

End-of-Life Impact on the Cradle-to-Grave LCA of Light-Duty Commercial Vehicles in Europe

*Original*

End-of-Life Impact on the Cradle-to-Grave LCA of Light-Duty Commercial Vehicles in Europe / Accardo, Antonella; Dotelli, Giovanni; Miretti, Federico; Spessa, Ezio. - In: APPLIED SCIENCES. - ISSN 2076-3417. - ELETTRONICO. - 13:3(2023), p. 1494. [10.3390/app13031494]

*Availability:*

This version is available at: 11583/2975140 since: 2023-01-25T12:31:15Z

*Publisher:*

MDPI

*Published*

DOI:10.3390/app13031494

*Terms of use:*

This article is made available under terms and conditions as specified in the corresponding bibliographic description in the repository

*Publisher copyright*

(Article begins on next page)



XXI Congresso Brasileiro  
de Engenharia Química

Fortaleza/CE  
25 a 29 de setembro



XVI Encontro Brasileiro sobre o  
Ensino de Engenharia Química  
Fortaleza/CE  
25 a 29 de setembro

# DESEMPENHO DE FILTROS CONTENDO NANOFIBRAS E SUAS CARACTERÍSTICAS

A. I. P. Salussoglia<sup>1</sup>, V. G. G. Béttega<sup>1</sup>, P. M. Tronville<sup>2</sup>, M. L. Aguiar<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal de São Carlos, Departamento de Engenharia Química

<sup>2</sup> Politécnico di Torino, Dipartimento Energia

E-mail para contato: anaisabelaps@gmail.com

**RESUMO** – *O objetivo desse trabalho é comparar as características de dois meios filtrantes contendo nanofibras e avaliar como suas características influenciam no processo de filtração. Para tal finalidade foi realizada a caracterização dos meios filtrantes através de imagens geradas por microscopia eletrônica de varredura (MEV) e microscopia confocal por meios dos quais se obtiveram o diâmetro médio das fibras, a porosidade e a rugosidade dos meios filtrantes. A eficiência de coleta e a permeabilidade dos meios filtrantes foram obtidas através de um aparato experimental. Os ensaios foram realizados em triplicata e a área de filtração foi de 5,3 cm<sup>2</sup>. Para a determinação da eficiência de coleta foram utilizadas nanopartículas de NaCl e velocidade de filtração de 5 cm/s. A permeabilidade foi calculada através da equação de Darcy. O filtro 2 possui maior quantidade de fibras que o filtro 1. Para o filtro 1 o diâmetro médio de fibras foi de 0,24±0,10 μm, a porosidade de 51,26±3,62 %, a permeabilidade média de 3,99.10<sup>-08</sup> cm<sup>2</sup>, a rugosidade de 3,18 μm e a eficiência de coleta de 73,50±0,06 %. Para o filtro 2 os dados foram de 0,09±0,03 μm de diâmetro médio, 65,85±5,63 % de porosidade, 8,23.10<sup>-8</sup> cm<sup>2</sup> permeabilidade média, 0,95 μm rugosidade e 86,20±0,08 % eficiência de coleta. Comparando os meios filtrantes o filtro 2 mostrou-se melhor.*

## 1. INTRODUÇÃO

Filtros contendo nanofibras geralmente possuem dupla camada. Nos quais, a camada superior é a camada de nanofibras e a inferior é de microfibras, denominada substrato. A camada de nanofibras é depositada em maioria pelo método de *electrospinning* sobre o substrato.

A caracterização deste tipo de meio filtrante é laboriosa devido à dimensão nanométricas das fibras. Para realiza-la é necessário utilizar microscópios eletrônicos. Deste modo, é possível observar sua estrutura e por meio de tratamento computacional das imagens obter dados.

Sabe-se que o diâmetro das fibras é um parâmetro relevante na retenção de partículas. Bortolassi et al. (2015) adaptaram um método para medir o diâmetro médio de fibras baseados em imagens de microscopia eletrônica de varredura e tratamento computacional das imagens.

PROMOÇÃO

REALIZAÇÃO

ORGANIZAÇÃO



A porosidade é um fator pertinente na determinação da eficiência de coleta. E pode ser definida como a razão entre o volume de vazios do meio filtrante e o volume total. Ghasemi-Mobarakeh et al. (2007) obtiveram bons resultados analisando a porosidade de meios filtrantes contendo nanofibras por meio da binarização de imagens MEV, calculada pela equação:

$$P = \left(1 - \frac{n}{N}\right) * 100 \quad (1)$$

em que, P é a porosidade, n é o número de pixels brancos e N é o número total de pixels da imagem.

