



ConBRepro

X CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO



02 a 04
de dezembro 2020

Processos degradativos em um sistema fotocatalítico: uma revisão de literatura

William Felipe Wolf
Sergio Mazurek Tebacherani
Vander Luiz da Silva
Myller Augusto Santos Gomes

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, Paraná, Brasil

Resumo: Para descobrir universos desconhecidos a pesquisa bibliométrica se apresenta como uma oportunidade de aprofundamento e compreensão. Semicondutores nanoestruturados ZnO e SnO₂ tem sido amplamente estudados devido suas características únicas que os tornam viáveis para diversas aplicações. O trabalho tem como objetivo apresentar resultados de revisão de literatura sobre fotocatalise utilizando nanocompósitos de ZnO/SnO₂ e dopagem de íons de um elemento no óxido do outro elemento metálico (ZnO dopado com íons Sn, ou SnO₂ dopado com íons Zn). A revisão de literatura foi desenvolvida em duas bases de dados, Scopus e Web of Science com as palavras “photocatalytic”, AND “zinc” AND “tin”. Procedimentos metodológicos formais foram utilizados. A formação de pares ou a dopagem aumenta a eficiência fotocatalítica, especialmente pela formação de heterojunção, aparecimento de novos estados de aprisionamento, geração de defeitos, aumento da condutividade e aumento de área superficial.

Palavras-chave: Fotocatalítico, Estanho, Zinco, Bibliometria.

Degradative processes in a photocatalytic system: a literature review

Abstract: To discover unknown universes, bibliometric research presents itself as an opportunity for deepening and understanding. Nanostructured semiconductors ZnO and SnO₂ have been widely studied due to their unique characteristics that make them viable for several applications. The work aims to present results of literature review on photocatalysis using ZnO / SnO₂ nanocomposites and ions doping in the oxide of the other metallic element (ZnO doped with Sn ions, or SnO₂ doped with Zn ions). The literature review was developed in two databases, Scopus and Web of Science with the words “photocatalytic”, AND “zinc” AND “tin”. The formation of pairs or doping increases the photocatalytic efficiency, especially by the formation of heterojunction, the appearance of new entrapment states, generation of defects, increased conductivity and increased surface area.

Keywords: Photocatalytic, Tin, Zinc, Bibliometry.

1. Introdução

No decorrer dos anos ocorreu um aumento e acúmulo de grandes quantidades de resíduos no meio ambiente e seus componentes físico-químicos, que são descartados como poluentes, influenciam de maneira negativa a vida humana e os ecossistemas. Essas contaminações podem gerar os mais variados tipos de sintomas para a vida humana, dores de cabeça, disfunções no sistema digestivo, irritações dermatológicas, disfunções em órgãos, entre outras causas (GUNTI; KUMAR; RAM, 2018). Entre essas substâncias / componentes que são geradas através de utilizações domésticas, industriais e agrícolas, os poluentes assumem ampla proporção na contaminação de água, ar e ambientes. Dentre os resíduos e produtos encontrados de caráter prejudicial ao ecossistema pode-se indicar uma série de organismos e microrganismos patogênicos como bactérias, vírus, protozoários e helmintos, produtos de descarte industrial como corantes da indústria têxtil e moléculas de poluentes orgânicos em geral, produtos provenientes da agroindústria como agrotóxicos, herbicidas, pesticidas, inseticidas e também resíduos medicamentosos encontrados no meio ambiente o quais podem ser provenientes de um descarte indevido (SHANNON et al. 2010; GUNTI; KUMAR; RAM, 2018).

Há constante busca de pesquisadores por tecnologias que auxiliem na degradação dessas substâncias nocivas ao meio ambiente e aos seres vivos, dentre as opções estudadas destacam-se os processos de oxidação avançada, em especial a fotocatalise. As características fotocatalíticas podem ser encontradas em óxidos metálicos como TiO_2 , SnO_2 , SiO_2 , ZnO , WO_3 , CeO_2 , CuO , NiO , Mn_3O_4 (TALEBIAN et al. 2011; GNANASEKARAN et al. 2017; GUNTI; KUMAR; RAM, 2018).

A atividade fotocatalítica do óxido metálico está diretamente relacionada às suas propriedades físico-químicas, e são influenciadas por diversos fatores como, por exemplo, estrutura cristalina, distribuição de tamanho, forma e modificações na composição. Com o processamento empregado, é possível controlar parâmetros para obter propriedades mais adequadas e uma melhor eficiência fotocatalítica de acordo com a aplicação requerida.

Diversas finalidades podem ser encontradas nos Óxidos semicondutores, isto devido suas capacidades fotocatalíticas, como materiais antimicrobianos (ERKAN; BAKIR; KARAKAS, 2006), autolimpantes (BRÄUER; KONDRUWEIT, 2009) para purificação de água e ar (CHONG et al. 2010; PAZ, 2010), produção de energia solar (KUDO; MISEKI, 2009; DAS et al. 2018) e produção de hidrogênio (KUDO; MISEKI, 2009).

