



Henrique Ajuz Holzmann
(Organizador)

Engenharia & ciência dos materiais



Henrique Ajuz Holzmann
(Organizador)

Engenharia & ciência dos materiais

Editora chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Editora executiva

Natalia Oliveira

Assistente editorial

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto gráfico

Bruno Oliveira

Camila Alves de Cremo

Daphynny Pamplona

Luiza Alves Batista

Natália Sandrini de Azevedo

Imagens da capa

iStock

Edição de arte

Luiza Alves Batista

2022 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2022 Os autores

Copyright da edição © 2022 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena Editora



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

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

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

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

Conselho Editorial

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

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

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

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

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

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

Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná



Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Prof. Dr. Juliano Bitencourt Campos – Universidade do Extremo Sul Catarinense
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora
Prof. Dr. Miguel Adriano Inácio – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista



Diagramação: Camila Alves de Cremo
Correção: Mariane Aparecida Freitas
Indexação: Amanda Kelly da Costa Veiga
Revisão: Os autores
Organizador: Henrique Ajuz Holzmann

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

E57 Engenharia e ciência dos materiais / Organizador Henrique Ajuz Holzmann. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2022.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-258-0203-9

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.039220906>

1. Engenharia. I. Holzmann, Henrique Ajuz (Organizador). II. Título.

CDD 620

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

Atena Editora

Ponta Grossa – Paraná – Brasil

Telefone: +55 (42) 3323-5493

www.atenaeditora.com.br

contato@atenaeditora.com.br



DECLARAÇÃO DOS AUTORES

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



DECLARAÇÃO DA EDITORA

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



APRESENTAÇÃO

A engenharia de materiais, se tornou um dos grandes pilares da revolução técnica industrial, devido a necessidade de desenvolvimento de novos materiais, que apresentem melhores características e propriedades físico-químicas. Grandes empresas e centros de pesquisa investem maciçamente em setores de P&D a fim de tornarem seus produtos e suas tecnologias mais competitivas.

Destaca-se que a área de material compreende três grandes grupos, a dos metais, das cerâmicas e dos polímeros, sendo que cada um deles tem sua importância na geração de tecnologia e no desenvolvimento dos produtos. Aliar os conhecimentos pré-existentes com novas tecnologias é um dos grandes desafios da nova engenharia.

Neste livro são explorados trabalhos teóricos e práticos, relacionados as áreas de materiais, dando um panorama dos assuntos em pesquisa atualmente. Apresenta capítulos relacionados ao desenvolvimento de novos materiais, com aplicações nos mais diversos ramos da ciência, bem como assuntos relacionados a melhoria em processos e produtos já existentes, buscando uma melhoria e a redução dos custos.

De abordagem objetiva, a obra se mostra de grande relevância para graduandos, alunos de pós-graduação, docentes e profissionais, apresentando temáticas e metodologias diversificadas, em situações reais.

Boa leitura.

Henrique Ajuz Holzmann

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

ESTUDO DO EFEITO DA VARIAÇÃO DA %FEO NA COMPOSIÇÃO QUÍMICA DE MISTURAS DESFOSFORANTES E DA GRANULOMETRIA DA CAL NA EFICIÊNCIA DE DESFOSFORAÇÃO DE FERRO GUSA

Caio Vaccari Silva
Raphael Mariano de Souza
Victor Bridi Telles
Estefano Aparecido Vieira
José Roberto de Oliveira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0392209061>

CAPÍTULO 2..... 18

DIMINUIÇÃO DO IMPACTO AMBIENTAL NO PROCESSO DE DESSULFURAÇÃO DE FERRO GUSA VIA KR

Elton Volkers do Espírito Santo
Flaviani Marculano Marchesi
Heitor Cristo Clem de Oliveira
Silas Gambarine Soares
Henrique Silva Furtado
Felipe Fardin Grillo
José Roberto de Oliveira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0392209062>

CAPÍTULO 3..... 32

FOTOCROMISMO E ATIVIDADE FOTOCATALÍTICA DE FILMES DE TiO₂ OU DE TiO₂ CONTENDO DOIS DIFERENTES PRECURSORES DE TUNGSTÊNIO

Luana Góes Soares da Silva
Annelise Kopp Alves

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0392209063>

CAPÍTULO 4..... 50

COMPÓSITO POLIMÉRICO DE FIBRAS DE JUTA E VIDRO-E COMO POTENCIAL USO EM PRÓTESES/ÓRTESES: PROPRIEDADES MECÂNICAS E CONFIGURAÇÕES

Sérgio Renan Lopes Tinô
Manoel Ivany de Queiroz Júnior
Vinicius Carvalhaes
Thamise Sampaio Vasconcelos Vilela
Ana Cláudia Juliano Carvalho
Lucas Teles Oliveira
Paula Micaelly Ferreira Bueno

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0392209064>

CAPÍTULO 5..... 65

ESTUDO COMPARATIVO DAS PROPRIEDADES DE ADESIVOS À BASE DE RESINA

EPÓXI

Silvana de Abreu Martins
Alan Sala Bourguignon
Carlos Alberto Moreira da Silva Netto

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0392209065>

CAPÍTULO 6..... 78

A MINERAÇÃO E O USO DOS MINERAIS EM ELEMENTOS DO COTIDIANO: AS CASAS

Rafaela Baldi Fernandes
Ian Henrique Pires

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0392209066>

CAPÍTULO 7..... 86

A MINERAÇÃO E O USO DOS MINERAIS EM ELEMENTOS DO COTIDIANO: COSMÉTICOS

Rafaela Baldi Fernandes
Caroline das Dôres Zeferino

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0392209067>

CAPÍTULO 8..... 95

A MINERAÇÃO E O USO DOS MINERAIS EM ELEMENTOS DO COTIDIANO: O LÁPIS

Rafaela Baldi Fernandes
Débora Pimentel de Carvalho Costa

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0392209068>

CAPÍTULO 9..... 106

ESTUDO DE CONTRIBUIÇÃO DA ESPÉCIE *Guatteria schomburgkiana* DA AMAZÔNIA PARA USO NO SETOR INDUSTRIAL DE BASE FLORESTAL

Jício Saraiva Pinho
Syme Regina Souza Queiroz
Vera Lúcia Dias da Silva
Nilton Cesar Almeida Queiroz

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0392209069>

CAPÍTULO 10..... 115

MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM REVESTIMENTOS ARGAMASSADOS – ESTUDO DE CASO - SANTO ÂNGELO - RS

João da Jornada Fortes Neto
Mariana da Silva Ferreira Fortes
Eliara Marin Piazza

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.03922090610>

SOBRE O ORGANIZADOR..... 132

ÍNDICE REMISSIVO..... 133

FOTOCROMISMO E ATIVIDADE FOTOCATALÍTICA DE FILMES DE TiO_2 OU DE TiO_2 CONTENDO DOIS DIFERENTES PRECURSORES DE TUNGSTÊNIO

Data de aceite: 01/06/2022

Data de submissão: 10/05/2022

Luana Góes Soares da Silva

Universidade Federal do Rio Grande do Sul,
Departamento de Engenharia de Materiais
Porto Alegre – RS

<http://buscatextual.cnpq.br/buscatextual/visualizacv.do?id=K4227220Y>

Annelise Kopp Alves

Universidade Federal do Rio Grande do Sul,
Departamento de Engenharia de Materiais
Porto Alegre – RS

