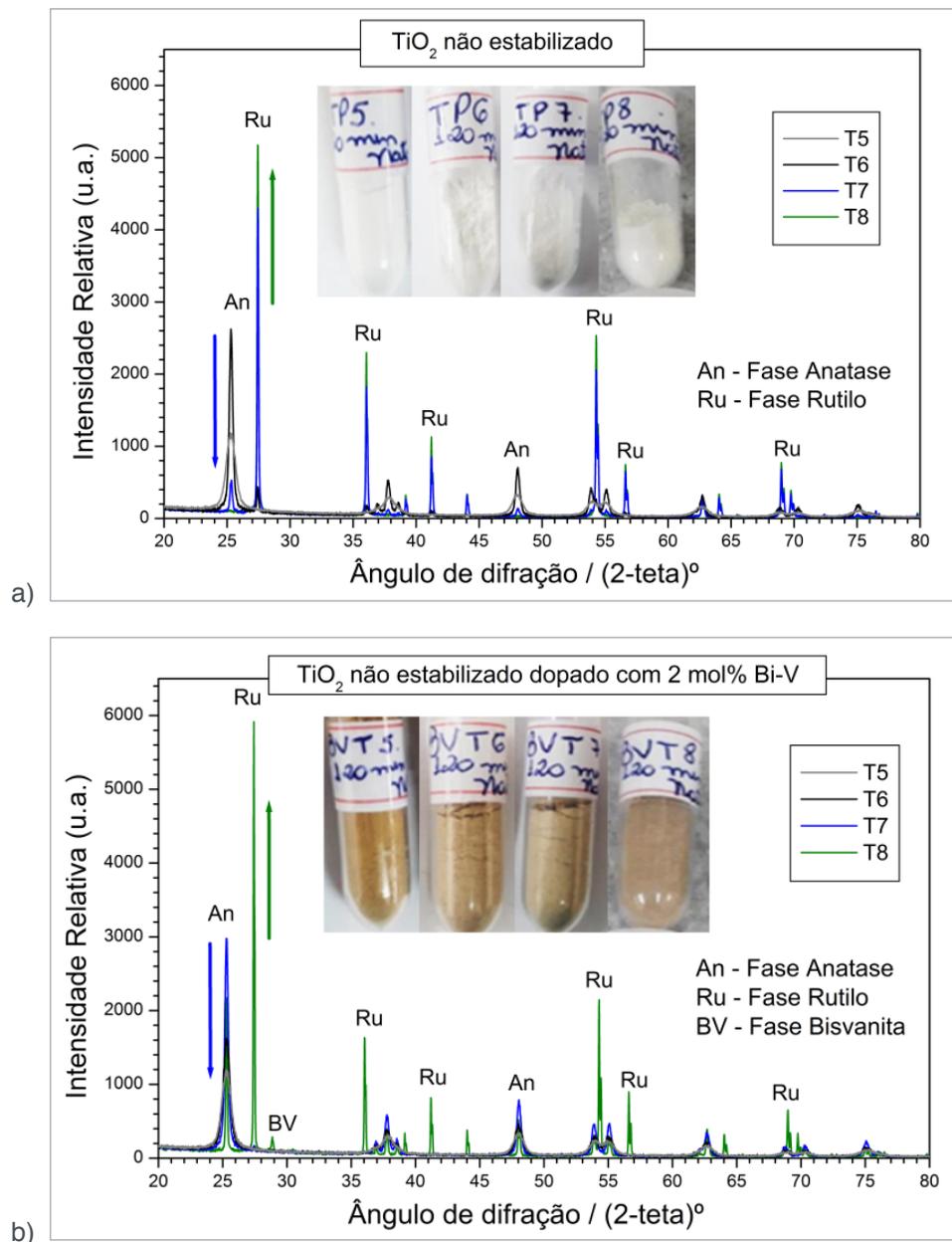


Figura 2. Padrões DRX das amostras calcinadas de dióxido de titânio não estabilizado.