Os processos fotocatalíticos estão focados em técnicas mais aperfeiçoadas na degradação de poluentes presentes em água e ar. Normalmente para tratamento de

efluentes são utilizadas outras técnicas devido à grande proporção de material a ser tratado, e a fotocatalise é aplicada quando há a necessidade de maior refinamento no tratamento, ou quando a técnica se faz necessária devido à alta eficiência e baixo impacto. A utilização de óxidos metálicos é normalmente feita através da formação de filmes finos em superfícies em contato com o meio, ou aplicação do pó do óxido com a irradiação de luz. Há a formação de cargas na superfície do material que dão sequência a reações de degradação pela geração de elementos altamente reativos como radicais hidroxila e superóxidos. A atuação desses elementos reativos faz com que as moléculas de poluentes sejam decompostas em compostos não nocivos ao meio ambiente como dióxido de carbono, água, inorgânicos e outros produtos inofensivos. O desenvolvimento de novos materiais fotocatalisadores busca maior amplitude de absorção do espectro, pois esses materiais são normalmente fotoativados pela luz na região ultravioleta, e a luz solar é composta por apenas cerca de 5% de UV, buscam também maior velocidade na geração dessas cargas superficiais (buracos-elétrons) e principalmente uma redução na taxa de recombinação das cargas (ANDREOZZI et al., 1999; MENDOZA-DAMIÁN et al., 2016).

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho é apresentar resultados de revisão de literatura sobre fotocatalise utilizando nanocompósitos de ZnO/SnO₂ e dopagem de íons de um elemento no óxido do outro (ZnO dopado com íons Sn, ou SnO₂ dopado com íons Zn). Espera-se com esta pesquisa motivar mais pesquisadores a considerar sistemas fotocatalíticos em processos degradativos para fins de preservação do meio ambiente.

2. Metodologia

Este estudo é de caráter teórico e foi fundamentado mediante revisão de literatura de artigos científicos internacionais. Para elaboração de revisão de literatura foi adotada a metodologia de Pagani et al. (2015). Os autores propõem fases para seleção de material bibliográfico.

Resumidamente, as fases adotadas por nós foram a definição de bases de dados, a Scopus e Web of Science. Essas bases possuem amplo número de trabalhos de temas diversificados. Neste caso, nosso foco está em processos fotocatalíticos.

Em posterior, em duas bases de dados distintas, a combinação de palavras-chave Photocatalytic AND zinc AND tin foram pesquisadas. Os resultados brutos de artigos científicos indexados nas bases foram agrupados e eliminadas duplicidades a partir do Mendeley® software. Os procedimentos de pesquisa nas bases de dados foram title-abstract-keywords, período all years limitado até o mês de setembro de 2020.

Os artigos distintos - sem duplicidades foram analisados por meio de bibliometria. A bibliometria buscou retratar anos de publicações, principais periódicos, países filiados aos autores, termos mais frequentes. Por fim, os artigos com maiores proximidades ao tema alvo foram listados e descritos no Apêndice 1.

3. Resultados e discussão

3.1 Caracterização do tema pesquisado

Quando um semicondutor é irradiado com a incidência de luz, em espectro visível ou na região ultravioleta, há formação de portadores de carga. Ao absorver o fóton, os elétrons da banda de valência recebem energia suficiente para saltarem para a banda de condução, gerando-se o par buraco-elétron (e^-/h^+). Decorrente da mudança no nível de energia do elétron, o material fotocatalítico é capaz de oxidar e reduzir compostos adsorvidos na superfície. Neste contexto, com a falta de elétron na banda de valência, o “buraco” se torna um agente oxidante, e os elétrons em excesso na banda de valência tornam-se agentes redutores. Dependendo da individualidade das moléculas orgânicas, inúmeras possibilidades de reações podem ocorrer, mas normalmente essas reações de degradação ocorrem com o envolvimento de radicais superóxidos, $O_2^{\cdot-}$, e radicais hidroxilas, $\cdot OH$. Os $O_2^{\cdot-}$ surgem da redução de moléculas de oxigênio, e com posteriores reações com H_2O , íons OH^- são formados. Tanto íons OH^- , quanto moléculas de H_2O ao reagirem com “buracos” formam radicais $\cdot OH$ (GERISCHER, HELLER, 1991).

Com um alto valor de potencial de redução e baixa seletividade, radical hidroxila possui alta reatividade sendo muito efetivo na degradação de moléculas. O ideal é que as moléculas do meio sejam capturadas rapidamente pelos elétrons e/ou buracos para que não haja recombinação, e conseqüentemente diminuição taxa oxidação (GERISCHER, HELLER, 1991).