<http://buscatextual.cnpq.br/buscatextual/visualizacv.do?id=K4762707Y3>

RESUMO: A visão colorida do espectro visível depende da iluminação. O fenômeno foi explicado por Isaac Newton no século XVII, através da decomposição da luz nas cores do arco-íris. A nossa percepção visual está ligada a existência de um “trinômio”, conhecido como o observador (olhos), o objeto e a fonte de iluminação (luz). Materiais cerâmicos que absorvem o brilho no espectro visível, resultam numa mudança perceptível de cor, e são freqüentemente chamados de “centros de cores”. Alguns exemplos interessantes incluem o Al_2O_3 , o TiO_2 e o WO_3 , são responsáveis pelas cores de rubi e safira azul, pó branco e pó amarelo respectivamente. Estes óxidos manifestam uma ampla variedade de cores, resultantes das transições eletrônicas que ocorrem na rede

cristalina destes materiais. Diversos óxidos quando preparados sob a forma de filmes, exibem consideráveis alterações de cor quando expostos a um campo elétrico, radiação eletromagnética ou calor. Neste trabalho, filmes de TiO_2 e de TiO_2 contendo H_2WO_4 (ácido tungstico) ou $\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (tungstato de sódio di hidratado) foram obtidos por *spin-coating*. As fases presentes foram detectadas através da difração de raios X (DRX), a microestrutura foi verificada por microscopia eletrônica de varredura (MEV), a fotocatalise heterogênea determinou a atividade fotocatalítica das amostras mediante ensaios de degradação de 125 mL de uma solução 20 ppm do corante alaranjado de metila, e a colorimetria avaliou o efeito fotocromico nos filmes através de um colorímetro. Os resultados apontam que os filmes de TiO_2 contendo $\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ foram os mais eficientes na mineralização do corante e simultaneamente expressaram as maiores variações colorimétricas. Devido a sincronicidade existente entre as propriedades químicas e físicas do TiO_2 com o W, e pela elevação da temperatura de calcinação que ocasionou uma diminuição da energia de *band gap*, que provocaram uma desordem na estrutura eletrônica das amostras, intensificando a absorção de luz pelas mesmas.

PALAVRAS-CHAVE: Trióxido de Tungstênio (WO_3), *Spin-Coating*, Fotocatalise, Fotocromismo.

ABSTRACT: The color view of the visible spectrum depends on lighting. The phenomenon was explained by Isaac Newton in the 17th century, through the decomposition of light into the colors of the rainbow. Our visual perception is linked to the existence of a “trinomial”, known

as the observer (eyes), the object and the source of illumination (light). Ceramic materials that absorb glare in the visible spectrum, result in a noticeable change in color, and are often referred to as "color centers". Some interesting examples include Al_2O_3 , TiO_2 and WO_3 , which are responsible for the colors of ruby and sapphire blue, white powder and yellow powder respectively. These oxides manifest a wide variety of colors, resulting from the electronic transitions that occur in the crystal lattice of these materials. Several oxides when prepared in the form of films, exhibit considerable color changes when exposed to an electric field, electromagnetic radiation or heat. In this work, TiO_2 and TiO_2 films containing H_2WO_4 (tungstic acid) or $\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (sodium tungstate dihydrate) were obtained by spin-coating. The phases present were detected by X-ray diffraction (XRD), the microstructure was verified by scanning electron microscopy (SEM), heterogeneous photocatalysis determined the photocatalytic activity of the samples by means of degradation tests of 125 mL of a 20 ppm solution of methyl orange dye, and colorimetry evaluated the photochromic effect on the films using a colorimeter. The results indicate that the TiO_2 films containing $\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ were the most efficient in the mineralization of the dye and simultaneously expressed the greatest colorimetric variations. Due to the synchronicity between the chemical and physical properties of TiO_2 with W, and the increase in the calcination temperature that caused a decrease in the band gap energy, which caused a disorder in the electronic structure of the samples, intensifying the absorption of light by them.

KEYWORDS: WO_3 , Spin-coating, photocatalysis, photochromism.

1 | INTRODUÇÃO

Foi no século XVII que a decomposição da luz nas cores do arco-íris foi descrita pela primeira vez por Isaac Newton. O fenômeno foi explicado através de um experimento que analisou a decomposição da luz por um prisma. O espalhamento das cores obtidas com este experimento ficou conhecido como espectro, e se estende numa faixa que vai desde a radiação vermelha até a radiação violeta (LOPES, 2009, BERTOLINI, 2010 e CALLISTER, 2002).

A cor é determinada pela disposição espectral de radiação emitida, transmitida ou refletida. A composição da luz é observada através do efeito da cor no objeto, por comprimentos de onda e pela maneira que o objeto altera a luz que irradia sobre ele. Essas alterações podem ser demonstradas por curvas de absorvância, transmitância ou de reflectância espectral (LOPES, 2009). É uma informação visual, gerada por um estímulo que é percebido pelo nosso olho e interpretado pelo nosso cérebro. Para que os olhos sejam capazes de perceber uma cor é fundamental presença de raios de luz. Os raios de luz refletidos nos olhos percorrem um longo trajeto até chegar na retina. Lá se localizam numa região central da retina chamada fóvea. O olho humano possui dois tipos de células que são responsáveis por nos fazer enxergar: os cones e os bastonetes. Os bastonetes são células que necessitam de pouca luz para serem sensibilizadas. Entretanto não conseguem formar imagens coloridas ou nítidas. É por isso que a noite ou em locais escuro é muito difícil se distinguir a cor. Já os cones são sensibilizados com uma grande quantidade de

luz e geram imagens nítidas e coloridas (TIANO, 2009) Existem 3 tipos de cones: os azuis, os vermelhos, e os verdes. O cone azul é ativado em comprimentos de onda curtos, o cone verde é ativado em comprimentos de onda médio e o cone vermelho é ativado em comprimentos de onda longos. Assim, as cores supracitadas são os três tipos de coloração que os nossos olhos captam. Todas as outras cores que vemos são formadas a partir destas 3 cores (TIANO, 2009).

Dentro deste contexto, é impossível falar de colorimetria, sem mencionar a importância dos defeitos pontuais e dos solutos na determinação da cor dos materiais cerâmicos (MING CHIANG, *et al.*, 1997). Materiais que absorvem o brilho no espectro visível, resultando em uma mudança perceptível na cor, geralmente são chamados de “centros de cores” (MING CHIANG, *et al.*, 1997). Alguns exemplo interessantes de colorimetria, incluem as impurezas de Al_2O_3 que apresentam várias cores (rubis, safiras azuis, entre outras) e o semicondutor TiO_2 que conforme a temperatura de tratamento térmico ao qual é submetido apresenta um tipo de estrutura cristalina (anatase, brookita e rutilo) e coloração (preto, marrom-avermelhado, azul, entre outras). Essas diferenças de cores apresentadas por um mesmo material são baseadas: na formação de defeitos pontuais (vacâncias de oxigênio) e cristais individuais de corindon, na temperatura de tratamento térmico ao qual o material é submetido, que por sua vez influenciará na desordem gerada na estrutura cristalina formada bem como na sua orientação cristalográfica, levando a manifestação de muitas propriedades elétricas, ópticas e químicas (MING CHIANG, *et al.*, 1997).

Sendo assim, como a percepção visual colorida é particular e no espectro visível depende da iluminação (VON BEZOLD, 1873), neste trabalho se avaliou como os olhos percebem as variações entre as diferentes cores em filmes de TiO_2 e de TiO_2 contendo precursores de tungstênio (H_2WO_4 e $\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) correlacionando com as suas propriedades fotocatalíticas, quando irradiados por luz UVA-vis. Neste trabalho não foram considerados casos de daltonismo ou discromatopsia, protanopsia, deuteranopsia, tritanopsia e acromatopsia. Os resultados se basearam na capacidade de olhos “normais” (sem anomalias) diferenciar as cores nas amostras.

2 | METODOLOGIA

Os reagentes escolhidos para a preparação das amostras foram: O propóxido de titânio (Sigma-Aldrich), que contém o íon titânio indispensável para a formação do óxido de titânio. O ácido acético glacial (Sigma-Aldrich) foi usado visando acelerar a reação de hidrólise do propóxido de titânio. O álcool etílico anidro (Zeppelin) que foi usado como solvente geral da solução. Uma solução 10 %p de polivinilpirrolidona (PVP – Sigma-Aldrich, 1.300.000 g/mol) foi utilizada como veículo polimérico para produção das fibras por *electrospinning*. O tungstato de sódio di hidratado (Dinâmica) e o ácido túngstico (Sigma-Aldrich), foram utilizados como precursores de tungstênio. O peróxido de hidrogênio

(Dinâmica) foi utilizado como agente oxidante.

