

PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA EM TORNO DO USO DA FOTOCATÁLISE HETEROGÊNEA UTILIZANDO TiO₂ PARA O TRATAMENTO DE CONTAMINANTES EM FASE GASOSA

Eduardo Borges Lied¹; Ana Paula Trevisan²; Claudio Vinicius Arcego³; Elias Lira dos Santos Junior⁴; Camilo Freddy Mendoza Morejon⁵

^{1,4} Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Câmpus Medianeira, Paraná, Brasil.

² Universidade do Oeste do Paraná, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Cascavel, Paraná, Brasil.

^{1, 3, 4, 5} Universidade do Oeste do Paraná, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Toledo, Paraná, Brasil.

⁵ Universidade do Oeste do Paraná, Núcleo de Inovação Tecnológica, Toledo, Paraná, Brasil.

Rec.: 03/09/2016 Ac.: 13/06/2017

RESUMO

As emissões atmosféricas têm se constituído em um dos maiores problemas a ser enfrentado pelos empreendimentos poluidores. Tem se mostrado significativo o volume de resultados de pesquisas científicas que confirmam a eficácia do uso de Processos Oxidativos Avançados (POAs), sendo premente a complementação tecnológica e de inovação no sentido de viabilizar a aplicação deste conhecimento. Portanto, o objetivo deste trabalho se incumbe de apresentar um panorama acerca do uso de reações de fotocatalise utilizando dióxido de titânio (TiO₂) como método de degradação de contaminantes gasosos. Assim, pretende-se identificar os mecanismos convencionais utilizados nesta área, de modo a prospectar as principais características com relação ao desenvolvimento de tecnologias patenteadas no Brasil sob o registro do INPI (Instituto Nacional da Propriedade Industrial). No INPI estão sob proteção intelectual 6 equipamentos fotocatalíticos para o tratamento de contaminantes, isto evidencia um campo a ser explorado para o mercado de tecnologias ambientais.

Palavras-chave: Processos oxidativos avançados. Patentes. Fotocatalisador.

ABSTRACT

Gaseous emissions have constituted one of the major problems to be faced by polluting enterprises. It has shown significant volume of scientific research results that confirm the effectiveness of Advanced Oxidation Processes (POAs) of use, pressing and technological innovation and complementary in order to facilitate the application of this knowledge. Therefore, the objective of this work undertakes to present an overview on the use of photocatalytic reactions using titanium dioxide (TiO₂) as gaseous contaminants degradation method. Thus, we intend to identify the conventional mechanisms used in this area, so exploring the main features regarding the development of patented technologies in Brazil under the registration INPI (National Institute of Industrial Property). INPI are under intellectual property protection 6 photocatalytic devices for the treatment of contaminants, this highlights a field to be explored for the environmental technology market.

Keywords: Advanced oxidation processes. Patents. Photocatalyst.

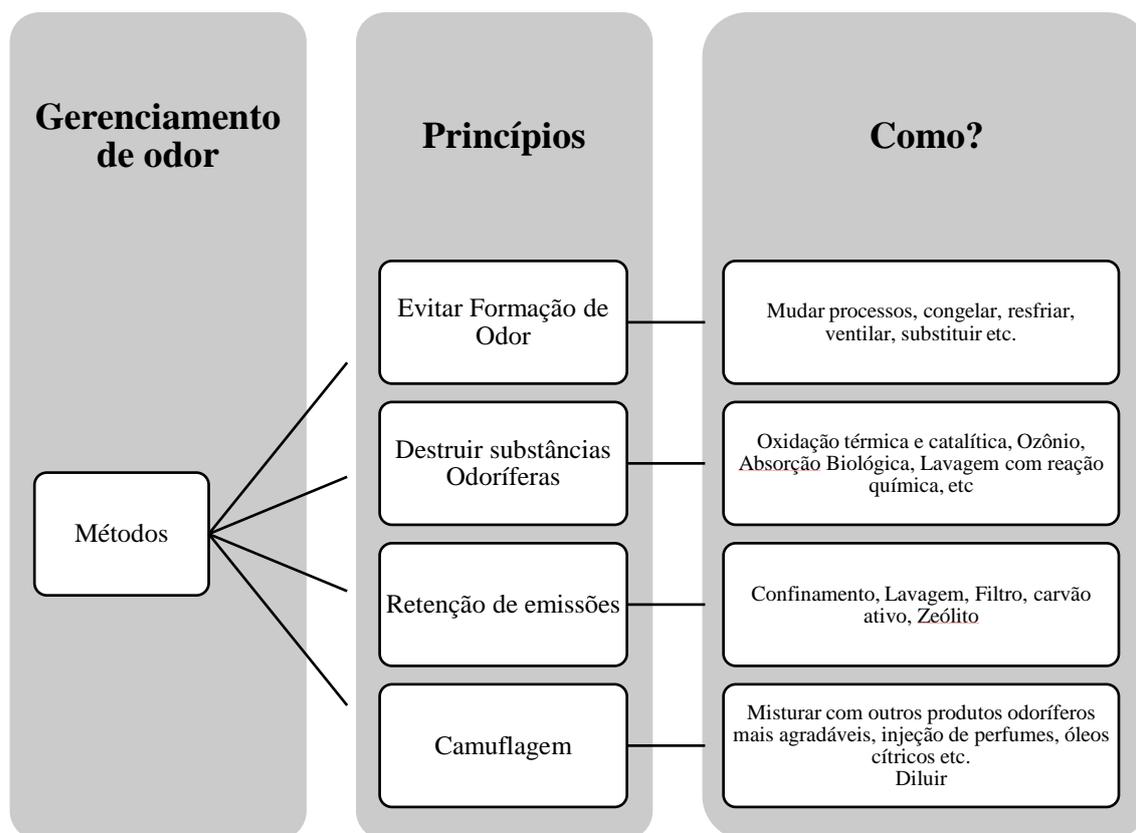
Área Tecnológica:

Autor para correspondência: dudulied@hotmail.com

INTRODUÇÃO

A necessidade do gerenciamento de odores assume relevância a partir da constatação dos vários níveis de impactos gerados pelas fontes de emissão. Desta forma, cumpre ao gerador o lançamento de medidas que atuem no controle e tratamento dessas emissões com vistas à minimização das consequências associadas. Assim, a prática mostra que o gerenciamento de odores pode ser conduzido por quatro diferentes métodos, seja utilizado de forma isolada ou de modo complementar. Os métodos citados por Durr (2015) são sumariamente caracterizados no seu modo de atuar e gerenciar as emissões de odores, conforme mostra a seguir na Figura 1.

