

**X-036 – PREPARAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE FOTOCATALISADORES APLICADOS A DESINFECÇÃO EM AMBIENTES INTERNOS CLIMATIZADOS****Isabel Medeiros Moreira<sup>(1)</sup>**

Engenheira Sanitarista e Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina. Mestranda em Engenharia Ambiental pelo Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental (UFSC). Pesquisadora do Laboratório de Controle da Qualidade do Ar (LCQAr/UFSC)

**Henrique de Melo Lisboa**

Professor Associado do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina. Supervisor do Laboratório de Controle da Poluição Atmosférica do (ENS-UFSC).

**Regina de Fátima P. M. Moreira**

Doutor em Química pela Universidade Federal de Santa Catarina. Professor Associado III do Laboratório de Energia e Meio Ambiente, Departamento de Engenharia Química e Engenharia de Alimentos, UFSC.

**Helena Cristina Ferreira Franz**

Professora Associada do Departamento de Análises Clínicas do Centro de Ciências da Saúde (UFSC).

**Leonardo Hoinaski**

Engenheiro Sanitarista e Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina. Doutorando em Engenharia Ambiental pelo Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental (UFSC). Pesquisadora do Laboratório de Controle da Qualidade do Ar (LCQAr/UFSC)

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Universidade Federal de Santa Catarina. Depto. de Engenharia Sanitária e Ambiental, Campus Universitário / Trindade, Florianópolis, SC. CEP: 88040-970 Brasil - Tel: (48) 99653881 - e-mail: [isabel.mmoreira@gmail.com](mailto:isabel.mmoreira@gmail.com)

**RESUMO**

A poluição do ar em ambientes internos deve-se à presença de diferentes tipos de poluentes. Entre as diversas técnicas de tratamento do ar interno destaca-se a oxidação fotocatalítica. A oxidação fotocatalítica trata-se de um processo oxidativo avançado, caracterizando-se pela oxidação via radicais livres, como o radical hidroxila, que degrada os compostos poluentes em espécies químicas inócuas (geralmente dióxido de carbono e água). Este trabalho se propôs a preparar e caracterizar fotocatalisadores e aplicá-los como uma alternativa para o tratamento de contaminantes presentes em ambientes internos, tais como as bactérias. Os fotocatalisadores foram sintetizados pelo método de Sol/Gel e depositados em um filtro de fibra de vidro. Os fotocatalisadores foram caracterizados pela técnica de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV). A MEV do fotocatalisador sintetizado com concentração de 0,4 M de  $\text{TiO}_2$  revelou que nessas condições obtém-se a melhor dispersão e aderência do  $\text{TiO}_2$  no suporte e, por esse motivo, foi selecionado para os testes de desinfecção. Para realização desses testes, foi utilizada a bactéria do gênero *Escherichia coli* e uma unidade piloto, que consistiu num duto com recirculação de ar, realizada por um ventilador. Resumidamente, o funcionamento da instalação consistiu em pulverizar um cultivo de bactérias de *E. Coli*, através de um nebulizador, no interior do duto. O piloto continha quatro lâmpadas ultravioleta dispostas perpendicularmente à passagem de ar, que foram ativadas em dois momentos do experimento. Um deles, sem a disposição de nenhum filtro no duto, com a finalidade de identificar a eficiência de desinfecção por fotólise. Posteriormente, foram realizados os testes com o filtro com  $\text{TiO}_2$  sob irradiação UV. Os experimentos foram conduzidos em tempos de recirculação do fluxo de bactérias de dois e dez minutos. As amostras coletadas através de placas de Petri, foram expostas por dois minutos nos dois tempos de recirculação analisados. Essas placas foram dispostas logo após a seção onde as lâmpadas e o filtro estavam posicionados. Com a utilização do fotocatalisador escolhido, obtiveram-se valores bastante interessantes nos resultados de desinfecção de bactérias, principalmente com o tempo de recirculação de dez minutos. Um dos valores mais expressivos foi com a utilização de filtro com  $\text{TiO}_2$  e lâmpadas UV acionadas (Fotocatálise), ao qual foram obtidos uma percentual de 98% de redução da concentração inicial de bactérias. Desse percentual, após descontar o potencial de retenção somente do filtro sem  $\text{TiO}_2$ , 70% deve-se a inativação das bactérias pelo fotocatalisador sintetizado.

**PALAVRAS-CHAVE:** Poluição do ar interno, *Escherichia coli*, desinfecção e fotocatalise.

## INTRODUÇÃO

É possível observar, na atualidade, uma preocupação maior com a poluição do ar em ambientes internos através do crescente número de pesquisas realizadas nesta área. No Brasil, os problemas associados à qualidade do ar interno vieram à tona com o falecimento do ministro das comunicações Sérgio Motta, em 1998, que teve seu quadro clínico agravado pela bactéria *Legionella pneumophila*. O crescimento e proliferação deste microrganismo e de outros tipos de bactérias estão geralmente associados à má manutenção de sistemas de climatização.

O número de novas tecnologias criadas a fim de reduzir muitos dos poluentes nos diferentes ambientes tem crescido a cada ano. A oxidação fotocatalítica heterogênea é uma tecnologia emergente que está sendo cada vez mais utilizada para o tratamento de diferentes poluentes e que pode ser considerada, de acordo com CHIS, *et al.*, (2005) bem adaptada ao tratamento de ar interno.