2.1 Obtenção das fibras por *electrospinning*

O protocolo e os parâmetros utilizado na produção das fibras de TiO_2 foram baseados no trabalho de (ALVES, 2008). A metodologia para a síntese do TiO_2/WO_3 e $\text{TiO}_2/\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ foi adaptada a partir dos trabalhos de (ALVES, 2008 e OLIVEIRA, 2012).

Primeiramente foram preparadas as soluções precursoras.

- I. Solução de TiO_2 – Foram misturados 2,5 mL de propóxido de titânio (Tip), 2,0 mL de ácido acético glacial e 5 mL de uma solução alcoólica contendo 10% em peso de polivinilpirrolidona (PVP). A solução de PVP foi obtida através da mistura de 10 g do polímero (PVP) em um béquer contendo 100 mL de álcool etílico, sem aquecimento e, sob constante agitação magnética, até que todo o polímero estivesse completamente dissolvido.
- II. Solução de TiO_2/WO_3 – À solução de TiO_2 supracitada foi acrescentado 0,10 g de ácido tungstíco (H_2WO_4) e 1 mL de peróxido de hidrogênio (H_2O_2).
- III. Solução de $\text{TiO}_2/\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ - À solução de TiO_2 supracitada foi acrescentado 0,10 g de tungstato de sódio di hidratado ($\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) e 1 mL de peróxido de hidrogênio (H_2O_2).
- IV. *Electrospinning* – Para a obtenção das fibras pelo processo de *electrospinning*, uma seringa plástica de 5 mL foi conectada a uma agulha hipodérmica de aço inox de 1 mm de diâmetro interno que foi preenchida com a solução precursora de TiO_2 , de TiO_2/WO_3 ou de $\text{TiO}_2/\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. A agulha foi conectada à fonte de alta tensão. A distância entre a ponta da agulha e o coletor cilíndrico rotativo revestido por uma folha de papel alumínio foi de 12 cm. Aplicou-se uma tensão de 13,5 kV entre a agulha e o coletor. Uma bomba de infusão (KD Scientific) controlou o fluxo da solução precursora (1,8 mL/h). As fibras foram coletadas a cada 30 minutos, durante o período de 4 horas para cada formulação.
- V. Sinterização das fibras - Ocorreu em um forno elétrico tipo mufla, marca SANCHIS, à temperatura de 650 °C, 700 °C, 750 °C e 800 °C. Os parâmetros processuais adotados foram; patamar de 1 hora e a taxa de aquecimento de 1,4 °C/h.

2.2 Preparo de dispersões das fibras e do padrão P25

As quantidades de reagentes utilizados na preparação das soluções que compunham os filmes e os procedimentos para a realização do *spin-coating* é uma adaptação a partir do trabalho de (TELOEKEN, 2016).

Antes da deposição das soluções sobre as placas de vidro, as mesmas foram lavadas com uma solução de acetona e água a 80 %v/v. Após o término da lavagem das placas de vidro, estas foram levadas a um banho ultrassônico por 15 minutos e depois secas com papel absorvente.

Depois foram misturados 0,25 g do padrão TiO_2 -P25 (Evonik-pó comercial) ou das

fibras tratadas termicamente a 650 °C, 700 °C, 750 °C e 800 °C em 8 mL de etanol anidro e 0,8 mL de acetilacetona (Sigma-Aldrich). As misturas foram dispersas em um ultrassom por 10 minutos. Após este período foram adicionados 0,1 mL de Triton X-100 (Sigma-Aldrich) e 0,4 g de polivinilbital (PVB) e mantidos sob agitação magnética por 10 minutos.

2.3 Spin-coating

Os filmes foram obtidos através da deposição de 5 gotas de cada uma das soluções preparadas anteriormente sobre placas de vidro (1 cm x 2 cm) recobertas com FTO (*Fluorine-Doped Tin Oxide*, XOP Glass). Estas placas de vidro foram fixadas com fita dupla face no lugar apropriado do equipamento para o início do processo de *spin-coating*. O equipamento utilizado foi um (TC 100 Spin Coater) com uma rotação de 800 RPM por 30 s.

2.4 Métodos de caracterização

Os filmes foram caracterizados por difração de raios X (DRX), microscopia eletrônica de varredura (MEV), energia de *band gap*, colorimetria e, avaliação da atividade fotocatalítica, através de ensaios de degradação de uma solução 20 ppm do corante alaranjado de metila, sob iluminação UVA-vis.

Os ensaios de difração de raios X (DRX) determinaram as fases cristalinas presentes nas amostras. O equipamento utilizado foi um difratômetro da marca PHILIPS, modelo X'PERT, com radiação CuK α , uma tensão de 40 kV e corrente de 40 mA, velocidade de 0,05°/min e, com um passo de 1 segundo em uma faixa de 5 a 75 °.

A morfologia das amostras foi observada através de um microscópio eletrônico de varredura (MEV JSM 6060) que opera com uma tensão de 0,1 a 30kV. Antes do início das análises de MEV, as amostras foram recobertas com uma fina camada de ouro (através da técnica de *sputtering*) visando elevar a condutividade do material e propiciar melhores imagens da superfície das amostras.

A correlação de Kubelka e Munk foi utilizada para fornecer os valores da energia de *band gap* das amostras. O equipamento utilizado foi um espectrofotômetro de feixe duplo UVA-Vis- NIR (Cary 5000), com uma esfera integradora no modo de reflexão difusa de luz. A colorimetria foi determinada por um colorímetro, modelo Colorium 2 equipado com o *software i7*. O equipamento possui geometria óptica de 45°/0°, uma esfera integradora de d/8°, com uma área de medição de 13 mm. O iluminante utilizado foi D65, que corresponde a faixa espectral da luz do dia, e o observador utilizado foi o que corresponde a um campo de visão de 10° para visualizar o objeto. O equipamento registra as informações para definir o índice de cor com base no sistema CIE-La*b*. Neste sistema, a cor é determinada conforme os valores positivos ou negativos das coordenadas a* (vermelho e verde) e b* (amarelo e azul). O L* define a luminescência variando entre 0 a 100%. E a atividade fotocatalítica das amostras de TiO₂ e de TiO₂/WO₃ ou de TiO₂/Na₂WO₄·2H₂O foi avaliada mediante o acompanhamento na alteração da concentração do corante alaranjado de metila, sob irradiação UVA-vis.

O processo de fotocatalise foi realizado em um reator de vidro *pyrex*, onde a radiação foi proporcionada por 12 lâmpadas negras UV-A, de 8 W cada, modelo Flúor BLB T5, da marca *Sadokin*. As lâmpadas estão dispostas em dois semi-cilindros, que possuem superfície interna refletora. Os demais componentes do reator fotocatalítico compreendem um agitador magnético, um sistema de aeração de ar comprimido e um banho termostático, (ALVES, 2008).

As alíquotas foram retiradas do frasco reator através de um canal fechado por um septo de silicone. A circulação de água foi realizada de forma constante, pela parte externa do frasco, possibilitando assim, manter a temperatura do ensaio fixa em 30 °C. O frasco possui também uma tampa com um prolongamento com ponta porosa para borbulhar ar comprimido no interior do líquido. Para a realização dos ensaios de fotocatalise, utilizou-se 125 mL de uma solução contendo 20 ppm do corante alaranjado de metila, transferidos para um reator fotocatalítico, com o sistema de luz UVA-vis ligado. A seguir a placa de vidro contendo o filme a ser estudado foi imobilizada dentro do reator. Antes do início de cada ensaio foi coletada uma alíquota de 4 mL da solução, definida como amostra inicial de referência (absorbância indicativa de concentração igual a 100% alaranjado de metila; tempo de reação de zero minutos). Esta primeira alíquota foi retirada antes da aplicação do sistema de luz, da circulação de água e do borbulhamento de ar. A partir deste momento foram retiradas com uma seringa de plástico alíquotas de 4 mL da solução em questão a cada 15 minutos. Em seguida as alíquotas foram filtradas em filtro de 0,2 μm e transferidas para cubetas de polimetilmetacrilato (PMMA). Com término do ensaio, as alíquotas foram analisadas por um espectrofotômetro (Cary 5000, Agilent, que possui acessório UMA).