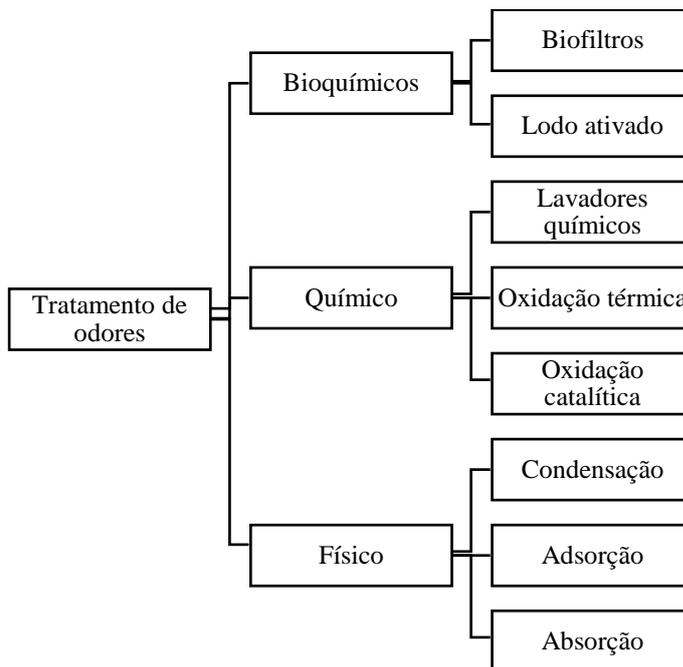
Figura 1 - Métodos de gerenciamento de odores (adaptado DURR, 2015).



Fonte:

De acordo com Burgess et al. (2001) e Chernicharo et al. (2010) a classificação de tratamento de odores segue o tipo de natureza, podendo ser bioquímica, química e física. A literatura científica apresenta vários trabalhos relacionados a estes métodos de tratamento de odores, sendo possível levantar e investigar alguns com a finalidade de compreender acerca das aplicações bem como da performance na redução das substâncias causadoras de odor (Figura 2).

Figura 2 - Trabalhos da literatura relacionados aos tipos de tratamento convencionalmente empregados para redução de substâncias odoríferas (contaminantes gasosos).



Fonte:

Segundo Luo e Lindsey (2006), dentre as técnicas de tratamento disponíveis, a fotocatalise – oxidação catalítica – é considerada uma técnica de ponta, já que faz uso da nanotecnologia para a criação das estruturas dos catalisadores. O princípio de degradação dos gases por esta técnica é mediado por Processos Oxidativos Avançados (POA's).

Os POA's são definidos como processos de oxidação em que intermediários altamente reativos (por exemplo, radicais hidroxila $\text{OH}\cdot$) são gerados para atuar como agentes oxidantes químicos. Devido sua alta reatividade, os radicais hidroxila podem reagir com uma grande variedade de classes de compostos orgânicos. Os POA's podem ser classificados em dois grandes grupos: sistemas homogêneos, que envolvem reações usando H_2O_2 , O_3 com ou sem luz UV; e sistemas heterogêneos, que empregam catalisadores, como os semicondutores (RAJESHWAR e IBANEZ, 1997).

Além da classificação por sistemas homogêneos ou heterogêneos as técnicas de oxidação podem ser diferenciadas por aquelas em que fazem o uso de energia radiante (processo fotoquímico) e daqueles que não fazem (processo não fotoquímico), sendo a fotocatalise um processo fotoquímico.

De acordo com Fujishima et al. (2007), os estudos intensivos em fotocatalise heterogênea começaram há três décadas após a descoberta da cisão da molécula da água induzida pela fotoirradiação sobre eletrodos de TiO_2 , fenômeno conhecido por efeito Honda-Fujishima. Os primeiros estudos foram focados na utilização da energia solar para a produção de hidrogênio como combustível limpo a partir da água. No entanto, vários pesquisadores também descobriram que as partículas de semicondutores iluminadas poderiam ser de interesse e úteis por catalisarem uma grande variedade de reações redox de substratos orgânicos e inorgânicos. A partir daí, extensos estudos foram iniciados sobre as aplicações ambientais da fotocatalise heterogênea. Durante a última década, aplicações práticas de fotocatalisadores TiO_2 têm sido implementadas em ambientes interiores e exteriores.

O potencial de uso da fotocatalise utilizando dióxido de titânio é abrangente em termos de aplicação nas mais diversas áreas. A fotocatalise se destaca não somente para o tratamento de poluentes mas para geração de energia e uso na medicina.

Dentre as várias aplicações, certamente uma das mais importantes da fotocatalise com TiO_2 é a desodorização. Os sistemas convencionais de purificação de ar geralmente filtram os poluentes, que se acumulam nos filtros que acabam se tornando saturados, reduzindo sua capacidade após certo período de uso. A limpeza dos filtros de ar saturados gera uma poluição secundária. Os fotocatalisadores são capazes de decompor as substâncias orgânicas ao invés de acumulá-las (CAMPOS, 2009).

No que tange aos tipos de substâncias que potencialmente a fotocatalise heterogênea com TiO_2 possui capacidade de degradação é possível citar como exemplo, alcanos, cloroalifáticos, álcoois, ácidos carboxílicos, fenóis, herbicidas, surfactantes, corantes, além da destruição de vírus e bactérias (NOGUEIRA & JARDIM, 1998).

Segundo Fujishima et al. (2007), a comercialização de produtos à base de TiO_2 com propriedades fotocatalíticas começou em meados de 1990 no Japão. Mais de 2.000 empresas aderiram a esta nova indústria, cujos produtos são aplicados aos objetivos de auto-limpeza, purificação do ar, purificação de água e efeitos bactericidas. Os materiais externos da construção de auto-limpeza, como telhas, vidro, filmes plásticos, revestimentos, etc, são os produtos mais populares.

A fotocatalise por TiO_2 apresenta diversos estudos com relação ao uso e aplicação na área ambiental, principalmente com relação ao tratamento e remediação de poluentes. É possível concluir que existe certa predominância do uso da fotocatalise para o tratamento de amostras em fase líquida – tratamento de águas e efluentes – como evidenciam os trabalhos de Nogueira & Jardim (1996), Alfano et al. (2000), Bekbolet et al. (1996) e Bahnemann (2006).

Deve-se assinalar que a implementação efetiva desta tecnologia sofre com alguns aspectos técnicos. Os autores acreditam que o grande problema para implementação de processos fotocatalíticos para tratamento de emissões seja o desenvolvimento e otimização de reatores em escala industrial, onde uma interface com a engenharia faz-se necessária. Por esta razão, este trabalho se incumbe de realizar uma prospecção das tecnologias patenteadas pelo sistema INPI (Instituto Nacional da Propriedade Industrial) que empregam a fotocatalise para o tratamento de odores, bem como traçar um cenário mundial sobre as pesquisas em torno da fotocatalise pela base de dados SCOPUS®.

METODOLOGIA

A prospecção tecnológica, em torno do assunto fotocatalise, foi conduzida através da consulta e pesquisa em bancos de patentes públicos do Brasil. A etapa de prospecção tecnológica visa dotar o pesquisador de amplo domínio sobre o estado da arte de assuntos do âmbito de seu objeto de estudo com vistas a auxiliar a tomada de decisão com relação a proposição de tecnologias alternativas de caráter radical ou incremental.