Outros parâmetros como eficiência de coleta e permeabilidade podem ser medidos através de ensaios usuais. A eficiência de coleta é comumente denominada como a fração de partículas retidas no meio filtrante. Pode ser calculada através da equação:

$$E = \frac{C_0 - C_1}{C_0} \quad E = \frac{C_0 - C_1}{C_0} \quad E = \frac{C_0 - C_1}{C_0} \quad E = \frac{C_0 - C_E}{C_0} \quad (2)$$

na qual E representa a eficiência de coleta,  $C_0$  e  $C_1$  a concentração de partículas antes e  $C_1$  e  $C_E$  é a concentração de partículas após a passagem pelo filtro.

A permeabilidade, outro importante parâmetro, determina a resistência do fluido ao percorrer o filtro. É relevante saber que altos valores de permeabilidade estão associados a baixos valores de eficiência. A permeabilidade pode ser calculada através da equação de Darcy:

$$\frac{\Delta P}{L} = \frac{\mu \cdot v_s}{k_f} \quad \frac{\Delta P}{L} = \frac{\mu \cdot v_s}{k_f} \quad (3)$$

em que  $\Delta P$  é queda de pressão, L a espessura do meio filtrante,  $\mu$  representa a viscosidade do fluido,  $v_s$  a velocidade superficial do fluido e  $k_f$  e  $k_f$  é a constante de permeabilidade do meio filtrante.

Um parâmetro usualmente utilizado para comparar diferentes tipos de meios filtrantes é o fator de qualidade, que pode ser calculado pela equação:

$$q_f = \frac{\ln((1/(1-E)))}{\Delta P} \quad q_f = \frac{\ln((1/(1-E)))}{\Delta P} \quad (4)$$

na qual,  $q_f$  é fator de qualidade, E é eficiência de coleta e  $\Delta P$  é queda de pressão.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Dois meios filtrantes, compostos de uma camada de microfibras (celulose) coberta por nanofibras (poliméricas), foram utilizados neste trabalho. O desempenho dos meios filtrantes foi medido através da eficiência de coleta de nanopartículas. E a caracterização foi realizada através da determinação da permeabilidade, da porosidade, da rugosidade dos meios filtrantes e do diâmetro médio de suas fibras.

## 2.1. Unidade experimental

A unidade experimental utilizada para os testes de permeabilidade e de eficiência de coleta esta exposta na Figura 1.

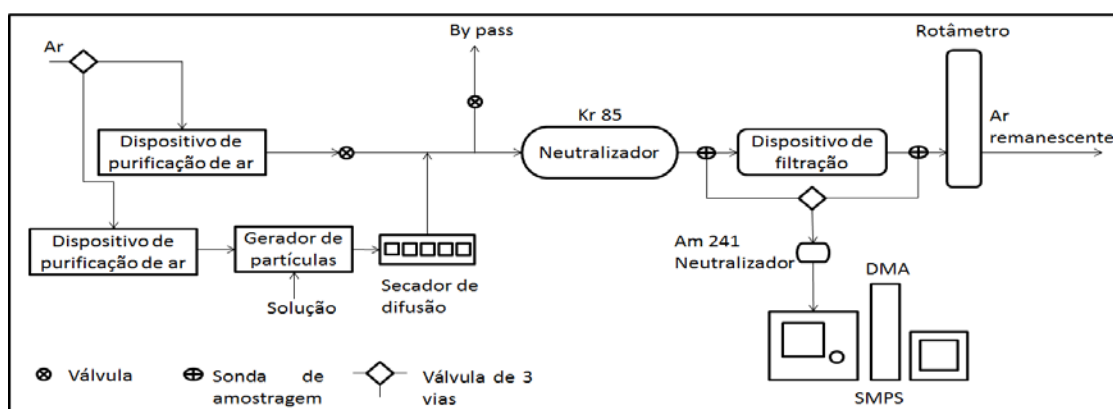


Figura 1 – Unidade experimental.

## 2.2. Caracterização do meio filtrante

As imagens dos meios filtrantes foram obtidas utilizando Microscopia Eletrônica Varredura (Modelos Philips XL-30 FEG e Magellan 400L).