Uma das preocupações no desenvolvimento de materiais fotocatalíticos é a aplicação para eliminação de microrganismos que possam afetar negativamente a vida humana. É esperado que os efluentes possuem alto número de patógenos prejudiciais, e embora existam alguns métodos de desinfecção como o ozônio, radiação UV, cloro, álcool, detergentes e processos avançados de filtração, esses podem não ser necessariamente neutros para o meio ambiente e para os seres vivos, e além disso, podem não possuir um tempo de ação prolongado, sendo assim, há uma necessidade no desenvolvimento de técnicas antimicrobianas que possuam pouco ou nenhum impacto danoso (KRASNER et al. 2006).

Os semicondutores ZnO e SnO_2 além de possuírem capacidades fotocatalíticas, também podem ser utilizados como detectores UV (DU et al., 2009; GARGAS et al. 2009),

sensores de gás (YANG et al. 2010)., fontes de laser (CHENG et al. 2009; VERSTEEGH et al. 2012), baterias de íons de lítio (WANG et al., 2012), células solares (WANG et al., 2012), decomposição da água, entre outros (STEINFELD, 2002).

Um fator limitante na utilização de óxidos na fotocatalise é a taxa de recombinação dos pares buracos/elétrons (e^-/h^+), que pode ocorrer de forma rápida, assim, a eficiência fotocatalítica acaba sendo reduzida, pois os mesmos acabam se unindo novamente e não “sobrevivem” por tempo suficiente para se ligarem com as moléculas dos poluentes. Uma forma de aumentar a duração dos pares e^-/h^+ fotogerados é criar materiais compostos por semicondutores que possuem bandas de valência e bandas de condução em posições diferentes (IVETIĆ et al., 2016). Entre uma variada gama de materiais semicondutores com utilização na fotocatalise, tem-se em especial a mistura de óxidos como ZnO–SnO₂, ZnO–TiO₂, ZnO–CuO que podem formar heterojunções, alterando as propriedades do material.

De acordo com pesquisas voltadas a degradação de microrganismos através da fotocatalise do ZnO, sugere-se que uma das principais formas de destruição das moléculas se dá por meio da geração de peróxido de hidrogênio, isso porque, há uma peroxidação dos fosfolípidios insaturados o que causa rompimento da membrana celular (SAWAI et al. 1998; SAWAI, 2003). A degradação ocasionado em microrganismos pela utilização de ZnO/SnO₂ é causada pela exposição a espécies reativas de oxigênio gerados pela fotocatalise, ou pela liberação de íons e superóxidos originados na superfície das partículas. A decomposição ocorre com a entrada desses íons nas células, os quais se combinam com a protease intracelular (TALEBIAN et al. 2011).

3.2 Bibliometria

Na Tabela 1 está descrito o total de artigos selecionado para análise bibliométrica de dados, bem como processos anteriores de filtragem de trabalhos científicos.

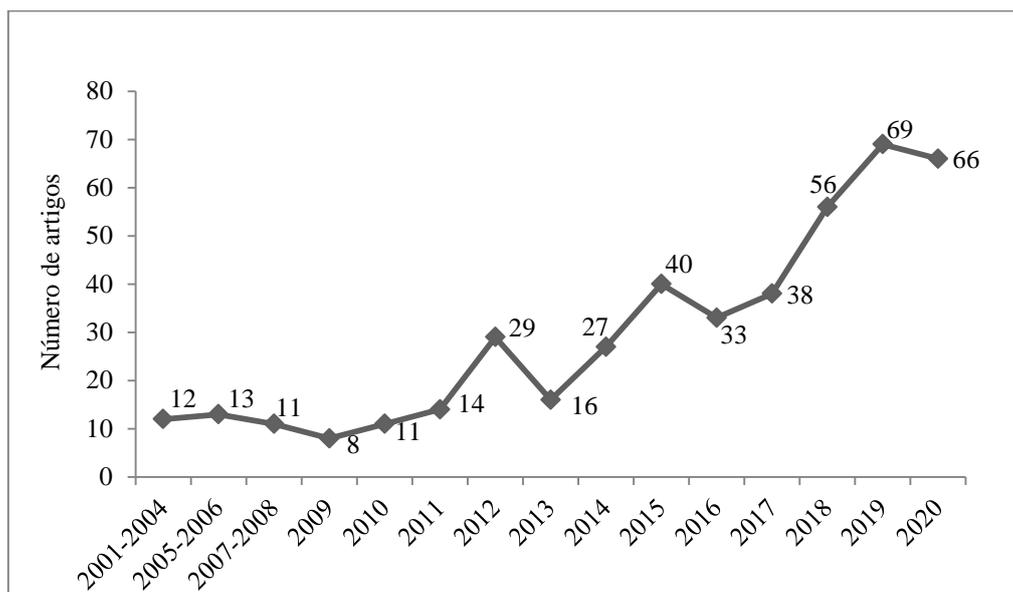
Tabela 1. Portfólio de artigos para análise bibliométrica acerca do tema pesquisado.