Assim sendo, a prospecção envolveu o acesso a base de dados científicos do SCOPUS®, a fim de obter dados e informações gerais acerca do assunto de fotocatalise com dióxido de titânio no cenário mundial. O objetivo do acesso e pesquisa ao SCOPUS® é elaborar um panorama atualizado sobre o nível de publicação na área, bem como as suas aplicações nos mais diversos segmentos. Para tal objetivo empreendeu-se uma busca por palavra-chave da seguinte forma:

- Base de dados do SCOPUS®:
 - Palavra-chave = “photocatalysisdioxidetitanium”

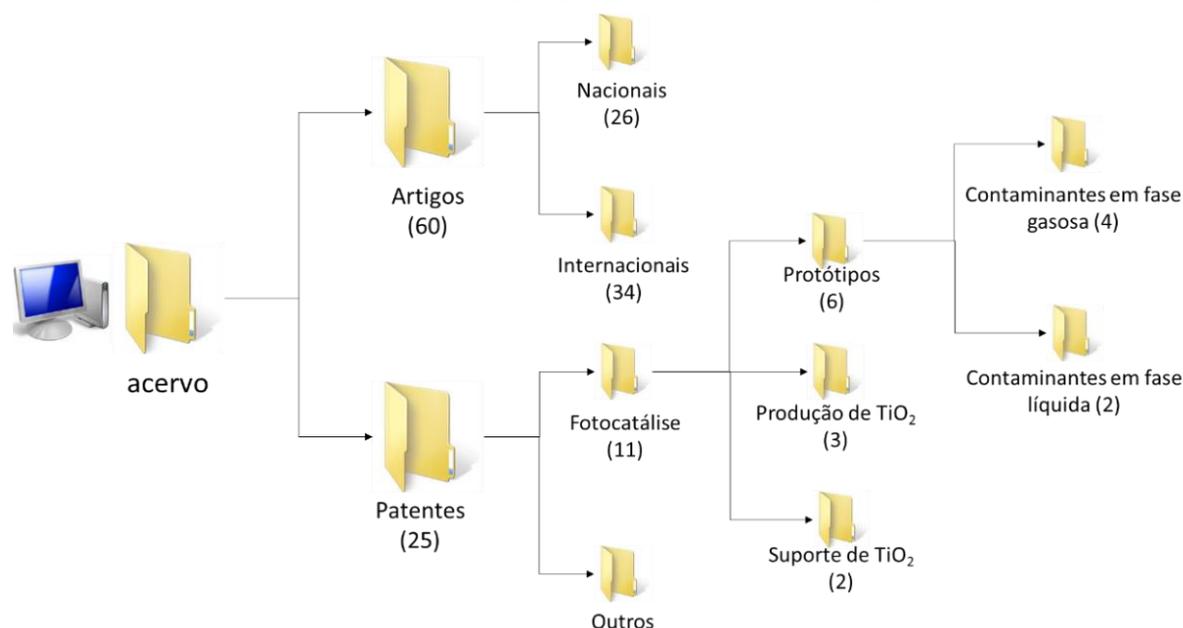
O procedimento de busca das patentes se deu por meio da escolha de palavra-chave, conforme abaixo:

- Banco de patentes do INPI:
 - Palavra-chave = “fotocatálise”

O Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI) disponibiliza documentos de patentes publicados desde 1992. Além disso, apresenta *links* para outros escritórios oficiais de propriedade industrial da América do Norte da América Latina, do Caribe, da Ásia e da Oceania.

O presente trabalho foi concebido por uma série de documentos criteriosamente coletados e categorizados segundo o seu tipo e natureza (Figura 4)

Figura 4 - Estrutura e amplitude do acervo da pesquisa (artigos científicos e patentes).



Fonte:

Basicamente, o acervo esquematizado pela Figura 4 classificou dois grupos de documentos:

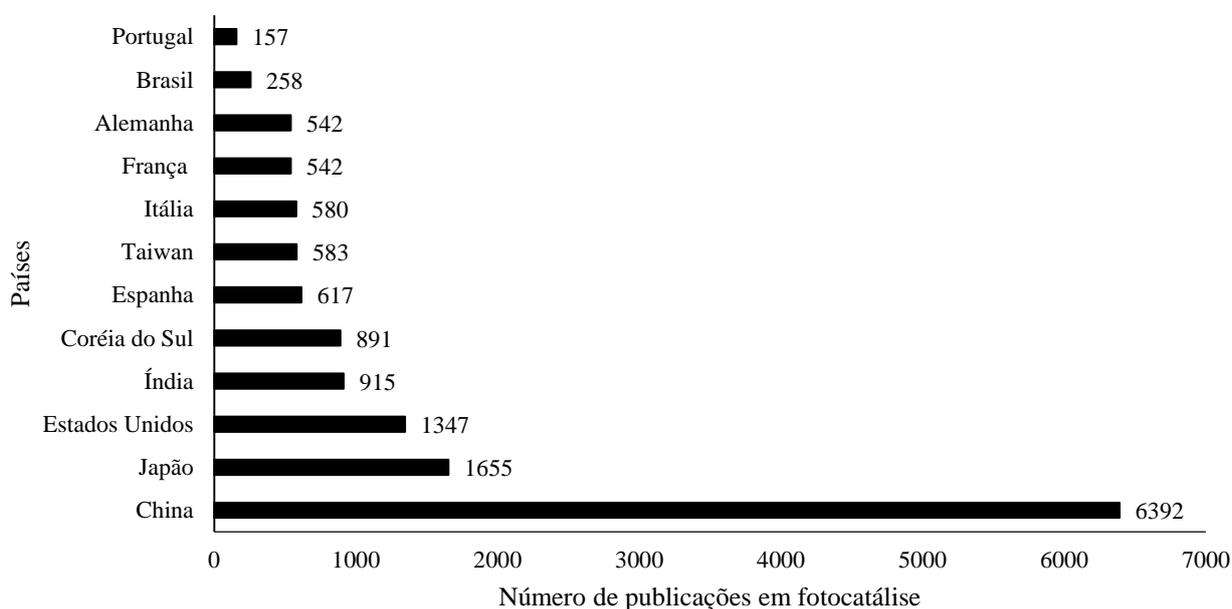
- **Artigos científicos:** levantamento do estado da arte acerca da fotocatalise possibilitou o uso de 60 artigos científicos como forma de conseguir apontar as principais referências encontradas na literatura (base de dados da *Science Direct* e Periódicos Capes);
- **Patentes:** o estudo das tecnologias existentes disponíveis no INPI ensejou a análise de 25 documentos patentários.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A tarefa de prospectar procura fornecer um direcionamento ao campo onde seja possível identificar e constatar os potenciais de inovação em torno da temática que está sob pesquisa. Desta forma, são apresentados aqui alguns dados e informações que ilustram de forma ampla o campo de aplicação da tecnologia de fotocatalise utilizando o dióxido de titânio.