O diâmetro médio foi determinado pelo método utilizado por Bortolassi et al. (2015) utilizando 4 imagens para o filtro 1 e 6 imagens para o filtro 2. A porosidade foi obtida pelo método de Ghasemi-Mobarakeh et al. (2007), utilizando as mesmas imagens e medindo a quantidade de pixels através do software Image Pro-Plus 7.0.

Para determinação da permeabilidade foram pré-estabelecidos oito pontos de velocidade superficial do fluido que variaram de 1 a 16 cm/s. Em cada um dos pontos foi medida a queda de pressão utilizando um manômetro digital (Modelo 9555-P, TSI). A viscosidade superficial do fluido foi considerada  $1,74 \cdot 10^{-7}$  Pa s e a área de filtração foi de  $5,3 \text{ cm}^2$ . Os dados foram corrigidos para temperatura e pressão ambientes. Os testes de permeabilidade foram realizados em triplicata foi feita a média dos valores de queda de pressão para cada triplicata e então, gerado o gráfico de velocidade superficial de filtração em função queda de pressão. Através da linha de tendência linear do gráfico e a Equação 3 foi possível encontrar a permeabilidade para cada meio filtrante.

A rugosidade do meio filtrante, que influencia na maneira de como a torta de filtração se estabelece, foi obtida por meio do Microscópio Óptico Confocal (*Olympus*) com parâmetro de análise P no modo de *scan ultra fast*.

### 2.3. Eficiência de coleta

Para eficiência de coleta foram utilizadas nanopartículas geradas por um inalador comercial NS (Modelo R-205), a partir de uma solução de 5 g/l de NaCl (Chemis). Sob pressão de geração de 17236,9 Pa, velocidade de filtração de 5 cm/s e área de filtração foi de 5,3 cm<sup>2</sup>. Foi medida a concentração de nanopartículas antes e após a filtração após um período de 2 horas. E por meio da Equação 1 foi possível calcular a eficiência de coleta para cada filtro. Os testes foram realizados em triplicata.

Para fins de comparação foi calculado o fator de qualidade, por meio da Equação 4.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 3.1. CARACTERIZAÇÃO DO MEIO FILTRANTE

As imagens dos filtros obtidas por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) está apresentada na Figura 2. É possível observar que o filtro 2 possui maior quantidade de nanofibras que filtro 1.

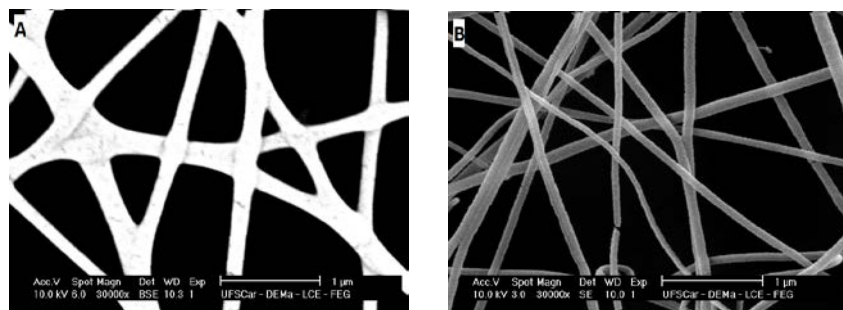


Figura 2 – Imagens por Microscopia eletrônica de Varredura para os (A) filtro 1, (B) filtro 2.

Os diâmetros das fibras foram obtidos através do software Image-Pro Plus 7.0. A Tabela 1 mostra a média dos diâmetros de fibras, o desvio padrão e a quantidade de diâmetros medida para cada meio filtrante.

Tabela 1 – Média dos diâmetros de fibras para o filtro 1 e 2.

Meio filtrante	Filtro 1	Filtro 2
Diâmetro médio (µm)	0,24	0,09
Desvio padrão	0,10	0,03
Número de diâmetros	426	324

O filtro 2 apresentou menor diâmetro médio de fibra comparado ao filtro 1. Os diâmetros médios de fibras são 0,24 e 0,09  $\mu\text{m}$  para os filtro 1 e filtro 2, respectivamente.

Para porosidade, calculada pela Equação 1, o filtro 1 possui menor porosidade de  $51,26 \pm 3,62 \%$ , enquanto que a porosidade do filtro 2 foi de  $65,85 \pm 5,63 \%$ .