Procedimento		Total de artigos
Pesquisa em Scopus	(+)	351
Pesquisa em Web of Science	(+)	205
Total bruto de artigos	(=)	556
Artigos em duplicidade	(-)	113
Total de artigos após filtragem	(=)	443

Um total de 443 artigos foi utilizado em análise bibliométrica de dados, a definir, anos de publicações, áreas do conhecimento, periódicos científicos, países filiados aos autores e termos mais frequentes, respectivamente.

A Figura 1 apresenta o horizonte de publicações, no decorrer dos anos.

Figura 1. Anos de publicações de artigos sobre o tema pesquisado.



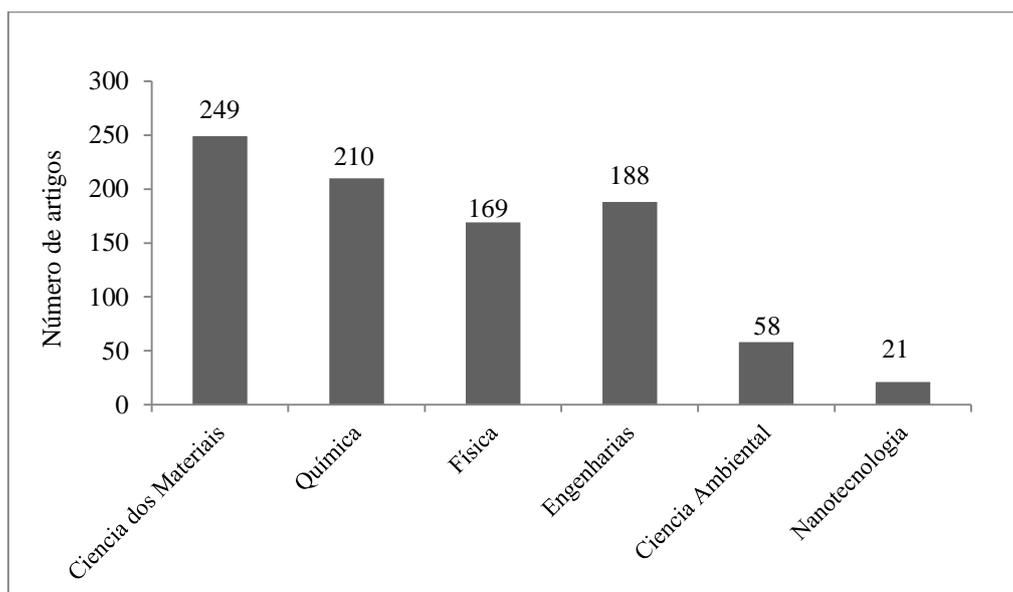
Fonte. Dados coletados de Scopus e Web of Science (2020).

O ano de 2019 é destaque nas publicações sobre processos fotocatalíticos de zinco e tin. O ano de 2020, com 66 artigos esteve limitado até o mês de setembro, devido ao período de realização da pesquisa. Cabe ressaltar que não significa que o tema passou a ser estudado somente em 2001, mas que, artigos foram indexados em uma das bases de dados neste período, somente.

Na década de 90, pouco foi encontrado sobre estudos de fotocatalise envolvendo os óxidos de estanho e zinco, sejam estes utilizados em conjunto, ou não. Por volta dos anos de 2000, os estudos começaram a adquirir outra proporção, e novos estudos começaram a surgir. A partir de 2010, os estudos dessa área aumentaram de forma mais intensa buscando maior complexidade.

Este é um tema técnico e, portanto, áreas do conhecimento que se destacam são Ciências dos Materiais e Química, principalmente, conforme a Figura 2.

Figura 2. Áreas de publicações de artigos sobre o tema pesquisado.



Fonte. Dados coletados de Scopus e Web of Science (2020).

Dentro das áreas mencionadas, periódicos científicos com maiores volumes de publicações, em uma lista ampla são o Applied Surface Science e o Journal of Materials Science: Materials in Electronics.