Este trabalho tem como objetivo principal preparar, caracterizar e testar fotocatalisadores depositados em manta de fibra de vidro, destinados à desinfecção do ar em dutos de condicionamento de ambientes internos. O Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) mediante o Edital Universal n.º 481486/2008-9, é quem financiou este trabalho. Ele se insere nas linhas de pesquisas desenvolvidas pelo Laboratório de Controle da Qualidade do Ar – (LCQAr/ENS/UFSC) sobre poluição do ar interno, tema de alguns trabalhos, como de dissertação de mestrado (QUADROS, 2008) e de Trabalho de Conclusão do Curso de graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental (MOREIRA, 2008). Do mesmo modo, este trabalho também se insere na linha de pesquisa do LCQAr em fotocatalise, que já foi tema de alguns Trabalhos de Conclusão do Curso de graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental (BRANCHER, 2010; CAMPOS, 2009); e de dissertação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental (OLIVEIRA, 2011).

## MATERIAIS E MÉTODOS

### PREPARAÇÃO DOS FOTOCATALISADORES

Os fotocatalisadores foram preparados pelo método sol-gel a partir da solução precursora de butóxido de titânio ( $\text{Ti}(\text{OC}_4\text{H}_9)_4$  – Sigma-Aldrich - 97% P.A.), de etanol anidro ( $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$  – Quimex - 95% P.A.) e de ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$  – Quimex - 65% P.A.).

Foram sintetizados fotocatalisadores a partir das concentrações de 0,4 M e de 0,6 M da solução orgânica de  $\text{TiO}_2$  de acordo com as etapas a seguir:

**Solução A:** soluções intituladas de “A” foram preparadas com 68 ml (no caso da solução com concentração de 0,4 M de  $\text{TiO}_2$ ) e a outra com 102 ml (no caso da solução com concentração de 0,6 M de  $\text{TiO}_2$ ). A cada uma dessas concentrações foi adicionado 500 ml de etanol anidro. Esta mistura foi deixada sob agitação magnética leve durante 1 hora (YU, *et al.*, 2009).

**Solução B:** Duas soluções intituladas de “B” foram preparadas através da mistura de 50 ml de  $\text{HNO}_3$ , 500 ml de etanol anidro e 65 ml de água destilada. Em cada uma dessas misturas foi adicionada, gota a gota, as soluções A (0,4 M e 0,6M) sob vigorosa agitação, para promover a hidrólise da solução e assim permaneceu por 60 minutos.

As soluções resultantes foram estocadas por 24 horas, em temperatura ambiente, dentro de uma capela, resultando nas soluções orgânicas de  $\text{TiO}_2$  (YU, *et al.*, 2009)

### DEPOSIÇÃO DOS FILMES

As soluções resultantes (solução A + solução B) foram depositadas sobre uma manta filtrante em fibra de vidro (Linter-modelo FV-25). A fibra de vidro foi imersa na solução resultante por 30 minutos. Na sequência, foi retirada da solução e seca em estufa a 105° C, por uma hora. Em seguida, os filtros foram calcinados a 500 °C, por um período de 4 horas, para promover a cristalização e densificação dos filmes (YOU, *et al.*, 2001).

## CARACTERIZAÇÃO DOS FOTOCATALISADORES

Para uma avaliação mais detalhada das características estruturais, tais como textura e superfície dos filmes depositados sobre o filtro de fibra de vidro, foi utilizado um microscópio eletrônico de varredura (MEV), (Phillips modelo XL30).

## DISPOSITIVO EXPERIMENTAL

O piloto utilizado para os testes de desinfecção fotocatalítica foi baseado no trabalho de Vohra *et al.*, (2006). O duto, com recirculação de ar em forma de anel, simula um sistema de ventilação de um processo de condicionamento de ar para ambientes internos.

## TESTES DE DESINFECÇÃO

Para os testes de desinfecção, foi utilizada a bactéria *Escherichia coli* (ATCC 25922). As colônias de *Escherichia coli* foram obtidas no Laboratório Didático de Microbiologia Clínica do Departamento de Análises Clínicas da UFSC.

A Figura 1 mostra um esquema do sistema experimental de desinfecção. Resumidamente, o funcionamento do sistema consistiu em pulverizar uma suspensão líquida contendo bactérias, como proposto por YU, *et al.*, (2008), através de um nebulizador, na seção de injeção da amostra (Figura 1 - item 1). Na seção do reator (local do piloto onde foi posicionado o filtro de fibra de vidro - Figura 1 – item 2) além do conjunto de quatro lâmpadas UV-A de 15 W cada (G-Light, T8 BLB), que foram ativadas ou não durante os experimentos, estava presente o suporte para inserção, ou não do filtro, com ou sem fotocatalisador depositado, durante as análises. Com a ativação do ventilador no mesmo instante da ativação do nebulizador, os aerossóis contendo bactérias foram transportados e distribuídos pelo interior do duto. A coleta das amostras de ar contaminado foi realizada por três placas de Petri, dispostas paralelamente à corrente de ar contaminado, uma sobre a outra, em um suporte, na seção de coleta de amostra (Figura 1 – item 3). Cada placa continha ágar Casoy e foi exposta à corrente de ar por um período de dois minutos. Os experimentos foram conduzidos em dois tempos de recirculação diferentes, um de dois e outro de dez minutos. No tempo de recirculação de dois minutos, as placas de Petri foram expostas ao fluxo contaminado durante todo o tempo de experimento. Já no tempo de recirculação de dez minutos, as placas foram expostas ao fluxo contaminado por um período de dois minutos, após completado o 10º minuto de recirculação. Depois de o ar contaminado passar pela seção do reator (Figura 1 - item 2) e ao passar pelas placas, as eficiências de degradação do filtro, com e sem o fotocatalisador depositado em sua superfície e com e sem a incidência de radiação UV, foram determinadas. Essa eficiência foi verificada através da diferença no número de colônias contadas de bactérias presentes nas placas de petri nessas diferentes situações.