O desempenho fotocatalítico de cada filme foi comparado ao TiO_2 -P25 (Evonik-pó comercial). As análises fotocatalíticas contendo os filmes de TiO_2 , de TiO_2/WO_3 ou de $\text{TiO}_2/\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ foram realizadas individualmente.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 1 a-c são fotografias das fibras de TiO_2 , TiO_2/WO_3 e de $\text{TiO}_2/\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ após a síntese das mesmas por *electrospinning*. Pelas imagens é possível perceber que todas as fibras sintetizadas apresentaram a coloração branca. Como não houve variação na cor apresentada pelas fibras, para fins de explanação foi escolhida uma amostra de cada precursor de TiO_2 , TiO_2/WO_3 e de $\text{TiO}_2/\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ tratada termicamente a 800 °C.

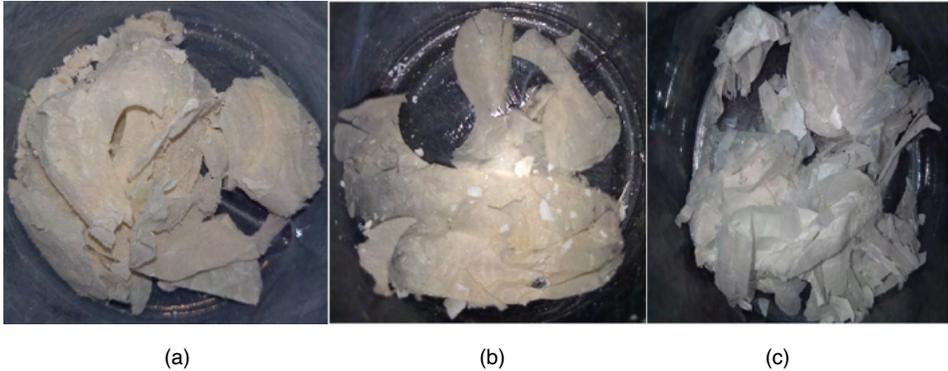


Figura 1. Fotografia das fibras de (a) TiO_2 , (b) TiO_2/WO_3 e de (c) $\text{TiO}_2/\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ sintetizadas por *electrospinning* tratadas termicamente a $800\text{ }^\circ\text{C}$, antes do teste colorimétrico.

Fonte: Próprias autoras, 2021.

A Figura 2 mostra os espectros de difração de raios X das amostras de TiO_2 , sem tratamento térmico (STT) e após o tratamento térmico a $650\text{ }^\circ\text{C}$, $700\text{ }^\circ\text{C}$, $750\text{ }^\circ\text{C}$ e $800\text{ }^\circ\text{C}$. As amostras de TiO_2 STT apresentaram-se amorfas. Para as amostras de TiO_2 tratadas até a temperatura de $700\text{ }^\circ\text{C}$ somente a presença da fase anatase (JCPDS 01-078-2486) foi identificada. O primeiro pico característico desta fase aparece em aproximadamente $2\Theta = 25,271^\circ$. Para as amostras de TiO_2 submetidas ao tratamento térmico a partir de $750\text{ }^\circ\text{C}$, foram identificadas além da fase anatase a formação da fase rutilo (JCPDS 01-077-0442). O primeiro pico característico da fase rutilo aparece em aproximadamente $2\Theta = 27,294^\circ$.

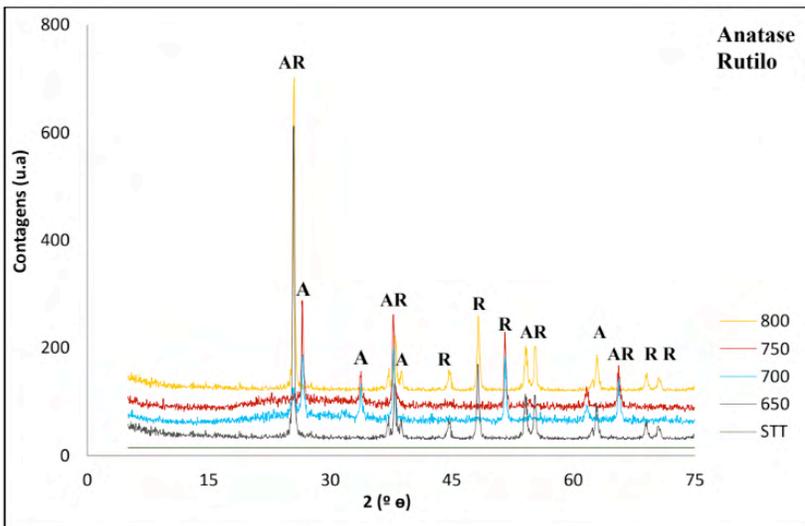


Figura 2: Espectros de difração de raios X das amostras sem tratamento térmico e das tratadas entre as temperaturas de $650\text{ }^\circ\text{C}$ e $800\text{ }^\circ\text{C}$.

Fonte: Próprias autoras, 2021.

A Figura 3 mostra os resultados dos ensaios de difração de raios X das amostras de TiO_2/WO_3 , sem tratamento térmico (STT) e após o tratamento térmico a 650 °C, 700 °C, 750 °C e 800 °C. As amostras de TiO_2/WO_3 STT apresentaram-se amorfas. Nos filmes tratados até a temperatura de 650 °C foram identificadas as fases anatase (JCPDS 01-078-2486) e brookita (JCPDS 01-075-1582) para o TiO_2 com picos característicos em aproximadamente $2\Theta = 25,271^\circ$ e $25,425^\circ$, respectivamente. Para o WO_3 foi detectada a fase monoclinica (JCPDS 00-032-1393), em todas as temperaturas de tratamento térmico, com primeiro pico característico em aproximadamente $2\Theta = 23^\circ$. Os filmes tratados a partir de 700 °C apresentaram para o TiO_2 além das fases anatase e brookita também a presença da fase rutilo (JCPDS 01-077-0442), esta última com o primeiro pico característico em aproximadamente $2\Theta = 27,294^\circ$.

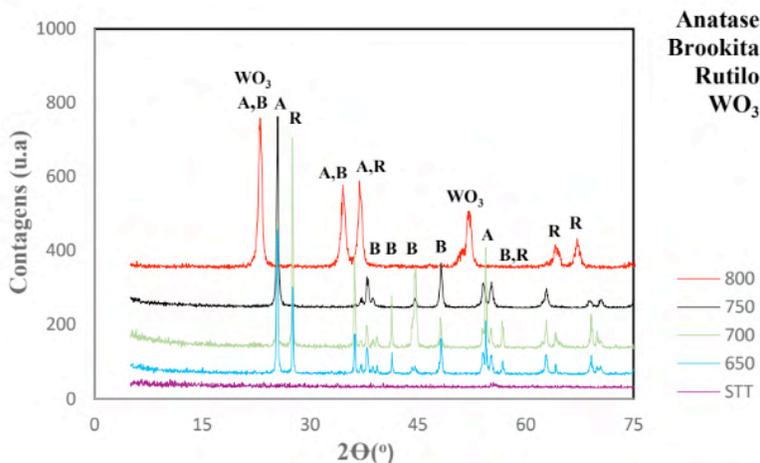


Figura 3: Espectros de difração de raios X das amostras de TiO_2/WO_3 sem tratamento térmico e das tratadas entre as temperaturas de 650 °C e 800 °C.

Fonte: Próprias autoras, 2021.