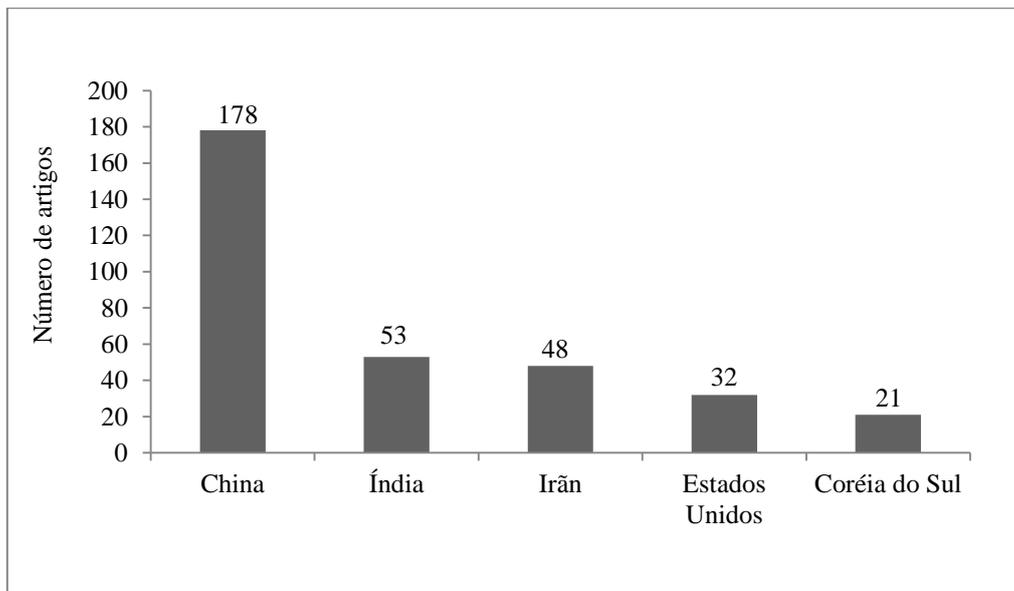
Tabela 2. Áreas de publicações de artigos sobre o tema pesquisado.

Periódico	Total, em número de artigos
Applied Surface Science	25
Journal of Materials Science: Materials in Electronics	15
RSC Advances	13
Journal of Hazardous Materials	12
Ceramics International	11
Materials Science in Semiconductor Processing	11
International Journal of Hydrogen Energy	10
Journal of Alloys and Compounds	10
Applied Catalysis B: Environmental	9

Fonte. Dados coletados de Scopus e Web of Science (2020).

Países líderes neste ramo de pesquisa e sobre temas correlacionados, baseando-se em artigos de Scopus e Web of Science estão a China, Índia e Irã, respectivamente, conforme Figura 3.

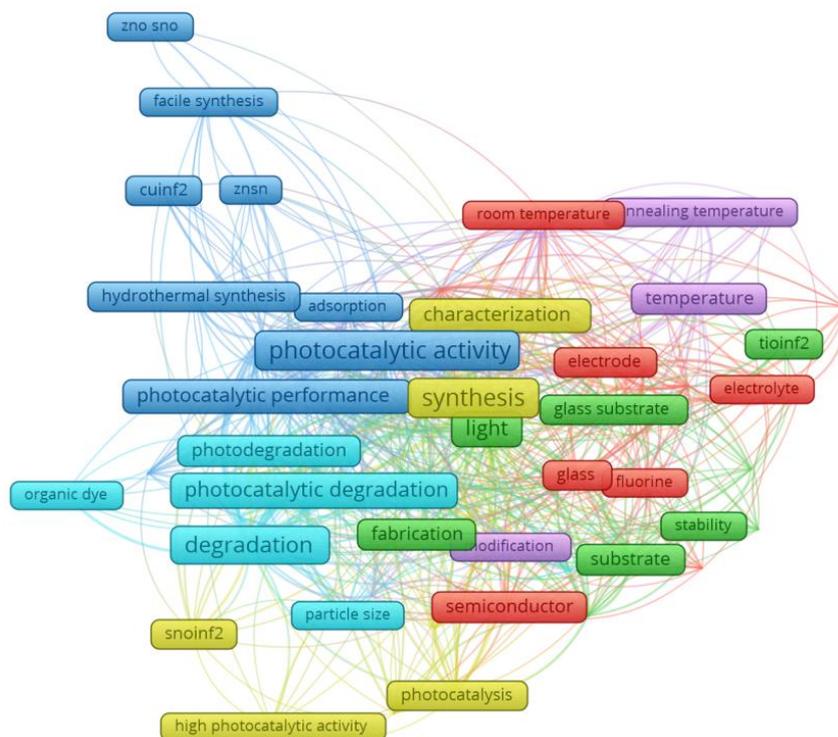
Figura 3. Países filiados aos autores de artigos sobre o tema pesquisado.



Fonte. Dados coletados de Scopus e Web of Science (2020).

Por fim, na Figura 4 é apresentado um aglomerado de termos. Estes termos são frequentes em uma parcela significativa dos artigos.

Figura 4. Termos mais frequentes em artigos sobre o tema pesquisado.



Fonte. Dados coletados de Scopus e Web of Science (2020).