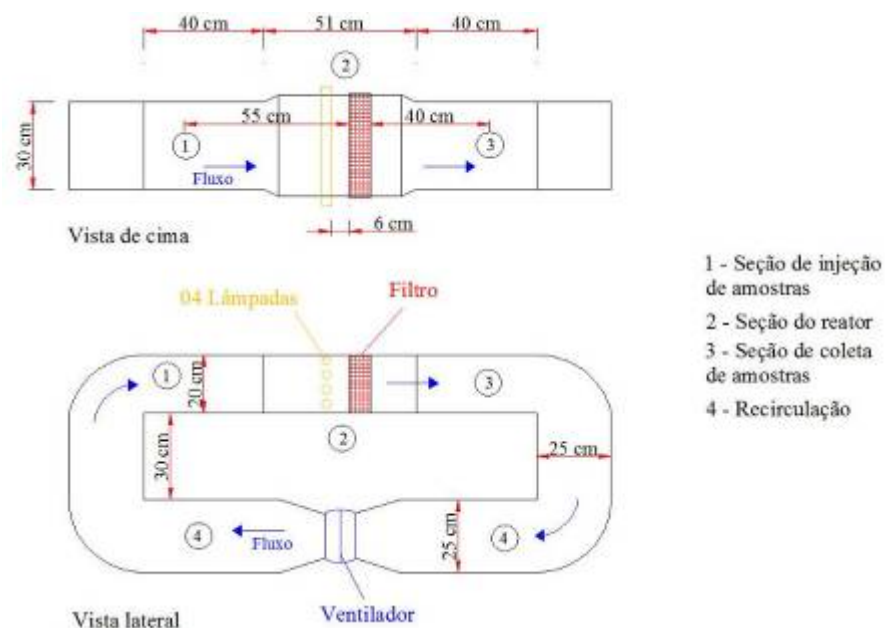


Figura 1: Esquema simplificado da instalação para teste de fotodegradação de microrganismos.

## RESULTADOS

### MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA

As imagens apresentadas na Figura 2 correspondem às análises de microscopia eletrônica de varredura do fotocatalisador sintetizado com uma concentração de 0,4 M de  $\text{TiO}_2$ , em diferentes ampliações.

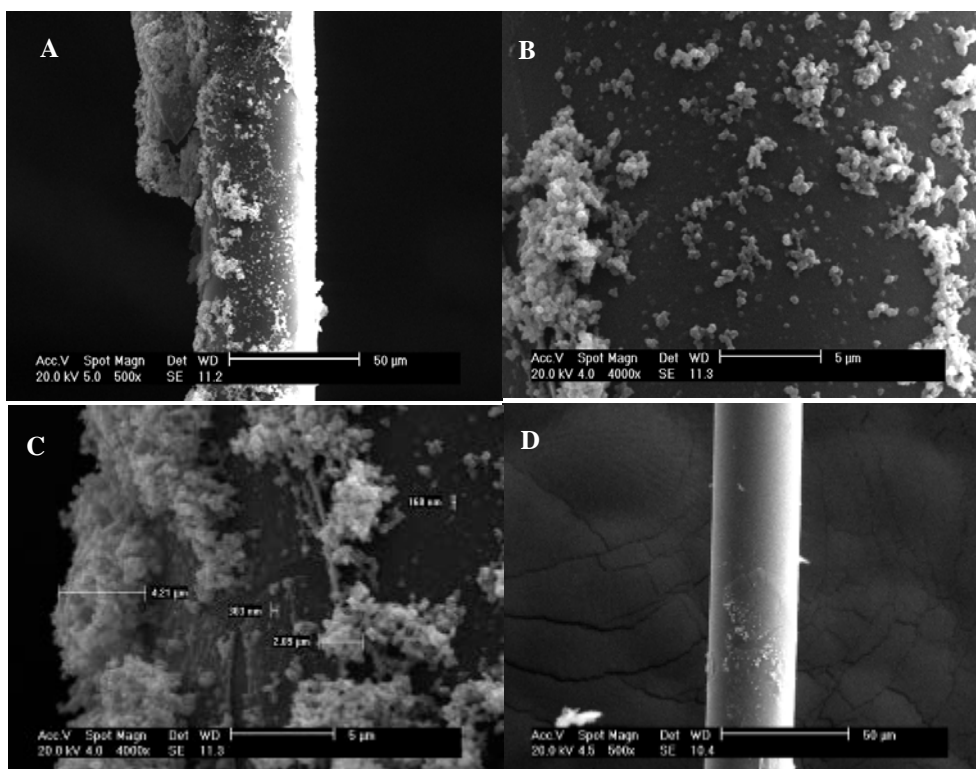


Figura 2: Imagens MEV com concentração de  $\text{TiO}_2$  de 0,4 M.