Por meio da base de dados SCOPUS®, a qual armazena dezenas de periódicos dos mais relevantes do mundo, foi possível apontar um ranking dos principais países que se destacam na divulgação de resultados sobre fotocatalise. A Figura 5 apresenta os países mais relevantes e a situação do Brasil como representante da América Latina.

Figura 5 - Quantidade de trabalhos publicados em fotocatalise no mundo (1973 – 2016).

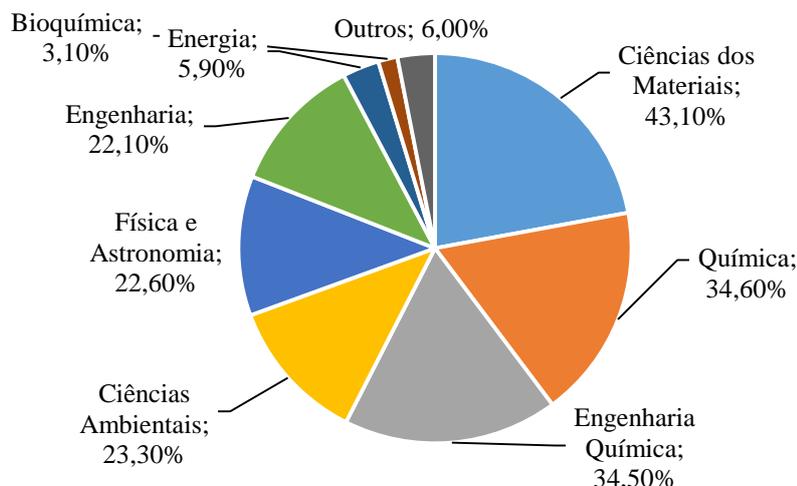


Fonte:

Pela Figura 5 constata-se que os países do extremo oriente, China e Japão, guardam uma significativa contribuição nessa área de pesquisa, seguidos dos Estados Unidos. A China e Japão desde 1973 já contribuíram com mais de 8.000 trabalhos.

Os trabalhos de fotocatalise da base de dados SCOPUS® estão direcionados majoritariamente para área de Ciências dos Materiais, com uma participação de aproximadamente de 43,1%, conforme apresenta a Figura 6. Em segundo lugar a área da Química seguida em terceiro lugar da Engenharia Química, com 34,6% e 34,5%, respectivamente.

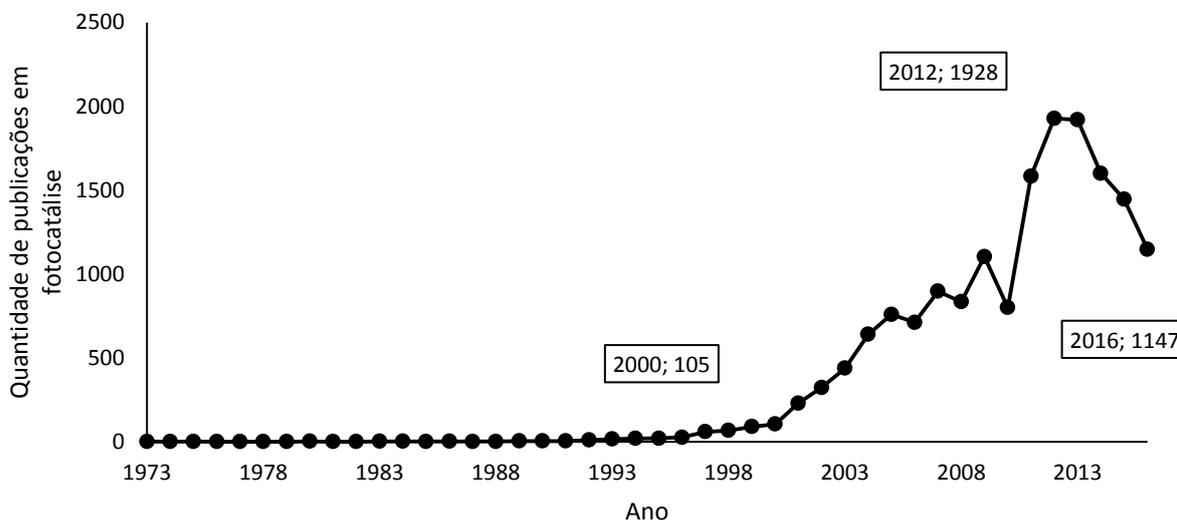
Figura 6 -1: Áreas temáticas de aplicação da fotocatalise heterogênea.



Fonte:

Ainda por meio da investigação de dados divulgados pela plataforma SCOPUS® destaca-se também a evolução temporal dos trabalhos desenvolvidos na área de fotocatalise. Até o momento no ano de 2016 foram publicados 1147 trabalhos na área, sendo o ano de 2012 como o período com a maior quantidade de trabalhos publicados em todo o histórico avaliado, 1928 trabalhos relacionados (Figura 7).

Figura 7 - Publicações de trabalhos de fotocatalise por ano (período de 1973 – 2016).



Fonte:

No banco de dados do INPI foram identificados 25 depósitos de patentes relacionados a fotocatalise a base de dióxido de titânio (Tabela 1).

Figura 8 - Resultado da prospecção na base de dados do INPI.

Prospecção INPI	Categorias de aplicação	Quantidade
Patentes em Fotocatálise	Tratamento de contaminantes	6
	Outras aplicações	19

Fonte:

Do total de 25 patentes a pesquisa mostra que 6 depósitos (Tabela 1) se relacionam intimamente com o uso da fotocatalise para tratamento de contaminantes (líquidos e gasosos). A discriminação mais detalhada de cada de patente é apresentada pela Tabela 2.

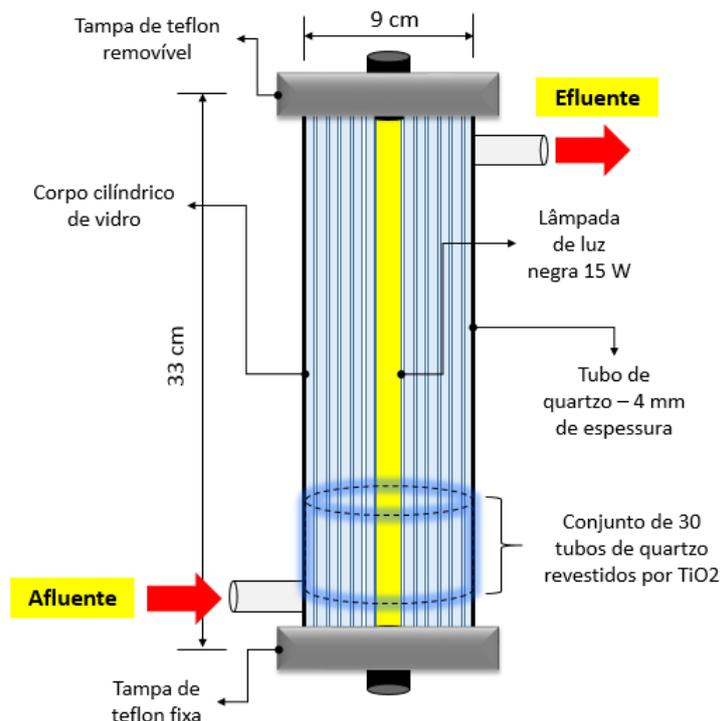
Tabela 2 - Patentes no INPI relacionados a fotocatalise na degradação de contaminantes.