Os resultados de Análise Térmica para os xerogéis de dióxido de titânio estabilizado com 10 %mol de Zr-Si obtidas nas mesmas condições anteriores são apresentados na Figura 3. Nas curvas TG (3.a) é possível observar que a eliminação dos compostos voláteis se estendem até 220 °C, mas na amostra BVZST também ocorre a decomposição do nitrato de amônio, o que antecipa os estágios de desidroxilação (3.b), mas não altera o último evento (III), associado a eliminação de defeitos estruturais da fase anatase.

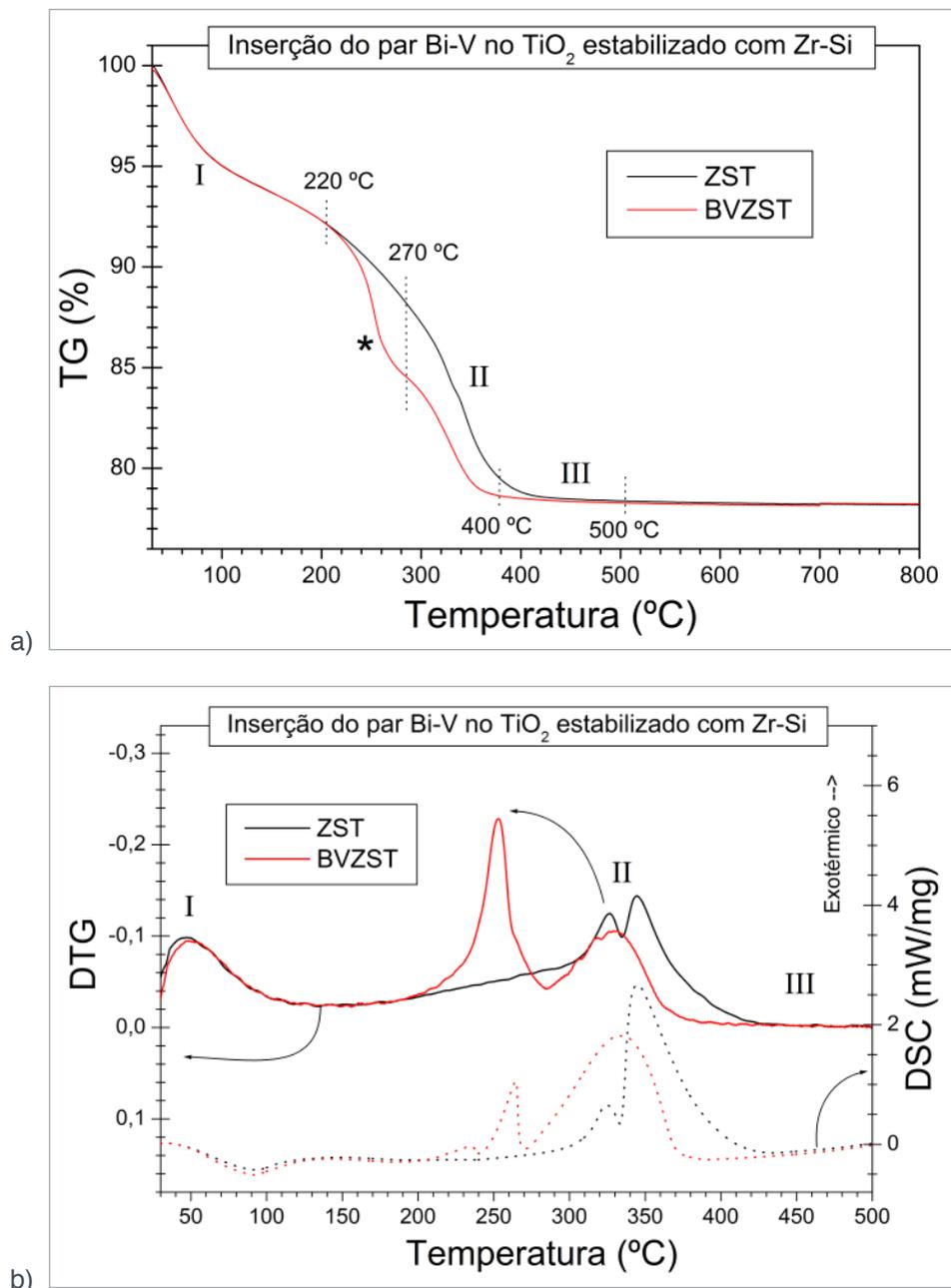


Figura 3. Análise térmica dos xerogéis de dióxido de titânio estabilizado com 10 %mol do par Zr-Si (ZST) e o efeito de 2 %mol do par de dopantes Bi-V (BVZST): a) TG e b) DTG/DSC.