As amostras de tungstato de sódio di hidratado tratadas até a temperatura de 700 °C, (Figura 4), apresentaram a fase monoclinica para o WO_3 (JCPDS 00-032-1393), a fase anatase (JCPDS 01-078-2486) e brookita (JCPDS 01-075-1582) para o TiO_2 . Para os filmes calcinados a 750 °C foram identificadas as fases anatase e brookita para o TiO_2 e tetragonal (JCPDS 00-002-0414) para o WO_3 , com o primeiro pico em $2\Theta = 37,604^\circ$. Já os filmes calcinados a 800 °C apresentaram as fases anatase, brookita e rutilo (JCPDS 01-077-0442) para o TiO_2 e predominância da fase tetragonal para o WO_3 . O grupo $\text{Na}(\text{OH})$ apresentou a fase ortorrômbica (JCPDS 00-035-1009) identificado em todas as amostras tratadas entre 650 e 800 °C, com primeiro pico em aproximadamente $2\Theta = 16^\circ$. As diferenças observadas na estrutura cristalina do WO_3 , já eram esperadas, em razão da mistura de óxidos de titânio

e tungstênio e da transição entre as fases monoclínica e tetragonal do WO_3 , que ocorre com o aumento da temperatura de tratamento térmico.

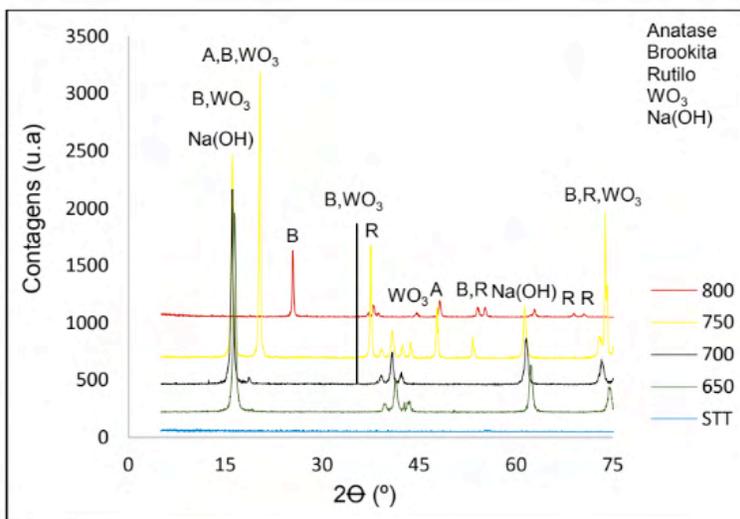


Figura 4: Espectros de difração de raios X das amostras de $\text{TiO}_2/\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ sem tratamento térmico e das tratadas entre as temperaturas de 650 °C e 800 °C.

Fonte: Próprias autoras, 2021.

A Figura 5a-c mostra as imagens de microscopia eletrônica de varredura (MEV) da superfície das amostras de TiO_2 , TiO_2/WO_3 e $\text{TiO}_2/\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Em geral, os filmes contendo as fibras de TiO_2 (Figura 5a) parecem não possuírem uma orientação preferencial, apresentando uma microestrutura alongada e contínua. Essas observações também foram relatadas por (SHIM, 2009 e NGUYEN, 2011) quando obtiveram fibras cerâmicas pelo processo de *electrospinning*. Os filmes contendo as fibras de TiO_2/WO_3 (Figura 5b) apresentam-se em forma de bastonete, provavelmente devido a presença da fase rutilo (SHIM, 2009). Há relatos na literatura de que o TiO_2 nesta fase cristalina é capaz de formar grandes nanocristais em forma de bastonetes (SHIM, 2009). As fibras aparentam possuir em sua estrutura vários grãos, com tamanhos maiores que os observados para as fibras de TiO_2 . A presença de WO_3 foi identificada por espectroscopia de energia dispersiva (EDS). Observando-se as amostras de $\text{TiO}_2/\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (Figura 5c) nota-se um aglomerado de fibras alongadas. A presença deste aglomerado de fibras pode estar associada ao fato de que as fibras são compostas por $\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (PIKUDA, 2017 e GARCIA, 2016). A espectroscopia de energia dispersiva (EDS) indicou a existência de átomos de Na, W, Ti e O em todas as amostras de $\text{TiO}_2/\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, proveniente do precursor ($\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) utilizados na síntese dessas fibras.

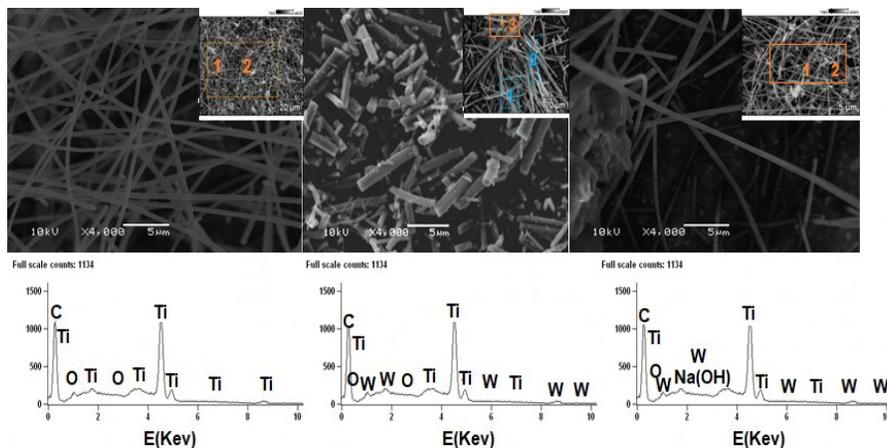


Figura 5: Imagens de microscopia eletrônica de varredura (MEV) da superfície das amostras de (a) TiO_2 , (b) TiO_2/WO_3 e (c) $\text{TiO}_2/\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

Fonte: Próprias autoras, 2021.

A Figura 6a-c mostra a coloração das soluções de TiO_2 , TiO_2/WO_3 e de $\text{TiO}_2/\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ antes da síntese das fibras por *electrospinning*. A solução de TiO_2 é amarelo-claro. A solução de TiO_2/WO_3 é amarelo. A solução de $\text{TiO}_2/\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ é transparente.

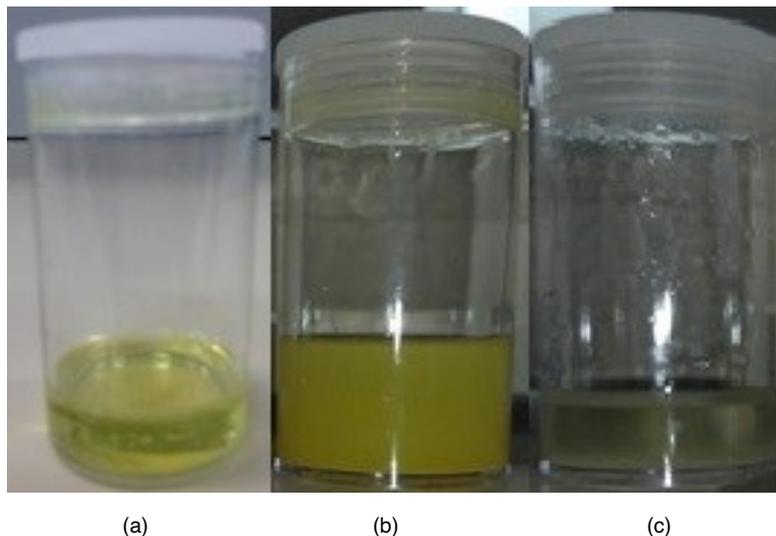


Figura 6: Cores transmitidas pelas soluções de (a) TiO_2 , (b) TiO_2/WO_3 e de (c) $\text{TiO}_2/\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

Fonte: Próprias autoras, 2021.

Em análises colorimétricas o máximo de absorvância ocorre na região da coloração complementar. Os resultados foram obtidos com o auxílio do *software i7* que registra

várias informações para cada análise, sendo as mais úteis para definir a região de máxima absorvância, as do sistema CIE-La*b*. A explicação de como funciona o sistema de cores CIE-La*b* está ilustrado através da Figura 7.