Autor	Título
Caballero e Donaire (2008)	Reator tubular para fotocatalise heterogênea de compostos orgânicos
Mondjian et al. (2001)	Processo para a purificação de efluentes gasosos por fotocatalise e instalação para a realização do dito processo
Jardim e Oliveira (1998)	Processo para destruição de compostos orgânicos e inorgânicos voláteis em fase gasosa por fotocatalise heterogênea
Geron et al. (2006)	Dispositivo para a purificação fotocatalítica contínua do ar de uma sala habitada, seu uso e método para otimizar o dimensionamento de um elemento de purificação de ar
Machado e Velani (2008)	Fotocatalisadores à base de dióxido de titânio dopados com íons de metais de transição, seu processo de preparação e sua aplicação em processos de descontaminação ambiental
Milori et al. (2007)	Câmara de Fotocatálise para Tratamento de Solução Contendo Contaminantes

Fonte:

As patentes relacionadas na Tabela 2 trazem em sua essência mecanismos de degradação fotocatalítica para contaminantes em fase líquida e gasosa. Embora o escopo da prospecção seja a degradação de contaminantes gasosos, o trabalho também investigou as tecnologias para contaminantes líquidos, tendo em vista que os princípios de funcionamento sejam aplicáveis para fase gasosa, conforme veremos adiante.

A invenção sob o título “**Reator tubular para fotocatalise heterogênea de compostos orgânicos**” trata de um reator tubular fotocatalítico e de um processo para tratamento de água contaminada com compostos orgânicos provenientes de fontes naturais ou de processos industriais (Figura 9).

Figura 9 - Desenho esquemático do reator tubular (adaptado CABALLERO e DONAIRE, 2008).

Fonte:

As principais características e reivindicações enunciadas pelos autores desta tecnologia estão descritas sumariamente na Tabela 3.

Tabela 3 - Características básicas de constituição e funcionamento do reator tubular.

Título	Características principais
Reator tubular para fotocatalise heterogênea de compostos orgânicos	<p>Tratamento dos contaminantes ocorre em fase líquida, geralmente as tecnologias existentes transferem primeiramente para a fase gasosa para posterior tratamento.</p> <p>Utiliza dois semicondutores (TiO_2 e ZrO_2).</p> <p>Catalisador está aderido a uma matriz sólida, não havendo necessidade de reciclo, reduzindo custos de operação.</p> <p>Uso para diversas fontes de luz (negra, xenônio e germicida).</p>

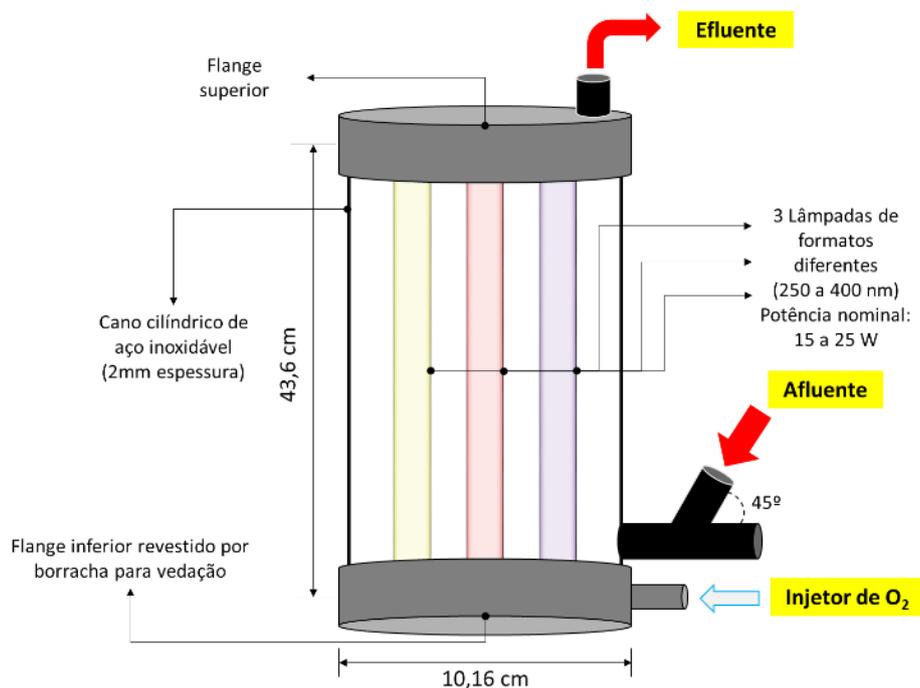
Fonte:

O reator tubular caracterizado na Tabela 3 possui vantagens no seu uso e concepção, em resumo sua principal vantagem está em sua alta área de exposição da superfície de TiO_2 e ZrO_2 devido a possibilidade da instalação de um arranjo com vários tubos de quartzo revestidos com fotocatalisadores aumentando a atividade catalítica no interior do reator.

O modelo intitulado “**Câmara de Fotocatálise para Tratamento de Solução Contendo Contaminantes**” refere-se a uma câmara de fotocatalise para tratamento de solução contendo resíduos orgânicos (Figura 10).

LIED, E.B.; TREVISAN, A.P.; ARCEGO, C.V.; JUNIOR, E.L. dos S.; MOREJON, C.F.M.. Prospecção Tecnológica em torno do uso da fotocatalise heterogênea utilizando TiO_2 para o tratamento de contaminantes em fase gasosa.

Figura 10 - Desenho esquemático da câmara de fotocatalise (adaptado MILORI et al., 2007).



Fonte:

As principais características e reivindicações enunciadas pelos autores desta tecnologia estão descritas sumariamente na Tabela 4.

Tabela 4 -Características básicas de constituição e funcionamento da câmara de fotocatalise.