Com base nos padrões DRX das amostras estabilizadas com 10 mol% de Zr-Si calcinadas nas mesmas condições anteriores (Figura 4), é possível observar que a fase anatase sofre contínua cristalização até 800 °C sem o aparecimento de qualquer fase secundária relacionada aos estabilizadores de fase zircônio ou silício (4.a), ou aos dopantes bismuto ou vanádio na (4.b). A cristalinidade da fase anatase estabilizada é baixo e coerente com a proposta de impedir o ganho de simetria pela inserção do par Zr-Si.

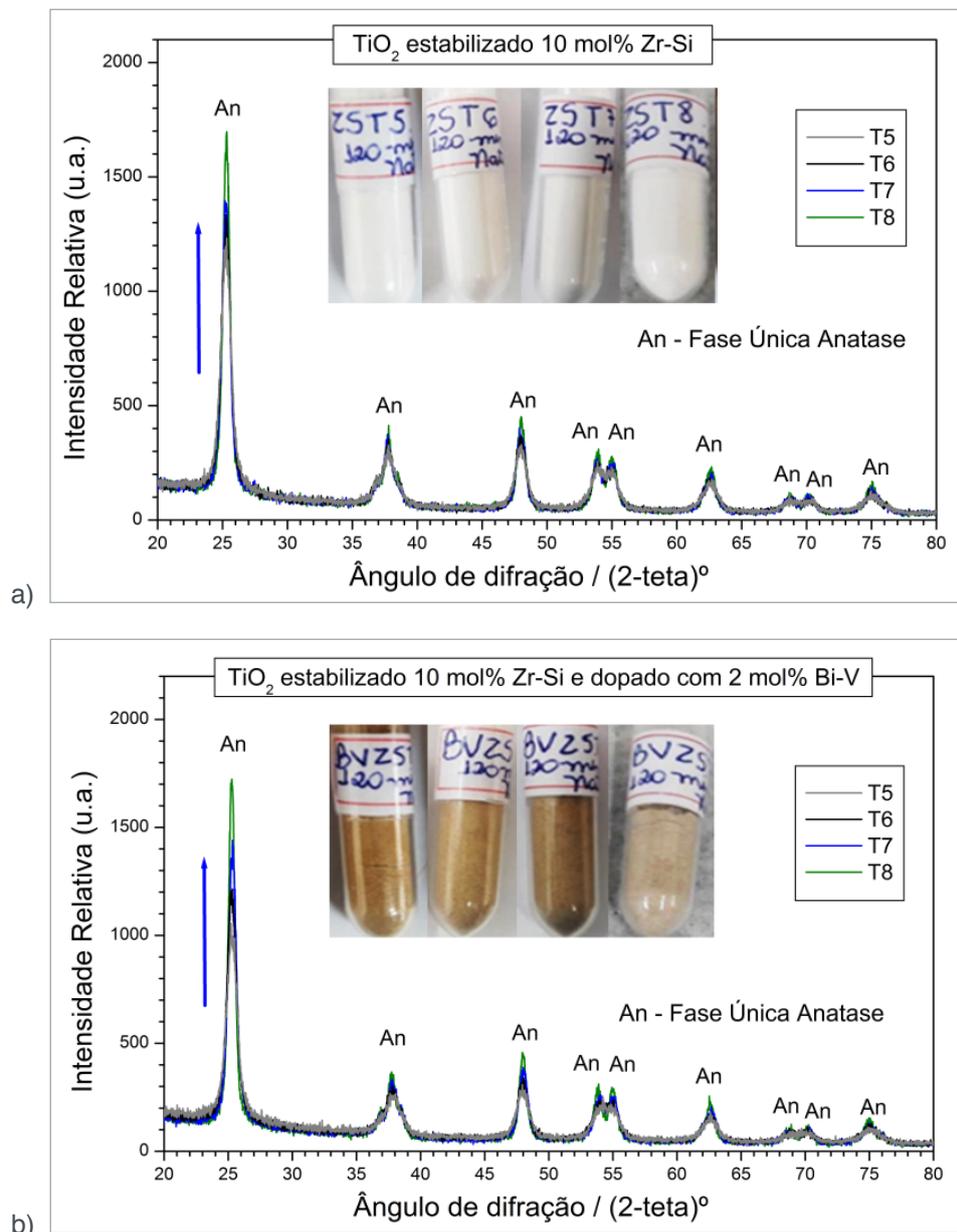


Figura 4. Padrões DRX das amostras calcinadas de dióxido de titânio estabilizado com Zr-Si.

4 | CONSIDERAÇÕES SOBRE O USO DESTA MÉTODO DE SÍNTESE

Os resultados de análise térmica mostraram que o processo de dopagem com cátions heterovalentes ao titânio (IV) leva a diferenças substanciais nos eventos térmicos associados à cristalização da fase anatase. Por difratometria de raios-X foi possível demonstrar que a eliminação de defeitos estruturais associada a cristalização da fase anatase não é possível na matriz não estabilizada. O ganho de simetria típico da transição de fases anatase-rutilo pode ser evitado estabilizando a matriz com 10 %mol de Zr-Si, suportando outras modificações e se mantendo estabilizada até 800 °C.

5 | SUPORTE FINANCEIRO E AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a FUNDECT, CNPq, CAPES e FINEP pelo apoio financeiro e bolsas de pesquisa concedidas.

REFERÊNCIAS

- AMETA, R.; BENJAMIN, S.; AMETA, A.; AMETA, S. C. Photocatalytic degradation of organic pollutants: A review. **Materials Science Forum**. v. 734, p. 247-272, 2013
- AVANSI, W.; ARENAL, R.; MENDONÇA, V. R.; RIBEIRO, C.; LONGO, E. Vanadium-doped TiO₂ anatase nanostructures: the role of V in solid solution formation and its effect on the optical properties. **Crystal Engineering Communications**. v. 16, p. 5021-5027, 2014.
- BARISON, M. R. Água subterrâneas. **Ciências Ambientais para Engenharia**. p. 123-155, 2015.
- BRAUN, J. H.; BAIDINS, A.; MARGANSKI, R. E. TiO₂ pigment technology: a review, **Progress in Organic Coating**. v. 20, p. 105-138, 1992.