Com propósitos de melhor contextualização do tema, um portfólio de artigos é apresentado no Apêndice 1. Este portfólio possui artigos com temas relevantes dentro do escopo pesquisado, e melhores índices de citações na literatura. Em geral, a estrutura dos trabalhos segue de forma a buscar a síntese do material e aplicação de alguns testes

como: difração de raio X (XRD), espectroscopia de raio X por energia dispersiva (EDX), microscopia de transmissão eletrônica (TEM), microscopia eletrônica de varredura (SEM), espectroscopia de impedância de estado sólido, espectro de refletância difusa (DRS), fotoluminescência (PL), espectroscopia UV-Vis, método de adsorção isotérmica Brunauer-Emmett-Teller (BET), espectroscopia de fotoelétrons por raios X (XPS), Espectroscopia Raman e eficiência fotocatalítica.

4. Considerações finais

A produção de pesquisa voltada a ZnO e SnO₂ tomou maior amplitude na última década, especialmente nos últimos anos devido à necessidade e busca por novos métodos degradativos. As bases utilizadas foram Scopus e Web of Science, dos quais foram extraídos 443 artigos após filtragem. Pode-se notar a ligação desse tema com áreas principalmente como Ciência dos Materiais, Química, Física e Engenharias. As principais revistas internacionais são a Applied Surface Science, Journal of Materials Science: Materials in Electronics e RSC Advances.

Embora o ZnO também seja bastante atrativo em aplicações fotocatalistas como o TiO₂, se faz necessário uma atenção maior a sua velocidade de recombinação dos pares. Pode-se identificar que as principais causas no aumento da efetividade fotocatalítica com a formação do par são devido formação de heterojunção, aparecimento de novos estados de aprisionamento, geração de defeitos, aumento da área superficial e complexidade morfológica. São sugeridos, portanto, estudos teóricos e empíricos com propósitos de apresentar conceitos sobre processo fotocatalíticos e aplicações com diferentes métodos e componentes de produtos.

Referências

- ANDREOZZI, R., CAPRIO, V., INSOLA, A., & MAROTTA, R. Advanced oxidation processes (AOP) for water purification and recovery. **Catalysis today**, 53(1), 51-59, 1999.
- BRÄUER, G., & KONDRUWEIT, S. Surface and coating technologies. **In** Technology Guide (pp. 42-47). Springer, Berlin, Heidelberg, 2009.
- CHENG, C., LIU, B., YANG, H., ZHOU, W., SUN, L., CHEN, R., ... & FAN, H. J. Hierarchical assembly of ZnO nanostructures on SnO₂ backbone nanowires: low-temperature hydrothermal preparation and optical properties. **ACS nano**, 3(10), 3069-3076, 2009.
- CHONG, M. N., JIN, B., CHOW, C. W., & SAINT, C. Recent developments in photocatalytic water treatment technology: a review. **Water research**, 44(10), 2997-3027, 2010.
- DAI, H., ZHOU, Y., LIU, Q., LI, Z., BAO, C., YU, T., & ZHOU, Z. Controllable growth of dendritic ZnO nanowire arrays on a stainless steel mesh towards the fabrication of large area, flexible dye-sensitized solar cells. **Nanoscale**, 4(17), 5454-5460, 2012.

DAS, I., SAGADEVAN, S., CHOWDHURY, Z. Z., & HOQUE, M. E. Development, optimization and characterization of a two steps sol-gel synthesis route for ZnO/SnO₂ nanocomposite. **Journal of Materials Science: Materials in Electronics**, 29(5), 4128-4135, 2018.

DU, X., MEI, Z., LIU, Z., GUO, Y., ZHANG, T., HOU, Y., ... & KUZNETSOV, A. Y. Controlled growth of high-quality ZnO-based films and fabrication of visible-blind and solar-blind ultra-violet detectors. *Advanced Materials*, 21(45), 4625-4630, 2009.

ERKAN, A., BAKIR, U., & KARAKAS, G. Photocatalytic microbial inactivation over Pd doped SnO₂ and TiO₂ thin films. **Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry**, 184(3), 313-321, 2006.

GARGAS, D. J., TOIMIL-MOLARES, M. E., & YANG, P. Imaging single ZnO vertical nanowire laser cavities using UV-laser scanning confocal microscopy. **Journal of the American Chemical Society**, 131(6), 2125-2127, 2009.

GERISCHER, H., & HELLER, A. The role of oxygen in photooxidation of organic molecules on semiconductor particles. **The Journal of Physical Chemistry**, 95(13), 5261-5267, 1991.

GNANASEKARAN, L., HEMAMALINI, R., SARAVANAN, R., RAVICHANDRAN, K., GRACIA, F., AGARWAL, S., & GUPTA, V. K. Synthesis and characterization of metal oxides (CeO₂, CuO, NiO, Mn₃O₄, SnO₂ and ZnO) nanoparticles as photo catalysts for degradation of textile dyes. **Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology**, 173, 43-49, 2017.

GUNTI, S., KUMAR, A., & RAM, M. Nanostructured photocatalysis in the visible spectrum for the decontamination of air and water. **International Materials Reviews**, 63(4), 257-282, 2018.