A permeabilidade foi calculada através da Equação de Darcy. Para isto, foi medida a queda de pressão em pontos pré-estabelecidos de velocidade superficial do fluido que variaram de 1 a 16 cm/s. A Tabela 2 indica as médias de queda de pressão para cada meio filtrante.

Tabela 2 – Média das quedas de pressão para filtro 1 e filtro 2.

Velocidade (cm/s)	Média de queda de pressão (Pa)	
	Filtro 1	Filtro 2
1	12,23	8,93
2	19,53	13,73
3	39,27	27,73
5	60,57	41,23
6	81,63	55,83
9	115,47	80,57
13	161,03	112,07
16	207,37	140,83

O filtro 1 apresentou maiores valores de queda de pressão. A Tabela 3 contém os valores da permeabilidade média dos filtros e os coeficientes de determinação ( $R^2$ ).

Tabela 3 – Média das permeabilidades e coeficiente de determinação ( $R^2$ ) para o filtro 1 e 2.

	Filtro 1	Filtro 2
Média de permeabilidade ( $\text{cm}^2$ )	$3,99 \cdot 10^{-08}$	$8,23 \cdot 10^{-08}$
$R^2$	0,9992	0,9996

É possível observar que as curvas se ajustaram a uma reta, pois apresentaram valores de  $R^2$  superiores a 0,99. O filtro 1 apresentou menor permeabilidade, de  $3,99 \cdot 10^{-8} \text{ cm}^2$ , enquanto que para o filtro 2 foi de  $8,23 \cdot 10^{-8} \text{ cm}^2$ .

A Figura 4 exibe a área utilizada para obtenção da rugosidade superficial.

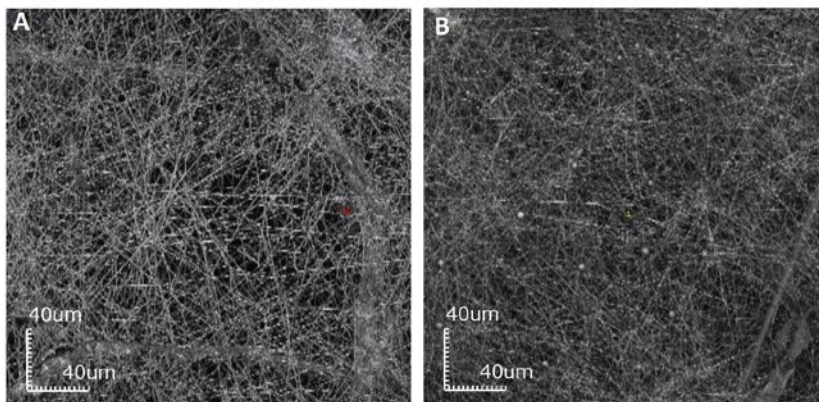


Figura 4 – Imagem utilizada para a obtenção da rugosidade superficial (A) filtro 1 e (B) filtro 2.

O filtro 1 obteve a rugosidade média de 3,18  $\mu\text{m}$  enquanto que o filtro 2 foi de 0,95  $\mu\text{m}$ .

### 3.2.EFICIÊNCIA DE COLETA

Para ser avaliada a eficiência de coleta, é necessária a caracterização das nanopartículas. Os diâmetros das nanopartículas foram medidos utilizando SMPS. A Figura 5 exibe a concentração de partícula em função do diâmetro de partícula. Os diâmetros das nanopartículas, geradas com solução de 5 g/l de NaCl, variaram de 10,6 a 495,8 nm. É possível observar, por meio da Figura 5, que a maior concentração das nanopartículas encontra-se em torno de 45 nm.

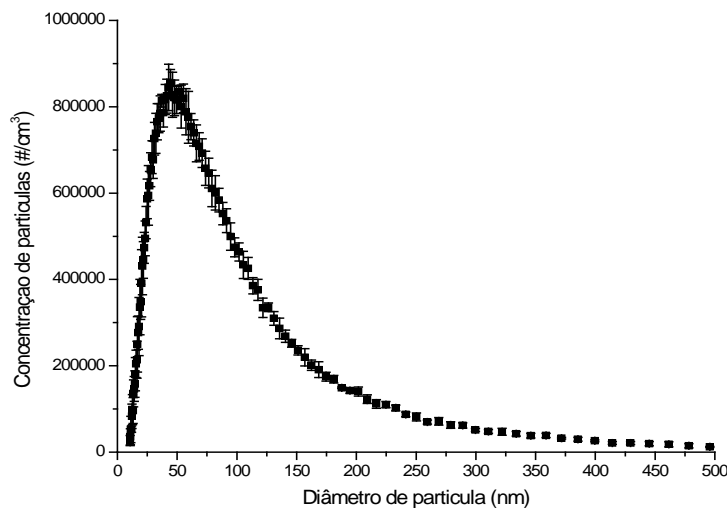


Figura 5 – Caracterização das nanopartículas.