- CARLI, E.F.; SANTOS, M.; CRUZ, N.A.; MANFROI, D.C.; STROPA, J.M.; OLIVEIRA, L.C.S.; ZAGHETE, M.A.; CAVALHEIRO, A.A. Effect of iron and vanadium on the phase transition of titanium dioxide obtained by polymeric precursor method. **Material Science Forum**. v. 881, p. 18-23, 2016.
- CAVALHEIRO, A. A.; OLIVEIRA, L. C. S.; SANTOS, S. A. L. Structural aspects of anatase to rutile phase transition in titanium dioxide powders elucidated by the Rietveld method, **Titanium Dioxide In Tech Book**, in Dr. Magdalena Janus (Ed.), n. 3, p. 63-81, 2017.
- CHEN, X.; SHEN, S.; GUO, L.; MAO, S. S. Semiconductor-based photocatalytic hydrogen generation. **Chemical Reviews**. p. 6503-6570, 2010.
- CRUZ, N. A.; CAVALHEIRO, A. A.; STROPA, J. M.; FAVARIN, L. R. V.; MACHULEK, A.; OLIVEIRA, L. C. S.; AMORES, R. A. C.; ZAGHETE, M. A. The use of Rietveld Method as a powerful tool for elucidating the anatase-to-rutile phase transition in titanium dioxide. **International Journal of Latest Research in Engineering and Technology**. v. 3, n. 9 p. 42-48, 2017.
- DAMBOURNET, D.; BELHAROUAK, I.; AMINE, K. Tailored preparation methods of TiO₂ anatase, rutile, brookite: Mechanism of formation and electrochemical properties. **Chemistry of Materials**. v. 22, n. 3, p. 1173-1179, 2010.
- DHANYA, A.; APARNA K. Synthesis and evaluation of TiO₂/CHITOSAN based hydrogel for the adsorptional photocatalytic degradation of Azo and Anthraquinone dye under UV light irradiation. **Procedia Technology**. v. 24, p. 611-618, 2016.
- DUTA, M. Nb-doped TiO₂ sol-gel films for CO sensing applications. **Materials Science in Semiconductor Processing**. v. 42, p. 397-404. 2016.
- HANAOR, D. A. H.; ASSADI, M. H. N.; LI, S.; YU, A.; SORRELL C. C. Ab initio study of phase stability in doped TiO₂. **Computational Mechanics**. v. 50, n. 2, p. 185-194, 2012.
- JCPDS - **Joint Committee on Powder Diffraction Standards**. International Center for Diffraction Data, Pennsylvania, Powder Diffraction File, 2003.
- LAGALY, G. Pesticide-clay interactions and formulations. **Applied Clay Science**. p. 205-209, 2001.