Observa-se que a fibra apresenta, em algumas partes, grandes aglomerados, formados por pequenos cristais de titânio (A, B, C) (Figura 2). Esses aglomerados (Figura 2C) possuem dimensões entre 168 nm a 4,21 micrometros. No entanto, apesar da maioria das fibras apresentarem em algumas áreas a presença de grandes aglomerados de partículas, em outras áreas foi observada a inexistência das partículas aderidas na fibra. Já as imagens apresentadas na Figura 3 correspondem às análises de microscopia eletrônica de varredura do fotocatalisador sintetizado com uma concentração de 0,6 M de  $\text{TiO}_2$ .

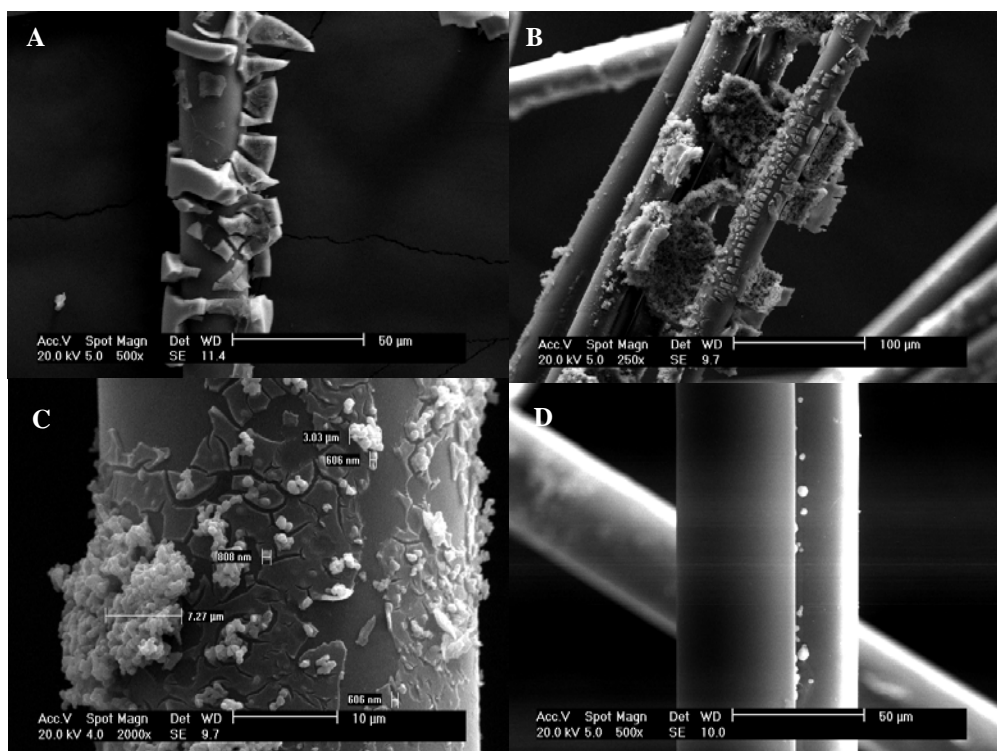


Figura 3: Imagens MEV com concentração de  $\text{TiO}_2$  de 0,6 M.

Nas imagens A e B da Figura 3, como também a maior parte das imagens observadas desta mesma amostra, foi observado a presença concentrada de titânio, com aparência de formação de grandes blocos e não pequenos cristais. Em pequenos pontos desta mesma amostra, Figura 3C, pode-se observar a presença dos aglomerados de cristais de titânio. Alguns desses aglomerados de cristais foram medidos e possuem largura com tamanho aproximado entre 606 nm a 7,27 micrometros. No entanto, observou-se nas imagens dos fotocatalisadores produzidos com uma concentração de  $\text{TiO}_2$  de 0,6 M, uma quantidade elevada de fibras, com poucos cristais de  $\text{TiO}_2$  aderidos nas fibras, como exemplifica a Figura 3 (D).

## TESTES DE DESINFECÇÃO

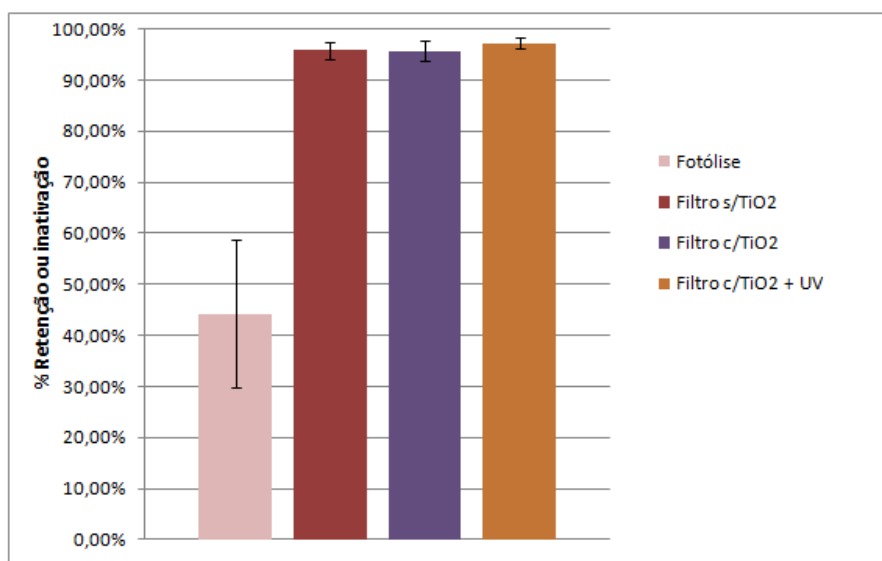
Para avaliação dos resultados dos catalisadores no processo de desinfecção, cada amostra foi coletada em triplicata e os ensaios foram repetidos, no mínimo, por três vezes. Em cada resultado obtido nos experimentos foram calculados valores médios e seus respectivos desvios padrão.