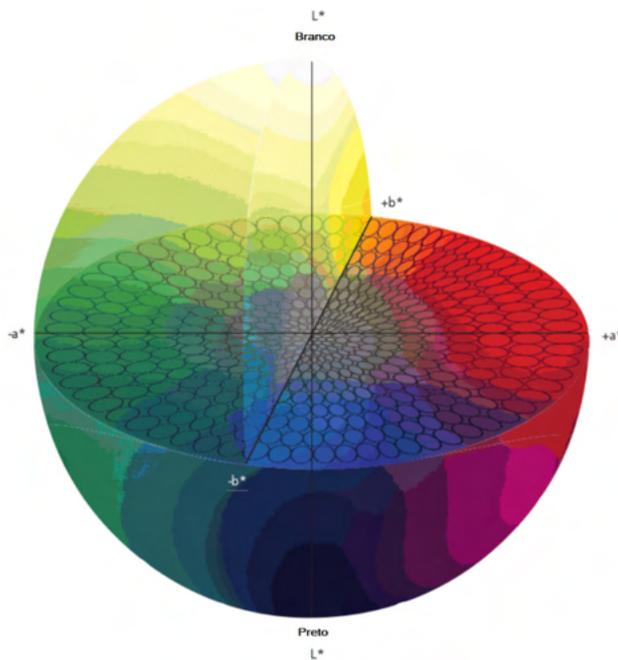


Figura 7. Esfera de cores do sistema CIE-Lab.

Fonte. HAMESTER, 2014.

As amostras de TiO_2 tiveram máxima absorvância de luz na região de 570-590 nm (cor azul-escuro), influência dos valores positivos de a^* (cor vermelho) e negativos de b^* (cor azul). Já se esperava este resultado, pois a cor da solução de TiO_2 é amarelo-claro (Figura 6a), que é a cor complementar ao azul. Já as amostras de TiO_2/WO_3 tiveram máxima absorvância de luz na região de 400-440 nm (cor amarelo – esverdeado Figura), influência dos valores negativos de a^* (cor verde) e positivos de b^* (cor amarelo). Já se esperava este resultado, pois a solução de TiO_2/WO_3 é amarelo (Figura 6b), que é a cor complementar ao azul. E por fim, as amostras de $\text{TiO}_2/\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ tiveram máxima absorvância de luz na região de 450-500 nm (cor amarelo) influência dos valores positivos de a^* (cor vermelho) e b^* (cor amarelo). Este resultado já era esperado pois, a solução de $\text{TiO}_2/\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (Figura 6c) é transparente. No caso de um material transparente todas as cores não vistas no filtro ou que não passam por ele são absorvidas. Com base nisto, a cor absorvida pelas fibras de $\text{TiO}_2/\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ foi o amarelo, que é a cor complementar ao azul.

A capacidade dos olhos humanos para diferenciar as alterações de cor entre as

amostras foi determinada através dos valores obtidos pela associação da L^* (luminescência Tabela 2), ΔE (diferença de cor Tabela 2) e a (Norma DIN 6174, 1979, Tabela 1).

Diferença de cor (ΔE^*ab)	Classificação
0,0 – 0,2	Imperceptível
0,2 – 0,5	Muito pequena
0,5 – 1,5	Pequena
1,5 – 3,0	Distinguível
3,0 – 6,0	Facilmente distinguível
Maior que 6,0	Muito grande

Tabela 1. Norma DIN 6174.

A Tabela 2 apresenta os valores de luminescência (L^*), ou seja, a cor percebida pelos olhos, durante a irradiação UVA-vis sobre as amostras de TiO_2 , TiO_2/WO_3 e de $TiO_2/Na_2WO_4 \cdot 2H_2O$. Os olhos perceberam cores escuras para as amostras de TiO_2 , devido ao valor de $L < 50$ e cores claras para as amostras de TiO_2/WO_3 e de $TiO_2/Na_2WO_4 \cdot 2H_2O$, devido ao valor de $L > 50$. Esta informação visual gerada e percebida pelos olhos apresentou-se distinguível para as amostras de TiO_2 e facilmente distinguível nas amostras de TiO_2/WO_3 e de $TiO_2/Na_2WO_4 \cdot 2H_2O$. Estes resultados se basearam nos valores da diferença de cor (ΔE) apresentados na Tabela 2. Os olhos humanos não conseguem distinguir diferenças de cor menores de $\Delta E = 1$.

Amostras	%L (Luminescência)	Diferença de cor (ΔE)	Capacidade de percepção da cor pelo olho humano
Filmes de TiO_2	32,15	2,32	Distinguível
Filmes de TiO_2/WO_3	83,24	3,53	Facilmente Distinguível
Filmes de $TiO_2/Na_2WO_4 \cdot 2H_2O$	89,02	3,79	Facilmente Distinguível

Tabela 2. Valores de luminescência, diferenças de cor e capacidade de percepção da cor pelo olho humano.

Os valores da *band gap* das amostras de TiO_2 , TiO_2/WO_3 e de $TiO_2/Na_2WO_4 \cdot 2H_2O$ são apresentados na Tabela 3. Estes valores são importantes pois, a distinção entre óxidos semicondutores ou isoladores é realizada com base na ocupação das bandas de energia. A Tabela 3 mostra uma redução no *band gap* das amostras conforme aumenta a temperatura de calcinação. Este aumento na temperatura favorece: as propriedades ópticas do material, os efeitos de superfície sobre a distribuição de níveis eletrônicos e também permite que as amostras de TiO_2/WO_3 e de $TiO_2/Na_2WO_4 \cdot 2H_2O$ tenham uma inibição da recombinação das cargas do par elétron/lacuna permitindo a transferência de cargas entre os dois

óxidos (TiO_2 e WO_3), aumentando a capacidade de absorção de luz (SOARES, 2018). Em semicondutores intrínsecos, como no caso dos filmes obtidos neste trabalho, a energia de *band gap* (E_g) é caracterizada por uma banda de valência completamente preenchida e uma banda de condução completamente vazia. É através da excitação térmica ou óptica dos elétrons que ocorre a formação do *gap* de energia na banda de valência, e os elétrons são promovidos para a banda de condução. Com o aumento da temperatura têm-se a redução de *band gap* das fibras além da geração de desordem na estrutura eletrônica das mesmas, favorecendo as suas propriedades ópticas (MING CHIANG, *et al.*, 1997).

Amostras	Valores de <i>band gap</i> (eV)
Filmes de TiO_2 -650°C	3,24
Filmes de TiO_2 -700°C	2,93
Filmes de TiO_2 -750°C	2,85
Filmes de TiO_2 -800°C	2,82
Filmes de TiO_2/WO_3 -650°C	2,58
Filmes de TiO_2/WO_3 -700°C	2,57
Filmes de TiO_2/WO_3 -750°C	2,56
Filmes de TiO_2/WO_3 -800°C	2,54
Filmes de $\text{TiO}_2/\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ -650°C	2,52
Filmes de $\text{TiO}_2/\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ -700°C	2,32
Filmes de $\text{TiO}_2/\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ -750°C	2,27
Filmes de $\text{TiO}_2/\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ -800°C	2,24
Pò comercial TiO_2 Evonik	3,2

Tabela 3. Valores da *band gap* das amostras.

Os gráficos de fotocatalise são apresentados a seguir, foram plotados com base na relação C/C_0 , onde C é a concentração molar da solução aquosa de corante em presença do catalisador (filme ou P25 - pó comercial) no tempo da análise. E C_0 é a concentração molar inicial da solução aquosa de corante sem a presença do catalisador (filme ou P25 – pó comercial).

A Figura 8 apresenta a atividade fotocatalítica das amostras de TiO_2 e do padrão-P25, na descoloração da concentração relativa do corante alaranjado de metila, sob iluminação UVA-vis ($\lambda = 365 \text{ nm}$). As amostras de TiO_2 mais fotoativas foram as tratadas a 650 °C. Elas diminuíram 35% da concentração relativa do corante, em 135 minutos de iluminação UVA-vis. As amostras tratadas a 700 °C e 750 °C, respectivamente, tiveram uma fotoatividade parecida, diminuindo 33% do corante, em 135 minutos de irradiação UVA-vis. Mesmo as amostras tratadas a 800 °C, que apresentaram menor fotoatividade, 27%, também tiveram uma fotoatividade superior a do padrão P25 (26%). O motivo para tal redução se deve a formação da fase rutilo nas amostras tratadas em temperaturas acima de 700 °C. Segundo

a literatura (FELTRIN, *et al.*, 2013) esta fase deve surgir a partir de tratamentos térmicos acima de 400 °C, e é menos fotoativa do que a fase anatase. Por isto, ocorre uma redução da fotoatividade com o aparecimento desta fase (rutilo) nas amostras.