Título	Características principais
Câmara de Fotocatalise para Tratamento de Solução Contendo Contaminantes	<p>Tratamento de contaminantes (pesticidas) em solução aquosa</p> <p>Funcionamento ocorre em circuito fechado (recirculação)</p> <p>Fonte de luz interna e concêntrica (comprimento de onda na faixa de 250 a 400 nm, potência nominal entre 15 e 25 W com vida útil de até 5000 horas)</p>

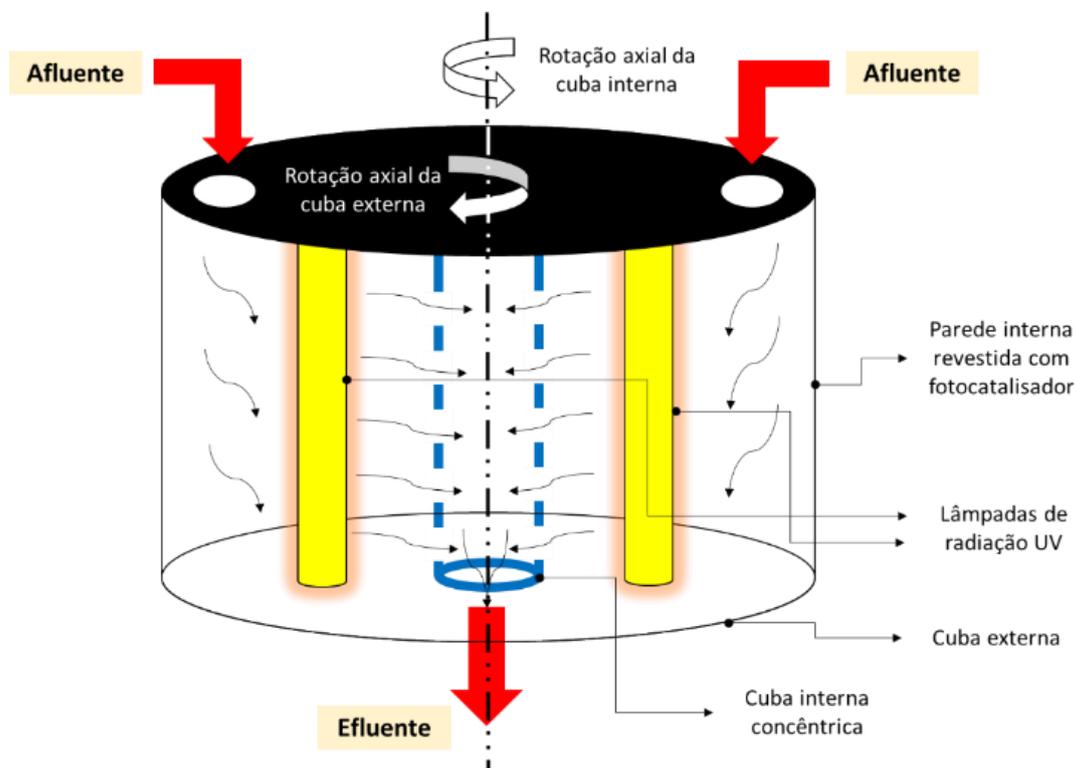
Fonte:

A câmara de fotocatalise caracterizada na Tabela 4 possui vantagens no seu uso e concepção. Com relação ao aspecto do uso essa patente tem como vantagem a fácil manutenção do equipamento, pois as peças são móveis, no caso do suporte do fotocatalisador esse item é passível de substituição por outro tipo de catalisador (ver Figura 10). Em termos de concepção, a patente é dotada de um injetor de solução inclinado com o objetivo de provocar uma maior turbulência da solução no interior da câmara de fotocatalise.

A patente de inovação designada por “**Processo para a purificação de efluentes gasosos por fotocatalise e instalação para a realização do dito processo**” em resumo desempenha a função em tratar resíduos gasosos sob a incidência de radiação ultravioleta em uma única etapa. O princípio LIED, E.B.; TREVISAN, A.P.; ARCEGO, C.V.; JUNIOR, E.L. dos S.; MOREJON, C.F.M.. Prospecção Tecnológica em torno do uso da fotocatalise heterogênea utilizando TiO_2 para o tratamento de contaminantes em fase gasosa.

básico de operação deste equipamento é de fazer com que o efluente gasoso sofra movimentos de “lamber” pelo menos um primeiro suporte e de travessia de um segundo suporte, sendo que pelo menos um dos ditos primeiro suporte e segundo suporte deverão estar recobertos por um agente fotocatalisador, conforme Figura 11 (MONDJIAN et al., 2001).

Figura 11 - Desenho esquemático da cuba fotocatalítica (adaptado MONDJIAN et al., 2001).



Fonte:

As principais características e reivindicações enunciadas pelos autores desta tecnologia estão descritas sumariamente na Tabela 5.

Tabela 5 -Características básicas de constituição e funcionamento da cuba fotocatalítica.

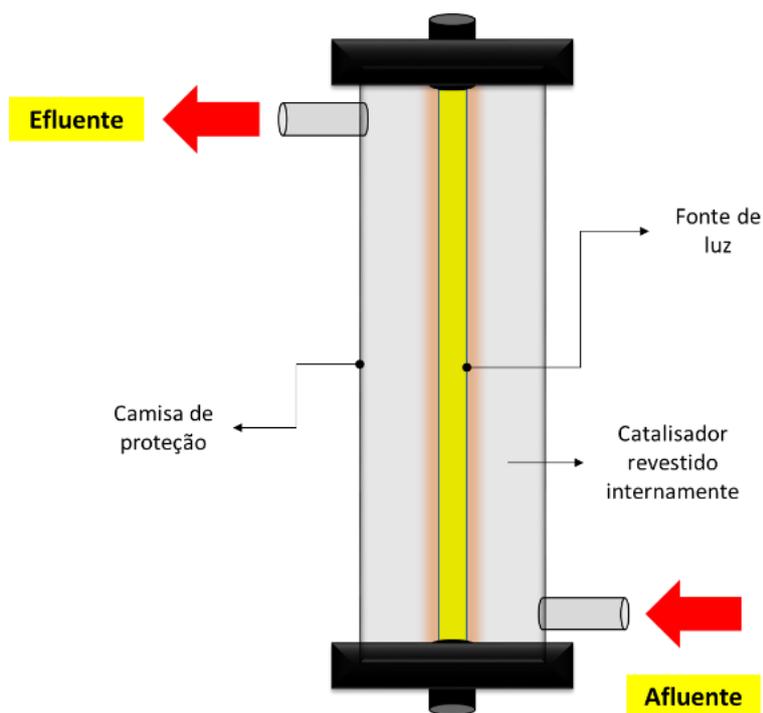
Título	Características principais
Processo para a purificação de efluentes gasosos por fotocatalise e instalação para a realização do dito processo	<p>Constituído de duas cubas concêntricas (cuba externa revestida internamente por uma agente fotocatalisador e cuba interna cuja parede é perfurada revestida externamente por fotocatalisador).</p> <p>Lâmpadas de radiação UV dispostas paralelamente entre as cubas.</p> <p>Entrada do gás é dotada de um injetor (pode-se considerar até 12 entradas).</p> <p>Cubas são passíveis de rotação com o objetivo de aumentar a turbulência (convecção) do gás no interior da cuba.</p> <p>Revestimento do fotocatalisador de 10g/m² (TIONA PC500 – marca comercial)</p>

Fonte:

A patente caracterizada na Tabela 5 apresenta como principal vantagem inventiva a possibilidade de produzir uma rotação do reator com o intuito de potencializar o contato com a superfície catalítica e evitar a rápida saturação do catalisador. Outras vantagens e desvantagens são destacadas na Figura 11.

A invenção designada por “**Processo para destruição de compostos orgânicos e inorgânicos voláteis em fase gasosa por fotocatalise heterogênea**” baseia-se no emprego de um semiconductor, que deve ser iluminado por fonte de luz natural ou artificial (Figura 12).