Na Tabela 1 e na Figura 4, encontram-se os resultados dos experimentos com o filtro com  $\text{TiO}_2$  com fluxo de bactérias no interior do duto recirculado por um período de dois minutos. Os resultados de inativação ou retenção foram calculados de acordo com o tipo de tratamento adotado, ou seja: sem filtro, com lâmpadas UV acionadas (Sem filtro e UV); com filtro sem  $\text{TiO}_2$  e sem UV (Filtro sem  $\text{TiO}_2$ ); com filtro, com  $\text{TiO}_2$  e sem UV (Filtro com  $\text{TiO}_2$ ); e com filtro, com  $\text{TiO}_2$  e lâmpadas UV acionadas (Filtro com  $\text{TiO}_2$  e UV). Esses resultados de retenção ou inativação foram calculados a partir da média da concentração inicial de colônias, obtidas nas placas sem nenhum filtro (Sem filtro) que foram inseridas no duto.



**Tabela 1: Resultados dos experimentos realizados por um período de dois minutos.**

Tipo de tratamento	Média de colônias (UFC)	Média de colônias (UFC)	Média de colônias (UFC)	% Média de Retenção ou Inativação	Desvio padrão
<b>Concentração Inicial / Sem filtro</b>	<b>907</b>	<b>2497</b>	<b>1835</b>	<b>0,00%</b>	<b>±0,00</b>
Sem filtro e UV	792	1720	200	44,30%	±32,56
<b>% UV</b>	<b>12,68%</b>	<b>31,12%</b>	<b>89,10%</b>		
Filtro sem TiO <sub>2</sub>	51	128	33	95,81%	±1,70
<b>% Filtro S/ TiO<sub>2</sub></b>	<b>94,38%</b>	<b>94,86%</b>	<b>98,20%</b>		
Filtro com TiO <sub>2</sub>	57	124	29	95,72%	±1,98
<b>% Filtro C/ TiO<sub>2</sub></b>	<b>93,72%</b>	<b>95,03%</b>	<b>98,42%</b>		
Filtro com TiO <sub>2</sub> e UV	36	79	24	97,19	±1,11
<b>% Filtro com TiO<sub>2</sub> e UV</b>	<b>96,03%</b>	<b>96,84%</b>	<b>98,69%</b>		



**Figura 4: Eficiência de retenção ou inativação de E. coli nos experimentos de dois minutos.**

É possível observar, a partir da Tabela 1 e da Figura 4, uma redução de 44,30% ± 32,56 no número de colônias de *E. coli* iniciais somente com a ativação das lâmpadas UV (Fotólise). Esses valores elevados de desvio padrão, demonstram uma instabilidade no processo de fotólise para inativação das bactérias com o sistema recirculado por dois minutos. Já o filtro sem TiO<sub>2</sub> depositado, apresentou médias de resultados de retenção de bactérias de 95,81% ± 1,70.

A eficiência de desinfecção do filtro com TiO<sub>2</sub> depositado sem a incidência de luz UV, foi de 95,72% ± 1,98 em relação a concentração inicial de bactérias no duto sem a utilização de filtro. A eficiência de desinfecção, obtida no presente trabalho, é bastante semelhante e até um pouco inferior à porcentagem obtida somente com o filtro

sem  $\text{TiO}_2$  depositado, no tempo de recirculação de dois minutos. Com esse resultado, foi levantada a hipótese de que o tempo de recirculação de dois minutos talvez fosse muito baixo para a adsorção das bactérias no fotocatalisador. Já os resultados de eficiência de desinfecção, pelo fenômeno de fotocatalise, do filtro com fotocatalisador sintetizado a partir de butóxido foi de  $97,11\% \pm 1,11$  em relação a concentração inicial de bactérias no duto. Esse valor de eficiência de desinfecção, apesar de alto, ficou também bastante próximo ao valor e retenção calculado para o filtro sem  $\text{TiO}_2$  depositado. Esses resultados podem ser melhor visualizados na Figura 4, onde é possível notar que os valores de eficiência de desinfecção com o fotocatalisador, sem e com a incidência de luz UV nos experimentos com recirculação de dois minutos, ficaram próximas a eficiência de retenção somente com o filtro sem  $\text{TiO}_2$  depositado. Esses valores confirmam ainda mais a hipótese, de que o tempo de recirculação de dois minutos, realmente não foi suficiente para a adsorção das bactérias no fotocatalisador sintetizado, com e sem a incidência de luz UV. Por esse motivo, não foram obtidos resultados expressivos de inativação de bactérias no tempo de recirculação de dois minutos.

Na Tabela 2 e na Figura 5, encontram-se os resultados dos experimentos com o filtro com  $\text{TiO}_2$  com fluxo de bactérias no interior do duto recirculado por um período de dez minutos. Esses valores foram calculados da mesma forma em que foram obtidos os resultados quando o sistema foi recirculado por dois minutos, conforme já expostos.