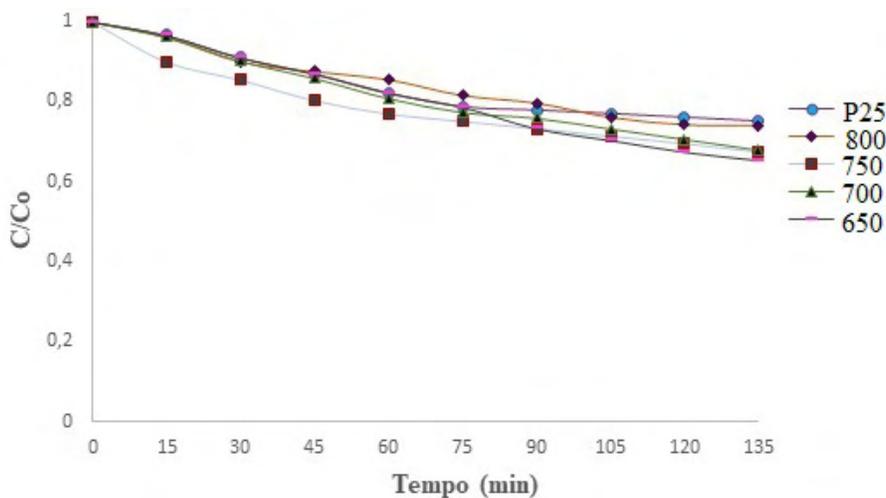


Figura 8: Fotoatividade das amostras de TiO_2 na descoloração do corante alaranjado de metila.

Fonte: Próprias autoras, 2021.

A Figura 9 apresenta a atividade fotocatalítica das amostras de TiO_2/WO_3 e do padrão-P25, na descoloração da concentração relativa do corante alaranjado de metila, sob irradiação UVA-vis ($\lambda = 365 \text{ nm}$).

Nota-se pelo gráfico que presença do tungstênio (H_2WO_4) nas amostras aumenta consideravelmente a fotoatividade destas. Isso ocorre porque a presença de ácido tungstico altera a posição da banda de valência e da banda condução do WO_3 em relação ao TiO_2 , inibindo a recombinação do par elétron/lacuna permitindo a transferência de cargas entre os dois semicondutores, aumentando a eficiência do processo. A redução *do band gap* do TiO_2 (Tabela 3) e o surgimento da fase brookita, que dentre as fases polimórficas do TiO_2 é a que possui menor *gap* (FELTRIN, *et al.*, 2013), também colaboraram para o aumento da fotoatividade.

Possivelmente pela ocorrência de um sinergismo entre a fase anatase e rutilo, que aumenta a fotoatividade destas amostras (SOARES, 2018).

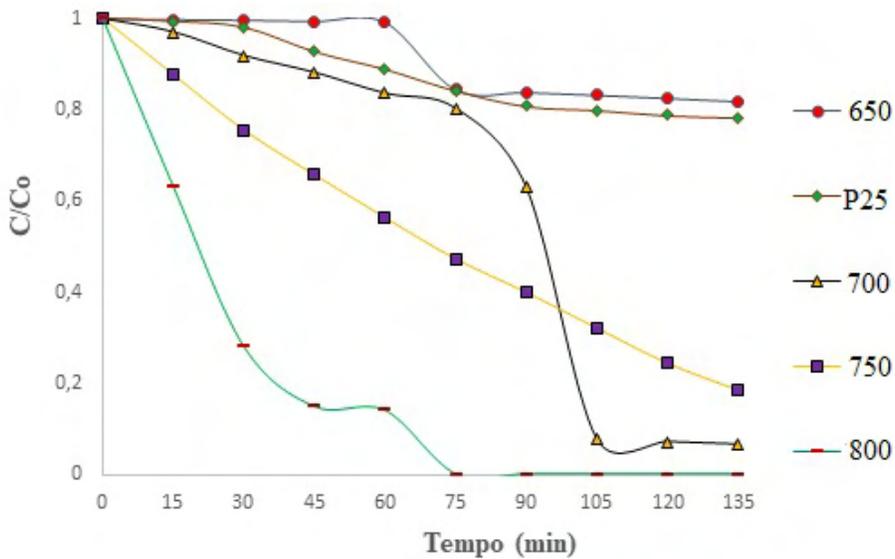


Figura 9: Fotoatividade das amostras de TiO₂/WO₃ na descoloração do corante alaranjado de metila.

Fonte: Próprias autoras, 2021.

As amostras mais eficazes na degradação do corante alaranjado de metila foram os filmes contendo TiO₂/Na₂WO₄·2H₂O tratados a 700, 750 e 800 °C, respectivamente (Figura 10). Estas amostras degradaram aproximadamente 100% do corante em 90 minutos de exposição a radiação UVA-vis. As razões para ocorrência de tal efetividade se devem, além do sinergismo existente entre as fases anatase e rutilo, a redução do *band gap* das amostras, também a presença do sódio associado ao aumento na temperatura de tratamento térmico, que aumentou o número de defeitos (vacâncias de O₂) na rede cristalina do TiO₂. As vacâncias de O₂ são defeitos pontuais que ocupam posições atômicas de rede e estão fortemente ligadas à aplicação em fotocatalise. Com a presença do sódio o TiO₂ adquiriu estabilidade da fase estrutural, responsável pelo aumento da condutividade para o íon oxigênio. A elevação da temperatura de tratamento térmico possibilitou que as vacâncias de O₂ adquirissem a mobilidade necessária para passar para um estado desordenado na sub-rede aniônica (MUCCILLO, 2008). Em um estudo realizado por (CHEN *et al.*, 2018) descrevem a obtenção de nanopartículas de TiO₂ black com excelente desempenho fotocatalítico, devido a geração de vacâncias de O₂.

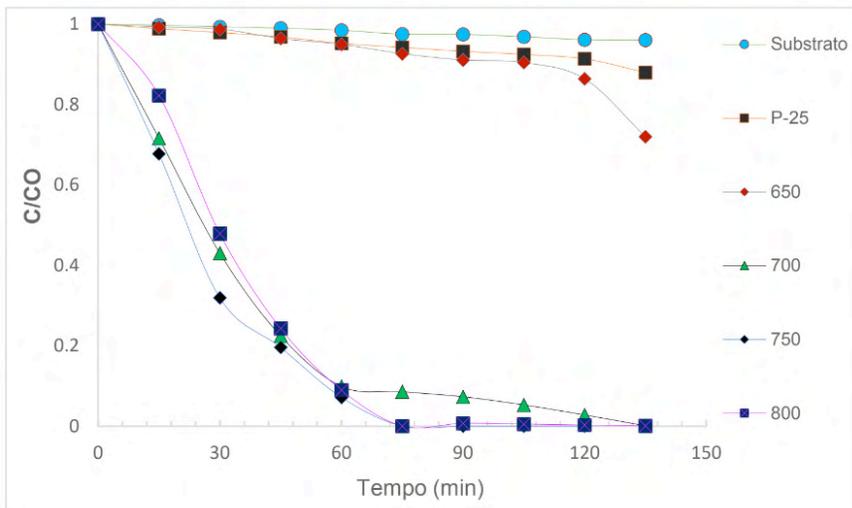


Figura 10: Fotoatividade das amostras de $\text{TiO}_2/\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ na descoloração do corante alaranjado de metila.

Fonte: Próprias autoras, 2021.