A eficiência de coleta, obtida pela Equação 2, pode ser vista na Figura 6 para filtro 1 e 2.

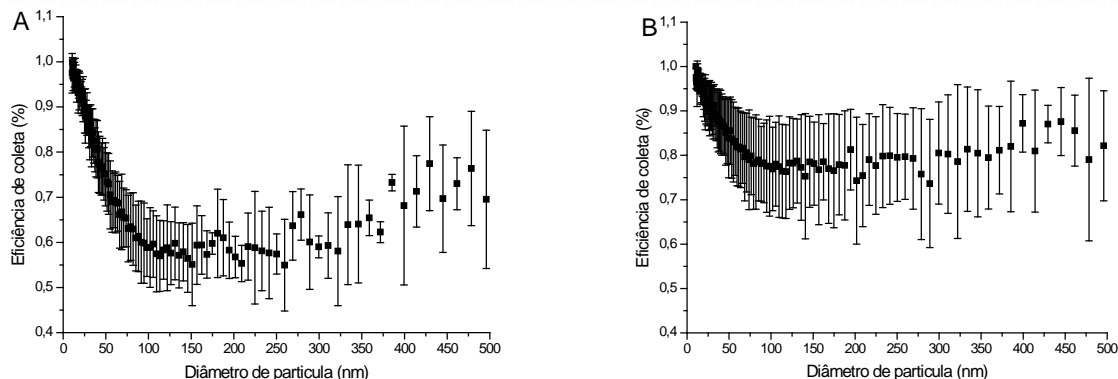


Figura 6 – Média de eficiência de coleta do (A) filtro 1 e (B) filtro 2.

O comportamento de coleta de nanopartículas para os filtros foram semelhantes. Iniciando em torno de 97 % para partículas de 10,6 nm, decaindo e em seguida voltando a subir. Deferindo entre um e outro, que para o filtro 1 a ascensão inicia-se em torno de 151,2 nm e para o filtro 2 em torno de 201,7 nm. A eficiência de coleta dos meios filtrantes pode ser vista na Tabela 4.

Tabela 4 – Eficiência de coleta para o filtro 1 e 2.

	Filtro 1	Filtro 2
Eficiência de coleta (%)	73,50	86,20
Desvio padrão	0,06	0,08

O filtro 2 apresentou maior eficiência de coleta de  $86,20 \pm 0,08\%$ , enquanto que o filtro 1 foi de  $73,50 \pm 0,06\%$ .

Sambaer et al. (2012) mediram eficiência de coleta, com partículas geradas a partir de solução de sulfato de amônio 1 g/l, de meios filtrantes composto por múltiplas camadas de nanofibras. O meio filtrante com eficiência de coleta de  $88,50 \mp 1,40\%$  apresentou comportamento da curva de eficiência de coleta em função diâmetro de partícula semelhante a letra “u” com menor eficiência em 70nm. Este comportamento pode ser comparado aos dados obtidos neste trabalho. O filtro 2 apresentou comportamento similar considerando o desvio padrão e que a menor eficiência foi em torno de 201,7 nm. Já, o comportamento para o filtro 1 foi semelhante, divergindo apenas na parte final que não voltou a aumentar acentuadamente e que a menor eficiência foi em torno de 151,2 nm.

O fator de qualidade foi de  $2,19 \text{ kPa}^{-1}$  para o filtro 1 e  $4,80 \text{ kPa}^{-1}$  para o filtro 2. Utilizando a queda de pressão para 5 cm/s, Tabela 2, e eficiência de coleta, Tabela 4. Segundo Hinds (1999) o melhor filtro é aquele que possui maior eficiência de coleta com a menor queda de pressão. Deste modo, maiores valores de fator de qualidade representam melhores filtros. Logo, o filtro 2 é melhor que o filtro 1.