LIDE, D. R.; **Handbook of Chemistry and Physics**, 87th Edition, ed., Taylor and Francis, Boca Raton, FL, 2007.

LIN, H.Y.; SHIH, C.Y. Efficient one-pot microwave-assisted hydrothermal synthesis of M (M = Cr, Ni, Cu, Nb) and nitrogen co-doped TiO₂ for hydrogen production by photocatalytic water splitting. **Journal of Molecular Catalysis a-Chemical**. v. 411, p. 128-137, 2016.

LIN, W.-C.; LIN, Y.-J. Effect of vanadium(IV)-doping on the visible light-induced catalytic activity of titanium dioxide catalysts for methylene blue degradation. **Environment Engineering Science**. v. 29, n. 6, p. 447-452, 2012.

LOPES, S. A.; CRUZ, N. A.; MANFROI, D. C.; DIAS, R. G.; SILVA, M. S.; ZAGHETE, M. A.; DOS ANJOS, A.; CAVALHEIRO, A. A.; OLIVEIRA, L. C. S. Effect of the Iron doping on the thermal decomposition of the polymeric precursor for the titanium dioxide powder synthesis. **Materials Science Forum**. v. 798, n. 799, p. 211-216, 2014.

MARCONE, G. P. S.; OLIVEIRA, A. C.; ALMEIDA, G.; UMBUZEIRO, G. A.; JARDIM, W. F. Ecotoxicity of TiO₂ to daphnia similis under irradiation. **Journal of Hazardous Materials**. p. 436-442, 2012.

NEPPOLIAN, B., WANG, Q., YAMASHITA, H., CHOI, H. Synthesis and characterization of ZrO₂-TiO₂ binary oxide semiconductor nanoparticles: Application and interparticle electron transfer process. **Applied Catalysis A: General**. v. 333, p. 264-271, 2007.

ORENDORZ, A., BRODYANSKI, A., LÖSCH, J., BAI, L. H., CHEN, Z. H., LE, Y. K., ZIEGLER, C., GNASER, H. Phase transformation and particle growth in nanocrystalline anatase TiO₂ films analysed by X-ray diffraction and Raman spectroscopy. **Surface Science**. n. 601, p. 4390-4394, 2007.

REDDY, P. A. K.; SRINIVAS, B.; KALA, P.; KUMARI, V. D.; SUBRAHMANYAM, M. Preparation and characterization of Bi-doped TiO₂ and its solar photocatalytic activity for the degradation of isoproturon herbicide. **Materials Research Bulletin**, V. 46, n. 11, p. 1766-1771, 2011.

SHANNON R. D.; Revised effective ionic radii and systematic studies of interatomic distances in halides and chalcogenides. **Acta Crystallographica**. A32, p. 751-767, 1976.