**Tabela 2: Resultado dos experimentos realizados por um período de dez minutos**

<b>Tipo de tratamento</b>	<b>Média de colônias (UFC)</b>	<b>Média de colônias (UFC)</b>	<b>Média de colônias (UFC)</b>	<b>% Média de Retenção ou Inativação</b>	<b>Desvio padrão</b>
<b>Concentração Inicial / Sem filtro</b>	<b>281</b>	<b>Incontável</b>	<b>1129</b>	<b>0,00%</b>	<b><math>\pm 0,00</math></b>
Sem filtro e UV	104	Incontável	547	57,27%	$\pm 8,09$
% UV	62,99%	Indeterminável	51,55%		
Filtro sem $\text{TiO}_2$	60	541	125	83,79%	$\pm 7,27$
% Filtro S/ $\text{TiO}_2$	78,65%	Indeterminável	88,93%		
Filtro com $\text{TiO}_2$	17	347	49	94,81%	$\pm 1,21$
% Filtro C/ $\text{TiO}_2$	93,95%	Indeterminável	95,66%		
Filtro com $\text{TiO}_2$ e UV	5	324	23	98,09%	$\pm 0,18$
% Filtro com $\text{TiO}_2$ e UV	98,22%	Indeterminável	97,96%		

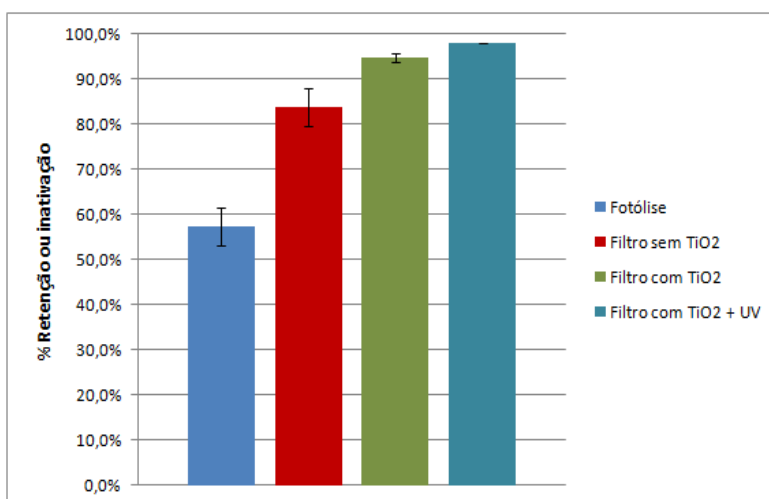


Figura 5: Eficiência de retenção ou inativação de *E. coli* nos experimentos de dez minutos.

Na Tabela 2 e na Figura 5, é possível observar que somente com as lâmpadas UV ligadas, ou seja através da fotólise, obteve-se uma expressiva redução de bactérias no interior do duto. Nesses experimentos os valores de desinfecção por fotólise foram de  $57,27\% \pm 8,09$  com um tempo de recirculação no duto de dez minutos. Esse resultado foi superior ao valor de fotólise obtido com o tempo de recirculação de dois minutos. Além disso, esse valor de eficiência por fotólise demonstrou ser mais confiável no tempo de recirculação de dez minutos. Isso porque, nesse tempo de experimento, os resultados de eficiência por fotólise nos diferentes dias foram mais uniformes, com o valor de desvio padrão menor em comparação aos valores obtidos no tempo de experimento de dois minutos. Já com o meio filtrante sem  $\text{TiO}_2$  depositado, obteve-se valores de retenção de bactérias de  $83,79\% \pm 7,27$ . Uma eficiência de retenção também elevada, no entanto de retenção de 98% de bactérias, foi obtida no trabalho de Vohra *et al.*, (2006) quando utilizou também um filtro de fibra de vidro. No entanto, essa eficiência de retenção foi obtida utilizando um cultivo de bactéria *B. cereus* para um mesmo tempo de recirculação e amostragem das placas.

Foi obtido com o filtro com fotocatalisador sintetizado a partir de butóxido de titânio, sem a ativação das lâmpadas UV, uma eficiência de  $94,81\% \pm 1,21$  de inativação de bactérias. Com a utilização do filtro com  $\text{TiO}_2$  sintetizado e com a incidência de luz UV (Fotocatálise), obteve-se um valor de  $98,09\% \pm 0,18$  na eficiência de desinfecção de bactérias. Portanto, obteve-se valores de desinfecção maiores com o filtro com fotocatalisador sintetizado sem e com a ativação de lâmpadas UV com o sistema recirculado por dez minutos.

Apesar do procedimento de preparo da suspensão com *E. coli* ter sido o mesmo, após a pulverização dessa solução no interior do duto a média do número de colônias de bactérias contadas nas placas variou bastante entre os diferentes dias de experimentos. Em decorrência desta variação, tanto no experimento de dois quanto no de dez minutos, algumas placas não puderam ser contadas em virtude do grande número de colônias formadas. Esses resultados tidos como “incontáveis”, não foram contabilizados nos cálculos de eficiência apresentados na Tabela 1 e 2 e nas Figuras 4 e 5. Esses valores “incontáveis” ocorreram somente em placas coletadas após sem nenhum filtro estar posicionado, ou somente quando as lâmpadas UV estavam acionadas. Nesses casos, os parâmetros de eficiência por fotólise e eficiência do meio filtrante, com e sem fotocatalisador depositado, não puderam ser determinados. Isso porque, o cálculo da eficiência nessas diferentes configurações de tratamento, foi efetuado através da comparação do resultado da concentração inicial, ou seja sem filtro e, nesse caso incontável, com os resultados obtidos nos diferentes tratamentos. Entretanto, com a finalidade de não descartar os experimentos com resultados “incontáveis” e, visto que somente o meio filtrante, sem  $\text{TiO}_2$ , era capaz de reter boa parte da concentração inicial de bactérias, um novo cálculo de eficiência foi realizado tendo como concentração inicial a eficiência de retenção somente do filtro sem  $\text{TiO}_2$ . Além disso, esse novo cálculo foi necessário para evidenciar a eficiência somente do fotocatalisador sintetizado, desconsiderando a eficiência do filtro, que por si só já retém uma elevada concentração de bactérias. Os resultados desse novo cálculo de eficiência, apresentados na Tabela 3 e 4, com o tempo de recirculação de dois e dez minutos respectivamente, demonstram o quanto de eficiência de desinfecção foi realizada somente pelo fotocatalisador (com e sem luz UV). Na Figura 6, esses dados foram plotados em um único gráfico para melhor visualização e comparação dos resultados.