Figura 12 - Desenho esquemático da cuba fotocatalítica (adaptado JARDIM e OLIVEIRA, 1998).



Fonte:

As principais características e reivindicações enunciadas pelos autores desta tecnologia estão descritas sumariamente na Tabela 6.

Tabela 6 -Características básicas de constituição e funcionamento da reator fotocatalítico.

Título	Características principais
Processo para destruição de compostos orgânicos e inorgânicos voláteis em fase gasosa por fotocatalise heterogênea	<p>Eficiência na destruição de compostos orgânicos voláteis (VOCs) e em resíduos gasosos de laboratórios químicos.</p> <p>Reator é dotado de uma camisa de proteção, o qual é revestido internamente por um filme de TiO₂.</p> <p>O semiconductor (TiO₂) pode estar na forma de pó, gel, colóide, ou similar independentemente do tamanho da partícula.</p>

Fonte:

LIED, E.B.; TREVISAN, A.P.; ARCEGO, C.V.; JUNIOR, E.L. dos S.; MOREJON, C.F.M.. Prospecção Tecnológica em torno do uso da fotocatalise heterogênea utilizando TiO₂ para o tratamento de contaminantes em fase gasosa.

A patente caracterizada na Tabela 6 apresenta como principal vantagem inventiva a a simplicidade em sua concepção bem como na instalação e operação, conforme indicado Figura 12.

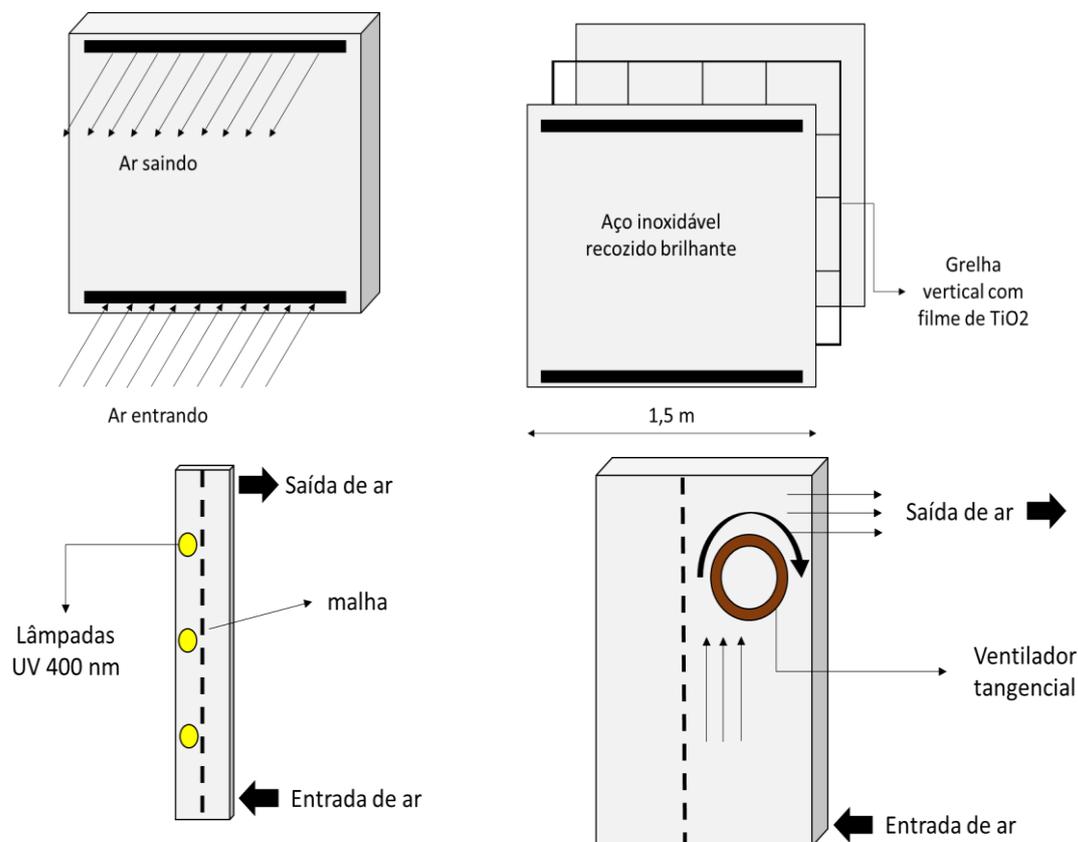
Com o intuito de testar a eficiência do equipamento os autores conduziram um ensaio com o reator operado sob as seguintes condições:

- Uso de lâmpada de luz negra (potência 30W);
- Vazão de alimentação: 200 mL/min;
- Faixa de concentração dos contaminantes gasosos: 400 a 600 ppmV

O equipamento apresentou taxas de remoção significativas com relação aos gases H₂S (99,3%), tricloetileno (99,9%), isooctano (98,9%), acetona (98,5%), metanol (97,9%), metil etil cetona (97,1%).

A invenção “**Dispositivo para a purificação fotocatalítica contínua do ar de uma sala habitada, seu uso e método para otimizar o dimensionamento de um elemento de purificação de ar**” relaciona-se com um dispositivo de purificação de ar trabalhando sobre o princípio de fotocatalise heterogênea mediante contato com dióxido de titânio e preferivelmente assumindo a forma de um painel de parede, conforme Figura 13 (GERON et al., 2006).

Figura 13 - Desenho esquemático do purificador.



Fonte: adaptado GERON et al., 2006

As principais características e reivindicações enunciadas pelos autores desta tecnologia estão descritas sumariamente na Tabela 7.

Tabela 7 -Características básicas de constituição e funcionamento do purificador.

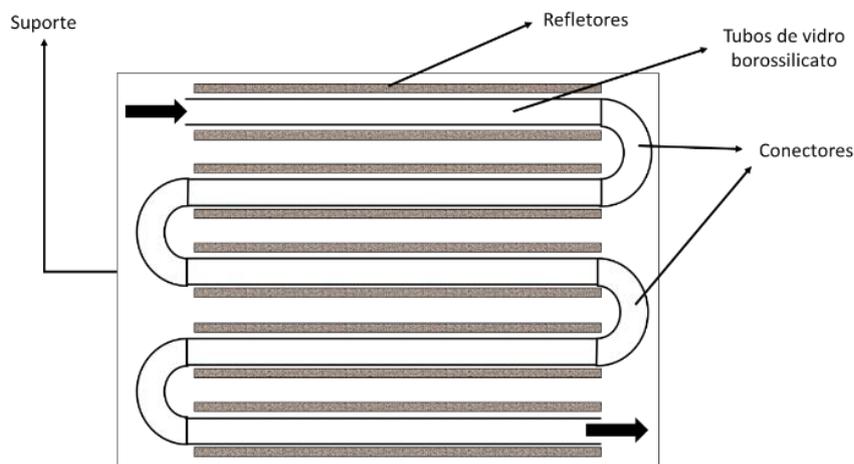
Título	Características principais
Dispositivo para a purificação fotocatalítica contínua do ar de uma sala habitada, seu uso e método para otimizar o dimensionamento de um elemento de purificação de ar	<p>Dispositivo é provido de um ventilador tangencial ($550 \text{ m}^3/\text{h}$) localizado no topo do equipamento com a função de forçar a circulação turbulenta de ar (convecção forçada).</p> <p>Sistema opera em regime contínuo.</p> <p>Estrutura metálica externa (aço).</p> <p>Estrutura interna metálica dotada de várias lâmpadas de radiação UV (315 – 400 nm) com potência nominal de 25W (4,3W em UVA)</p> <p>Filtro interno (grelha) com película de TiO_2.</p>

Fonte:

O purificador de ar descrito na Tabela 7 apresenta como item inventivo a grelha catalítica como elemento que aumenta a área de contato com o ar (Figura 13).