Payen et al. (2015) testaram filtros com diâmetro de fibra unimodal que variaram entre 28,2 e 10,9  $\mu\text{m}$  para testes que confirmaram que a diminuição dos diâmetros das fibras





XXI Congresso Brasileiro  
de Engenharia Química

Fortaleza/CE  
25 a 29 de setembro



XVI Encontro Brasileiro sobre o  
Ensino de Engenharia Química  
Fortaleza/CE  
25 a 29 de setembro

melhoram a eficiência de filtração em detrimento da permeabilidade das partículas. E, Wang et al. (2007) perceberam que o aumento na quantidade de nanofibras acarreta no aumento da eficiência de coleta e queda de pressão.

Comparando os dois filtros, o filtro 2 apresentou a maior eficiência de coleta que o filtro 1. É importante destacar que a permeabilidade do filtro 2 foi maior que o filtro 1, sugerindo que esse deveria ser menos eficiente. No entanto, o diâmetro médio de fibras e a rugosidade média do filtro 2 foram menores do que o filtro 1. E a porosidade e a quantidade de fibras depositadas no filtro 2 são maiores, veja Figura 1. Logo, a melhor eficiência de coleta pode estar ligada a parâmetros como diâmetros médios de fibras, quantidade de fibras, rugosidade e diferença nos substratos dos meios filtrantes.

A porosidade está de acordo, pois um alto valor de porosidade ocasiona uma alta permeabilidade. E o fator de qualidade mostrou que o filtro 2 é melhor que o filtro 1.

Os dados de diâmetro de fibras, permeabilidade e eficiência de coleta utilizados neste trabalho foram retirados do trabalho de Salussoglia et al., (2016).

#### 4. CONCLUSÕES

O filtro 2 comparado ao filtro 1 apresentou maior eficiência de coleta, permeabilidade, porosidade e quantidade de fibras. Enquanto que diâmetro de fibra e rugosidade superficial do filtro 2 foi menor que do filtro 1.

O comportamento de coleta de nanopartículas para os filtros foram semelhantes.

#### 5. REFERÊNCIAS

BORTOLASSI, A. C. C; GUERRA, V. G.; AGUIAR, M. L. Characterization and Performance of Different Fibrous Filter Media for Collecting Nanoparticles. FILTECH 2015, G11, AIR FILTERS, HEPA, 2015.

GHASEMI-MOBARAKEH, L.; SEMNANI, D.; MORSHED, M. A Novel Method for Porosity Measurement of Various Surface Layers of Nanofibers Mat Using Image Analysis for Tissue Engineering Applications. Wiley InterScience, p. 2536-2542, 2007.

HINDS, W.C. Aerosol Technology: Properties, Behavior, and Measurement of Airborne Particles, Second. Edition, Wiley, New York, 1999.

SAMBAER, W.; ZATLOUKAL, M.; KIMMER, D. 3D Air Filtration Modeling for Nanofiber Based Filters in the Ultrafine Particle Size Range. Chemical Engineering Science, p. 299-311, 2012.

PAYEN, J.; VROMAN, P.; LEWANDOWSKI, M.; PERWUELZ, A.; CALLÉ-CHAZELET, S.; THOMAS, D. Influence of Fiber Diameter, Fiber Combinations and Solid Volume Fraction on Air Filtration Properties in Nowovens. Textile Research Journal, p. 1948-1959, 2012.

PROMOÇÃO

REALIZAÇÃO

ORGANIZAÇÃO





XXI Congresso Brasileiro  
de Engenharia Química

Fortaleza/CE  
25 a 29 de setembro



XVI Encontro Brasileiro sobre o  
Ensino de Engenharia Química  
Fortaleza/CE  
25 a 29 de setembro

WANG, J.; KIM, S. C.; PUI, D. Y. H. Investigation of the Figure of Merit for Filters with a Single Nanofiber Layer on a Substrate. Journal of Aerosol Science, p. 323 – 334, 2007.

SALUSSOGLIA, A. I. P.; BETTEGA, V. G. G.; TRONVILLE, P. M.; AGUIAR, M. L. Caracterização e Desempenho de Filtros com Nanofibras e HEPA Utilizando Nanopartículas. Meio Filtrante, p. 14-20, 2016.

PROMOÇÃO

REALIZAÇÃO

ORGANIZAÇÃO