4 | CONCLUSÕES

A visão colorida do espectro visível depende da iluminação, que define que ao aproximar-se do nascer do sol nossos cones ainda não estão totalmente ativados, então nossa visão de cores limita-se ao azul verde e amarelo. Com mais iluminação temos o acionamento total da fóvea e todo o espectro pode ser visto. O aumento da temperatura de calcinação provocou uma desordem na estrutura eletrônica das amostras que diminuiu o *band gap* dos filmes e favoreceu muitas de suas propriedades ópticas. E isto pode ser observado nos filmes obtidos, pois conforme aumentou a temperatura de tratamento térmico aos quais as amostras foram submetidas, ocorre uma redução nos valores de *band gap* das mesmas. Isto é, o aumento da excitação térmica através da elevação da temperatura promoveu os elétrons da banda de valência para a banda de condução. As propriedades ópticas foram influenciadas pela temperatura de calcinação que provocou uma desordem na estrutura eletrônica das amostras, intensificando a absorção de luz pelas mesmas.

AGRADECIMENTOS

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

REFERÊNCIAS

- ALVES, A. K. **Obtenção de micro e nanofibras de TiO₂ por *electrospinning*: caracterização de propriedades e atividade fotocatalítica**. 2008. 136p. Tese (Doutorado em Engenharia – Ciência e Tecnologia dos Materiais) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, PPG3M/RS, Porto Alegre.
- BERTOLINI, C. **Sistema para medição de cores utilizando espectrofotômetro**, estado de Santa Catarina, Brasil, 2010. Trabalho de Conclusão de Curso (Centro de Ciências Exatas e Naturais Curso de Ciência da Computação – Bacharelado) - FURB, Universidade Regional de Blumenau, 2010.
- CALLISTER JÚNIOR, W. D. **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução**. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2002.
- CHEN, S., XIAO, Y., WANG, Y., HU, Z., ZHAO, H., AND XIE, W. A Facile Approach to Prepare Black TiO₂ with Oxygen Vacancy for Enhancing Photocatalytic Activity. *Nanomaterials*, 8, (2018) 2-16.
- FELTRIN, J.; SARTOR, M. N., De NONI, A. J; BERNARDIN, A. M.; HOTZA, D., LABRINCHA, J. Superfícies fotocatalíticas de titânia em substratos cerâmicos. Parte I: Síntese, estrutura e fotoatividade. *Cerâmica*, 59, (2013) 620-632.
- GARCIA, A.P. **Síntese e caracterização de nanoestruturas de TiO₂ de alta eficiência fotocatalítica obtidas pelo método dos peróxidos oxidantes combinado com tratamento solvotermal assistido por micro-ondas**, estado do Rio Grande do Sul, Brasil. Tese (Doutorado em Engenharia - Ciência e Tecnologia dos Materiais) - UFRGS, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.
- HAMESTER L. S. **Desenvolvimento de um colorímetro in-line para o monitoramento da extrusão de polímeros**. 153p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) - Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia - Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2014.
- LOPES, L.C. **Controle metrológico da cor aplicado à estampa digital de materiais têxteis**, estado do Rio de Janeiro, Brasil. 2009. Dissertação (Mestrado em Metrologia para a Qualidade e Inovação) – PUCRJ, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2009.
- MING CHIANG, Y., DUNBAR BIRNIEIII, P., DAVID KINGERY, W. Physical ceramics: principles for ceramic Science and engineering. 2. ed. New York: John Wiley & Sons, 1997.
- MUCCILLO, E.N.S. Condutores de íons oxigênio - uma breve revisão. *Cerâmica*, 54, (2008) 129-144.
- NGUYEN, T. A.; JUN, T. S.; RASHID, M.; KIM, Y. S. Synthesis of mesoporous tungsten oxide nanofibers using the *electrospinning* method. *Materials Letters*, 65, (2011) 2823–2825.
- OLIVEIRA, H.G. **Eletrodos Porosos Contendo TiO₂ e WO₃: Propriedades Eletroquímicas e Atividade Fotocatalítica Para Remoção do Corante Rodamina 6G e do Hormônio 17 α -Ethinilestradiol em Solução Aquosa**. 2012. 188p. Doutorado. (Tese de doutorado em Ciências) Instituto de Química da Universidade Estadual de Campinas SP/Campinas.
- PIKUDA, O.; GARLISI, C.; SCANDURA, G.; PALMISANO, G. Micro-mesoporous N-doped brookite-rutile TiO₂ as efficient catalysts for water remediation under UV-free visible LED radiation. *Journal of Catalysis*, 346, (2017) p. 109–116.

SHIM, H.S.; KIM, W. J.; SUNG, Y. E.; KIM, W. B. Electrochromic properties of tungsten oxide nanowires fabricated by electrospinning method. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 93, (2009) 2062-2068.

SOARES, L. G. **Obtenção por *electrospinning* e caracterização de fibras nanoestruturadas de TiO_2 e sua aplicação fotocatalítica.** 2013. 82p. Dissertação (Mestrado em Engenharia – Ciência e Tecnologia dos Materiais) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, PPGE3M/RS, Porto Alegre.

SOARES, L.G; ALVES, A.K. Analysis of colorimetry using the CIE-L*a*b* system and the photocatalytic activity of photochromic films. *Materials Research Bulletin*, 105, p.318–321. 2018.

SOARES, L. G. **Correlação entre as propriedades fotocromicas e atividade fotocatalítica dos óxidos de titânio e tungstênio.** 2018. 116p. Tese (Doutorado em Engenharia – Ciência e Tecnologia dos Materiais) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, PPGE3M/RS, Porto Alegre.

TELOEKEN, A.C. **Efeito da Adição de Polivinilbutiral na Obtenção de filmes de TiO_2 por *Dip-Coating*, sua Caracterização Microestrutural e Fotoeletrolítica na Produção de Hidrogênio a Partir da Água.** 2015. 105p. Tese (Doutorado em Engenharia – Ciência e Tecnologia dos Materiais) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, PPGE3M/RS, Porto Alegre.

TIANO, P. C. M. **Cor e colorimetria: minicursos CRQ-IV**, estado de São Paulo, Brasil. 2009.

VON BEZOLD, J. F. W. Ueber das gesetz der farbenmischung und die physiologischen grundfarben. *Annalen der Physik*, 226, p. 221-247, 1873.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Adesivos 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77

Amazônia 106, 107, 113

Análise de imagens 1, 11, 12, 14, 16

Argamassa 115, 116, 117, 119, 120, 129, 130, 131

C

Compósitos poliméricos 50, 52, 56, 57, 63, 64, 110, 112, 113

D

Desfosforação de ferro-gusa 1, 17

Dessulfuração 18, 19, 20, 21, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31

E

Epóxi 59, 65, 66, 67, 70, 71, 72, 73, 74, 75

F

Fator de dessulfuração 18, 20, 21, 24, 29, 30, 31

Fibras 34, 35, 36, 37, 38, 40, 41, 42, 44, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 61, 62, 63, 64, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 114

Fluxantes 19

Fotocatálise 32, 37, 44, 46

Fotocromismo 32

Fratura 50, 54, 56, 62, 63

G

Guatteria schomburgkiana 106, 107, 112

H

Hibridização 50

J

Juntas coladas 65, 66, 71, 77

M

Madeira 95, 96, 97, 100, 101, 102, 106, 107, 108, 110, 112

Manifestações patológicas 115, 116, 117, 118, 120, 122, 128, 129, 130

P

Propriedades adesivas 65

Propriedades mecânicas 19, 50, 51, 52, 54, 55, 57, 58, 59, 62, 63, 64, 65, 76, 113

R

Revestimentos 115, 116, 117, 119, 120, 126, 127, 129, 130, 131, 132

S

Spin-coating 32, 33, 35, 36

T

Termodinâmica computacional 1, 3, 6, 8, 9, 14, 17, 18, 20, 21, 31

Trióxido de tungstênio 32

www.atenaeditora.com.br 

contato@atenaeditora.com.br 

[@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora) 

www.facebook.com/atenaeditora.com.br 



Engenharia & ciência dos materiais

www.atenaeditora.com.br 

contato@atenaeditora.com.br 

@atenaeditora 

www.facebook.com/atenaeditora.com.br 



Engenharia & ciência dos materiais