IVETIĆ, T. B., FINČUR, N. L., ABRAMOVIĆ, B. F., DIMITRIEVSKA, M., ŠTRBAC, G. R., ČAJKO, K. O., ... LUKIĆ-PETROVIĆ, S. R. Environmentally friendly photoactive heterojunction zinc tin oxide nanoparticles. **Ceramics International**, 42(2), 3575-3583, 2016.

KRASNER, S. W., WEINBERG, H. S., RICHARDSON, S. D., PASTOR, S. J., CHINN, R., SCLIMENTI, M. J., ... & THRUSTON, A. D. Occurrence of a new generation of disinfection byproducts. **Environmental science & technology**, 40(23), 7175-7185, 2006.

KUDO, A., & MISEKI, Y. Heterogeneous photocatalyst materials for water splitting. **Chemical Society Reviews**, 38(1), 253-278, 2009.

MATSUNAGA, T., TOMODA, R., NAKAJIMA, T., & WAKE, H. Photoelectrochemical sterilization of microbial cells by semiconductor powders. **FEMS Microbiology letters**, 29(1-2), 211-214, 1985.

MENDOZA-DAMIÁN, G., TZOMPANTZI, F., MANTILLA, A., PÉREZ-HERNÁNDEZ, R., & HERNANDEZ-GORDILLO, A. Improved photocatalytic activity of SnO₂-ZnAl LDH prepared by one step Sn⁴⁺ incorporation. **Applied Clay Science**, 121, 127-136, 2016.

PAGANI, R. N., KOVALESKI, J. L., RESENDE, L. M. Methodi ordinatio®: a proposed methodology to select and rank relevant scientific papers encompassing the impact factor, number of citation, and year of publication. **Scientometrics**, 105(3), 2109-2135, 2015.

PAZ, Y. Application of TiO₂ photocatalysis for air treatment: Patents' overview. **Applied Catalysis B: Environmental**, 99(3-4), 448-460, 2010.

SAWAI, J. Quantitative evaluation of antibacterial activities of metallic oxide powders (ZnO, MgO and CaO) by conductimetric assay. **Journal of microbiological methods**, 54(2), 177-182, 2003.

SAWAI, J., SHOJI, S., IGARASHI, H., HASHIMOTO, A., KOKUGAN, T., SHIMIZU, M., & KOJIMA, H. Hydrogen peroxide as an antibacterial factor in zinc oxide powder slurry. **Journal of fermentation and bioengineering**, 86(5), 521-522, 1998.

SHANNON, M. A., BOHN, P. W., ELIMELECH, M., GEORGIADIS, J. G., MARINAS, B. J., & MAYES, A. M. Science and technology for water purification in the coming decades. In **Nanoscience and technology: a collection of reviews from nature Journals**, 337-346, 2010.

STEINFELD, A. Solar hydrogen production via a two-step water-splitting thermochemical cycle based on Zn/ZnO redox reactions. **International Journal of Hydrogen Energy**, 27(6), 611-619, 2002.

TALEBIAN, N., NILFOROUSHAN, M. R., & ZARGAR, E. B. Enhanced antibacterial performance of hybrid semiconductor nanomaterials: ZnO/SnO₂ nanocomposite thin films. **Applied Surface Science**, 258(1), 547-555, 2011.

VERSTEEGH, M. A., VANMAEKELBERGH, D., & DIJKHUIS, J. I. Room-temperature laser emission of ZnO nanowires explained by many-body theory. **Physical Review Letters**, 108(15), 157402, 2012.

WANG, X., CAO, X., BOURGEOIS, L., GUAN, H., CHEN, S., ZHONG, Y., ... & BANDO, Y. N-doped graphene-SnO₂ sandwich paper for high-performance lithium-ion batteries. **Advanced Functional Materials**, 22(13), 2682-2690, 2012.

YANG, D. J., KAMIENCHICK, I., YOUN, D. Y., ROTHSCHILD, A., & KIM, I. D. Ultrasensitive and highly selective gas sensors based on electrospun SnO₂ nanofibers modified by Pd loading. **Advanced Functional Materials**, 20(24), 4258-4264, 2010.