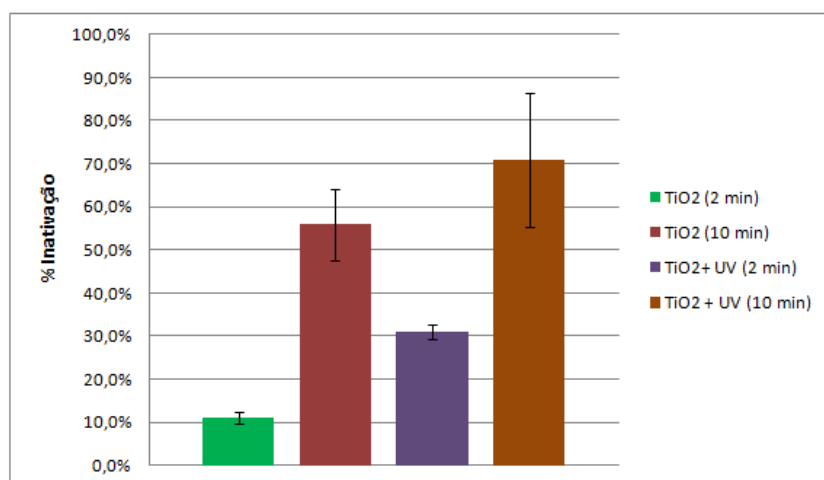


Tabela 3: Resultados de inativação de *E. coli* nos experimentos de dois minutos.

Tipo de tratamento	Concentração Inicial/ Filtro sem TiO <sub>2</sub>	Filtro com TiO <sub>2</sub>	% TiO <sub>2</sub> (2 minutos)	Filtro com TiO <sub>2</sub> e UV	% TiO <sub>2</sub> e UV (2 minutos)
Média de colônias (UFC)	1571	1205	23,30%	1200	23,62%
Média de colônias (UFC)	51	57	-11,76%	36	29,41%
Média de colônias (UFC)	128	124	3,35%	79	38,43%
Média de colônias (UFC)	1977	1605	18,82%	1283	35,10%
Média de colônias (UFC)	1249	1109	11,21%	833	33,31%
Média de colônias (UFC)	1196	933	21,99%	835	30,18%
Média de colônias (UFC)	33	29	12,12%	24	27,27%
Média % de Inativação			<b>11,29%</b>		<b>31,05%</b>
Desvio padrão			±11,41		±5,77

Tabela 4: Resultados de inativação de *E. coli* nos experimentos de dez minutos.

Tipo de tratamento	Concentração Inicial/Filtro sem TiO <sub>2</sub>	Filtro com TiO <sub>2</sub>	% TiO <sub>2</sub> (10 minutos)	Filtro com TiO <sub>2</sub> e UV	% TiO <sub>2</sub> e UV (10 minutos)
Média de colônias (UFC)	60	17	71,67%	5	91,67%
Média de colônias (UFC)	541	347	35,86%	324	40,11%
Média de colônias (UFC)	125	49	60,80%	23	81,60%
Média % de Inativação			<b>56,11%</b>		<b>71,14%</b>
Desvio padrão			±18,36		±27,33

Figura 6: Eficiência de inativação de *E. coli* nos experimentos de dois e dez minutos.

A partir dos dados da Tabela 3, da Tabela 4 e da Figura 6, observa-se que o fotocatalisador, sem a incidência de luz UV, apresentou resultados pouco expressivos na eficiência de inativação de bactérias no tempo de recirculação de dois minutos, ou seja, de  $11,29\% \pm 11,41$ . Já com o tempo de dez minutos, foi possível obter um valor de eficiência de bactérias maior de  $56,11\% \pm 18,36$ .

Com a ativação das lâmpadas UV sobre a superfície dos fotocatalisadores (Fotocatálise), observou-se um aumento nos valores de desinfecção de bactérias nos dois tempos de recirculação. No entanto, o fenômeno de fotocatalise obteve melhores resultados no tempo de recirculação de dez minutos, ou seja de  $71,14\% \pm 27,33$  de inativação de bactérias em comparação aos resultados obtidos com o tempo de recirculação de dois minutos, ou seja, de  $31,05\% \pm 5,77$ . Assim, o resultado de eficiência de  $71,14\%$ , bem como os demais apresentados nas Tabelas 3 e 4 e na Figura 6, apresentam a eficiência de inativação de bactérias na superfície do meio filtrante pelo fotocatalisador. Isso porque esses, como os demais resultados de eficiência calculados considerando como concentração inicial o filtro sem  $\text{TiO}_2$ , demonstram a concentração de bactérias que foi realmente inativada pelo fenômeno de fotocatalise. Entretanto, as elevadas eficiências obtidas, considerando como concentração inicial as colônias contadas sem a utilização de filtro, Tabela 1 e 2, demonstram uma grande porcentagem de bactérias que foi somente retida pelo filtro. Essa concentração retida de bactérias, provavelmente não foi inativada e sim acumulada na superfície do meio filtrante.