VARGAS, S.; ARROYO. R.; HARO, E.; RODRIGUEZ, R. Effect of cationic dopants on the phase transition temperature of titania prepared by the Sol-gel method. **Journal of Materials Research**. v. 14, n. 10, p. 3932-3937, 1999.

WANG, C. LI.; WANG W. S.; CHU H. L.; LIN H. J.; KO H. H.; WANG M. CHIN. Kinetics of anatase transition to rutile TiO₂ from titanium dioxide precursor powders synthesized by a sol-gel process. **Ceramics International**. v. 42, 13136, 2016.

WEN, J.; LI, X.; LIU, W.; et al. Photocatalysis fundamentals and surface modification of TiO₂ nanomaterials. **Journal of Catalysis**. v. 36, n. 12, p. 2049-2070, 2015.

YANG, H.; AN. T.; LI. G.; SONG. W.; COOPER, W. J.; LUO, H.; GUO, X. Photocatalytic degradation kinetics and mechanism of environmental pharmaceuticals in aqueous suspension of TiO₂: a case of β -blockers. **Journal of Hazardous Materials**. p. 200-207, 2010

ZALESKA, A. Doped-TiO₂: a review. **Recent Patents on Engineering**. v. 2, n. 3, p. 157-164, 2008.

ZULKIFLEE, N. S.; HUSSIN, R.; YAHYA, H. Structural and Optical Characterization of TiO₂/ZnO thin films prepared by sol-gel method. **Materials Science Forum**. v. 888, n. 290, 2017.

SOBRE O ORGANIZADOR

Alexandre Igor Azevedo Pereira - é Engenheiro Agrônomo, Mestre e Doutor em Entomologia pela Universidade Federal de Viçosa. Professor desde 2010 no Instituto Federal Goiano e desde 2012 Gerente de Pesquisa no Campus Urutaí. Orientador nos Programas de Mestrado em Proteção de Plantas (Campus Urutaí) e Olericultura (Campus Morrinhos) ambos do IF Goiano. Alexandre Igor atuou em 2014 como professor visitante no John Abbott College e na McGill University em Montreal (Canadá) em projetos de Pesquisa Aplicada. Se comunica em Português, Inglês e Francês. Trabalhou no Ministério da Educação (Brasília) como assessor técnico dos Institutos Federais em ações envolvendo políticas públicas para capacitação de servidores federais brasileiros na Finlândia, Inglaterra, Alemanha e Canadá. Atualmente, desenvolve projetos de Pesquisa Básica e Aplicada com agroindústrias e propriedades agrícolas situadas no estado de Goiás nas áreas de Entomologia, Controle Biológico, Manejo Integrado de Pragas, Amostragem, Fitotecnia e Fitossanidade de plantas cultivadas no bioma Cerrado.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Argila aniônica 76
Astronomia 19, 20, 21, 23, 27, 28
Ativação ácida 88, 90

B

Biocompósitos 225

C

CCT 203, 209
Cerâmica dielétrica 203
Combustível 119
Compósitos poliméricos 155

D

Dissipação de calor 63

E

Eclipses 19, 20
Educação em tempo integral 29
Eletrofiação 9, 132
Embalagem 101, 106, 107
Ensino de matemática 29
Ergosterol 120, 121, 122, 123, 127, 128, 129
Espectrofotometria 120, 125
Etanol 109, 114, 115, 118, 119, 184, 185, 187, 188, 191

F

Filmes 173, 174, 193
Filmes poliméricos 193
Formação de professores 41

G

Ganodermalucidum 130

M

Método Sol-Gel 144, 203, 205, 206
Modelagem 63

N

Nanofibras 134, 136

O

Oficina 14, 16, 18
Ondulação geoidal 6, 10, 11

Origami modular 29

P

Padrão 10, 51, 126

Perfilamento laser 1

Perovskita 203, 204, 205, 206, 209, 210, 211

Potenciação 51

Proporção 51, 61

S

Sabonetes 101

Semicondutor 143

Simulação computacional 63

Sohxlet 120, 121

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-7247-587-7



9 788572 475877