Apêndice 1

Tabela 3. Principais artigos sobre o tema pesquisado

Autores	Título	Ano
S. Harish, J. Archana, M. Navaneethan, A. Silambarasan, K.D. Nisha, S. Ponnusamy, C. Muthamizhchelvan, H. Ikeda, D.K. Aswal, Y. Hayakawa	Enhanced visible light induced photocatalytic activity on the degradation of organic pollutants by SnO nanoparticle decorated hierarchical ZnO nanostructures	2016
Hongtao Huang, Shouqin Tian, Jing Xu, Zhong Xie, Dawen Zeng, Di Chen, Guozhen Shen	Needle-like Zn-doped SnO ₂ nanorods with enhanced photocatalytic and gas sensing properties	2012

Chockalingam Karunakaran, SakthiDasan SakthiRaadha, Paramasivan Gomathisankar, Pazhamalai Vinayagamoorthy	The enhanced photocatalytic and bactericidal activities of carbon microsphere-assisted solvothermally synthesized cocoon-shaped Sn 4+-doped ZnO nanoparticles	2013
Jian-Chang Li, Xue-Yan Hou, Qing Cao	Effect of Zn/Sn ratio on structure and properties of ZnO-SnO ₂ nanocomposite films	2014
Hossein Mahmoudi Chenari, Reza Zamiri, David Maria Tobaldi, Mehdi Shabani, Avito Rebelo, J. Suresh Kumar, S. A. Salehizadeh, M. P. F. Graça, M. J. Soares, João António Labrincha, José M. F. Ferreira	Nanocrystalline ZnO–SnO ₂ mixed metal oxide powder: microstructural study, optical properties, and photocatalytic activity	2017
Gang Ou, Yushuai Xu, Bo Wen, Rui Lin, Binghui Ge, Yan Tang, Yuwei Liang, Cheng Yang, Kai Huang, Di Zu, Rong Yu, Wenxing Chen, Jun Li, Hui Wu, Li-Min Liu, Yadong Li	Tuning defects in oxides at room temperature by lithium reduction	2018
Petronela Pascariu, Anton Airinei, Niculae Olaru, Liliana Olaru, Valentin Nica	Photocatalytic degradation of Rhodamine B dye using ZnO–SnO ₂ electrospun ceramic nanofibers	2016
Nasrin Talebian, Mohammad Reza Nilforoushan, Elahe Badri Zargar	Enhanced antibacterial performance of hybrid semiconductor nanomaterials: ZnO/SnO ₂ nanocomposite thin films	2011
Md. Tamez Uddin, Yohann Nicolas, Celine Olivier, Thierry Toupance, Laurent Servant, Mathis M. Müller, Hans-Joachim Kleebe, Jürgen Ziegler, Wolfram Jaegermann	Nanostructured SnO ₂ -ZnO Heterojunction Photocatalysts Showing Enhanced Photocatalytic Activity for the Degradation of Organic Dyes	2012
T.B. Ivetić, N.L. Finčur, B.F. Abramović, M. Dimitrievska, G.R. Štrbac, K.O. Čajko, B.B. Miljević, Lj.R. Đačanin, S.R. Lukić-Petrović	Environmentally friendly photoactive heterojunction zinc tin oxide nanoparticles	2016
K. Sujatha, T. Seethalakshmi, A.P. Sudha, O.L. Shanmugasundaram	Photocatalytic activity of pure, Zn doped and surfactants assisted Zn doped SnO ₂ nanoparticles for degradation of cationic dye	2019
Sagar D. Balgude, Yogesh A. Sethi, Bharat B. Kale, Dinesh P. Amalnerkar, Parag V. Adhyapak	ZnO decorated Sn ₃ O ₄ nanosheet nanoheterostructure: a stable photocatalyst for water splitting and dye degradation under natural sunlight	2019
Linhua Xu, Wenjian Kuang, Min Lai, Juhong Miao, Lei Zhang, Ruofan Zhang	Preparation of Sn-Zn-O thin film for its potential applications in photodegradation of organic dyes	2018
Xing Huang, Lu Shang, Shu Chen, Jing Xia, Xiaopeng Qi, Xuecong Wang, Tierui Zhang, Xiang-Min Meng	Type-II ZnO nanorod–SnO ₂ nanoparticle heterostructures: characterization of structural, optical and photocatalytic properties	2013
Abdessalem Hamrouni, Hinda Lachheb, Ammar Houas	Synthesis, characterization and photocatalytic activity of ZnO-SnO ₂ nanocomposites	2013
Linhua Xu, Gaige Zheng, Fenglin Xian, Jing Su	The morphological evolution of ZnO thin films by Sn ions doping and its influence on the surface energy and photocatalytic activity	2019
Rosalin Beura, R. Pachaiappan, P. Thangadurai	A detailed study on Sn ⁴⁺ doped ZnO for enhanced photocatalytic degradation	2017
Lirong Zheng, Yuanhui Zheng, Chongqi Chen, Yingying Zhan, Xingyi Lin, Qi Zheng, Kemei Wei, Jiefang Zhu	Network Structured SnO ₂ /ZnO Heterojunction Nanocatalyst with High Photocatalytic Activity	2009
Atif Mossad Ali, Omniat Qreshah, Adel A. Ismail, Farid A. Harraz, Hamed Algarni, Mohd Faisal, Wee Siong Chiu	Influence of Annealing Temperature on Photocatalytic and Electrochemical Sensing Properties of SnO ₂ /ZnO Nanocomposites	2018