## CONCLUSÕES

A partir das imagens observadas pelo MEV dos fotocatalisadores produzidos, observou-se que na concentração de  $0,4 \text{ M}$  de  $\text{TiO}_2$  apresentou-se uma maior uniformidade e cristalização das partículas de  $\text{TiO}_2$  em comparação com as amostras com concentração de  $\text{TiO}_2$  de  $0,6 \text{ M}$ .

O tempo de experimento de recirculação do fluxo por dois minutos, mostrou-se insuficiente para que o filtro com o fotocatalisador aderido começasse a apresentar resultados representativos. Além disso, eficiências obtidas nos diferentes dias não se mostraram uniformes em algumas tratamentos, como pôde ser observado no elevado valor de desvio padrão do resultado de desinfecção por fotólise de  $44,30\% \pm 32,56$ .

Comparando os resultados obtidos entre os dois tempos de recirculação do fluxo, observou-se que o fotocatalisador sintetizado apresentou resultados melhores de desinfecção no tempo de recirculação de dez minutos. Esse aumento nos resultados de desinfecção nesse tempo de experimento, deve-se principalmente ao tempo maior para adsorção do contaminante, *E. coli*, com o fotocatalisador. Resultados interessantes como uma eficiência de  $94,81\% \pm 1,21$  de redução da concentração inicial obtida sem o filtro no duto, foi obtido através da utilização do filtro com  $\text{TiO}_2$ . Já com a utilização do filtro com  $\text{TiO}_2$  e com as lâmpadas UV-A acionadas, esse valor aumentou para  $98,09\% \pm 0,18$  de redução da concentração inicial de bactérias.

Com o cálculo de eficiência realizado, considerando como concentração inicial o resultado de retenção do filtro sem  $\text{TiO}_2$  depositado, foi possível evidenciar a porcentagem de inativação das bactérias retidas no meio filtrante através somente do fotocatalisador sintetizado. Portanto, nesses resultados foi desconsiderada a eficiência do filtro, que por si só já é capaz de reter uma elevada concentração de bactérias. Entre os resultados obtidos, o valor mais expressivo de eficiência de inativação foi de  $71,14\% \pm 27,23$ , resultante do sistema recirculado por dez minutos com o fotocatalisador sintetizado com a incidência de luz UV.

Nesse trabalho, não foi estudada a vida útil do fotocatalisador depositado sobre o filtro. Entretanto, vale ressaltar que todos os experimentos foram realizados sempre com o mesmo filtro com  $\text{TiO}_2$  e, após inúmeros experimentos, não foi indentificada redução de eficiência do fotocatalisador em relação ao tempo de uso.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BRANCHER, Marlon. Avaliação da degradação do poluente atmosférico sulfeto de hidrogênio através de fotocatalise por  $\text{TiO}_2$ . Trabalho de Conclusão de Curso. UFSC. 2010.
2. CAMPOS, Priscila Batista. Avaliação do tratamento de sulfeto de hidrogênio através de fotocatalise. Trabalho de Conclusão de Curso. UFSC 54p. 2009.

3. CHIS, Cristian; EVSTRATOV, Alexis; GAUDON, Pierre; JOUFFREY, Paul. Nanosized composite structures in an amorphous state as efficient photocatalysts for indoor air conditioning. 17<sup>th</sup> World Ozone Congress – Strasbourg 2005.
4. QUADROS, Marina Eller; Qualidade do ar em ambientes internos hospitalares: parâmetros físico-químicos e microbiológicos. Dissertação de mestrado – UFSC. 132 p. Julho, 2008.
5. MOREIRA, Isabel Medeiros. Investigação de focos de Legionela no sistema de ar condicionado em dois hospitais da grande Florianópolis – SC. Trabalho de Conclusão de Curso. UFSC, 2008.
6. OLIVEIRA, Valéria Vidal de. Síntese de nanofitas de titanatos de sódio com potencial fotocatalítico bactericida. 2011. 106 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Florianópolis, 2011.
7. VOHRA, A., D. Y. Goswami, *et al.* Enhanced photocatalytic disinfection of indoor air. Applied Catalysis B: Environmental, v.64, n.1-2, p.57-65. 2006.
8. YOU, Y. S., K. H. Chung, *et al.* Photocatalytic oxidation of toluene over TiO<sub>2</sub> catalysts supported on glass fiber. Korean Journal of Chemical Engineering, v.18, n.6, p.924-929. 2001.
9. YU, H., S. Zhang, *et al.* An efficient and low-cost TiO<sub>2</sub> compact layer for performance improvement of dye-sensitized solar cells. Electrochimica Acta, v.54, n.4, p.1319-1324. 2009.
10. YU, K. P., G. W. M. Lee, *et al.* Removal of bioaerosols by the combination of a photocatalytic filter and negative air ions. Journal of Aerosol Science, v.39, n.5, p.377-392. 2008.