A patente sob o título “**Fotocatalisadores à base de dióxido de titânio dopados com íons de metais de transição (...)**” refere-se a fotocatalisadores a base de dióxido de titânio dopados com íons de metais de transição (Figura 14).

Figura 142: Desenho do reator tipo CPC (adaptado MACHADO e VELANI, 2008).



Fonte:

As principais características e reivindicações enunciadas pelos autores desta tecnologia estão descritas sumariamente na Tabela 8.

Tabela 8 -Características básicas de constituição e funcionamento do reator tipo CPC.

Título	Características principais
Fotocatalisadores à base de dióxido de titânio dopados com íons de metais de transição, seu processo de preparação e sua aplicação em processos de descontaminação ambiental	Reator do tipo CPC (concentrado parabólico composto). Composto por 10 tubos de vidro conectados em série. Superfície coletoras de 1,62 m ² ; reservatório com capacidade de 120 L; bomba centrífuga de 0,5 cv para impulsionar o efluente continuamente pelos tubos e pelo reservatório.

Fonte:

O reator tipo CPC fotocatalítico caracterizado na Tabela 8 possui vantagens no seu uso e concepção, basicamente sua principal vantagem está no baixo custo e praticidade na instalação, permitindo o arranjo sem maiores restrições na localização (Figura 14).

CONCLUSÃO

China e Japão são os países que possuem o maior número de trabalhos em relação ao tema da fotocatalise, logo se constituem os pólos de maior contribuição científica e tecnológica no assunto.

A partir da análise dos resultados encontrados na prospecção verificou-se que o cenário de pesquisa e desenvolvimento tecnológico sobre fotocatalise no Brasil é considerado ainda raso em relação aos países de ponta, tendo em vista que o número de documentos científicos produzidos por pesquisadores brasileiros até o ano de 2016 corresponde a apenas 15% do que foi produzido por pesquisadores japoneses, e menos de 5% com relação aos chineses. No entanto, o Brasil apresenta um volume de pesquisa expressivo em comparação aos países da Europa, embora isso não se reflita proporcionalmente ao desenvolvimento de patentes que tangem sua aplicação na área de degradação de contaminantes, pois verificou-se neste trabalho uma quantidade pequena de equipamentos tecnológicos registrados no INPI.

O estudo mais aprofundado de cada documento de patente relacionado neste trabalho permitiu identificar principais gargalos a serem objeto de preocupação no processo de inovação na área de fotocatalise para a degradação de contaminantes. Basicamente, os autores das tecnologias investigadas atuam na concepção de equipamentos que consigam apresentar maior área de contato entre o fotocatalisador e o fluxo de contaminantes, e de modo a garantir esse contato, como por exemplo a criação e invenção de dispositivos que confirmam maior homogeneização dos fluxos no interior de cada reator visto em alguns equipamentos caracterizados ao longo do trabalho.

REFERÊNCIAS

BAHNEMANN, D. **Photocatalytic water treatment: solar energy applications**. *Solar Energy*, v.77, p.445-459, 2004.

BEKBOLET, M. et al. **Photocatalytic detoxification with the thin-film fixed-bed reactor (TFFBR): clean-up of highly polluted landfill effluents using a novel TiO₂-photocatalyst**. *Solar Energy*, v.56, No. 5, p.455-469, 1996.

BURGESS, J. E., PARSONS, S. A., STUETZ, R. M. **Developments in odour control and waste gas treatment biotechnology: a review**. *Biotechnology Advances*, v.19, p.35-63, 2001.

LIED, E.B.; TREVISAN, A.P.; ARCEGO, C.V.; JUNIOR, E.L. dos S.; MOREJON, C.F.M.. Prospecção Tecnológica em torno do uso da fotocatalise heterogênea utilizando TiO₂ para o tratamento de contaminantes em fase gasosa.

CABALLERO, N. E. D., DONAIRE, P. P. R. **Reator tubular para fotocatalise heterogênea de compostos orgânicos**. Brasil (INPI), PI 0701773-1 A2, 2008.

CAMPOS, P. B. **Avaliação do Tratamento de Sulfeto de Hidrogênio através de Fotocatálise**. Monografia (Engenharia Ambiental) – UFSC, Florianópolis-SC, 2009.

CHERNICHARO, C. A. L. et al. **Alternativas para o controle de emissões odorantes em reatores anaeróbios tratando esgoto doméstico**. *EngSanitAmbient*, v.15, n.3, p.229-236, 2010.

DURR. **Formas de Abatimento de Odores na Fonte**. In: Workshop sobre Odor. Toledo: Instituto Ambiental do Paraná, 2015.

FUJISHIMA, A. et al. **Heterogeneous photocatalysis: Fromwater photolysis to applications in environmental cleanup**. *InternationalJournalofHydrogen Energy*, v.32, p.2664-2672, 2007.

GERON, L. et al. **Dispositivo para a purificação fotocatalítica contínua do ar de uma sala habitada, seu uso e método para otimizar o dimensionamento de um elemento de purificação de ar**. Brasil (INPI), PI 0415144-5 A, 2006.

JARDIM, W. F., OLIVEIRA, R. M. A. **Processo para destruição de compostos orgânicos e inorgânicos voláteis em fase gasosa por fotocatalise heterogênea**. Brasil (INPI), PI 9700500-2 A, 1998.

LUO, J., LINDSEY, S. **The use of pine bark and natural zeolite as biofilter media to remove animal rendering process odours**. *Bioresource Technology*. v.97, p.1461-1469, 2006.

MILORI, D. M. B. P. et al. **Câmara de fotocatalise para tratamento de solução contendo contaminantes**. Brasil (INPI), UM 8502154-7 U, 2007.

MONDJIAN, P. et al. **Processo para a purificação de efluentes gasosos por fotocatalise e instalação para a realização do dito processo**. Brasil (INPI), PI 0006158-1 A, 2001.

RAJESHWAR, K.; IBANEZ, J. **Environmental electrochemistry – fundamentals and its applications in pollution abatment**. *Academic Press*, 1997.