

EFICIÊNCIA E PERMEABILIDADE DE DIFERENTES MEIOS FILTRANTES NA REMOÇÃO DE NANOPARTÍCULAS ATRAVÉS DA VARIAÇÃO DO TEMPO EM SOLUÇÕES DE NaCl E DE SACAROSE

A. C. C. BORTOLASSI¹, V. G. GUERRA² e M. L. AGUIAR³

¹Universidade Federal de São Carlos, Departamento de Engenharia Química
E-mail para contato: anabortolassi@hotmail.com

RESUMO – A filtração utilizando filtros fibrosos tem se mostrado útil na retenção de micropartículas expostas no ar. Como há poucas pesquisas sobre o comportamento desses filtros na remoção de nanopartículas, o objetivo desse estudo foi avaliar a eficiência do filtro de fibra de celulose HEPA (High Efficiency Particulate Air Filter), de Vidro e de Micro Quartzo na remoção de nanopartículas, através da variação do tempo em soluções de 5 g/L de cloreto de sódio e de 5 g/L de sacarose, pela técnica de mobilidade elétrica. Através do sistema experimental, foi possível simular uma contaminação das nanopartículas em uma corrente de ar ultrapuro a uma vazão de 1,59 L/min e velocidade de 5cm/s, na qual foi feito a contagem das partículas antes e após a passagem pelo meio filtrante. Durante a deposição das partículas nos filtros, a queda de pressão foi monitorada por um manômetro digital em função do tempo. O filtro de vidro foi o que apresentou menor permeabilidade, já o filtro HEPA a maior permeabilidade. De uma forma geral, todos os meios filtrantes foram muito eficientes na remoção de nanopartículas durante os tempos de filtração de 1 a 3 horas, sendo que o filtro HEPA apresentou uma pequena variação na eficiência na faixa de tamanho de partículas entre 80 e 200 nm, sobretudo para a solução de sacarose.

1. INTRODUÇÃO

Cada dia mais os seres humanos estão expostos a nanopartículas, até mesmo no ambiente de trabalho. Estes fatores estão associados ao desenvolvimento urbano, industrial e à crescente utilização de veículos motorizados.

Nanopartículas são partículas com uma ou mais dimensões na nanoescala (HANNAH, 2008). Diversas pesquisas na área da epidemiologia e toxicologia atribuem que, quanto menor a dimensão das partículas expostas no ar, maior é a ocorrência de doenças cardiorrespiratórias (HUANG et al., 2004). Segundo FEITOSA *apud* EPA, isto é explicado pelo fato de que partículas menores que 10 µm geralmente não são removidas pelo sistema respiratório superior e, por consequência, acabam atingindo os alvéolos pulmonares e a corrente sanguínea.

Com o rigor das leis, o setor industrial foi obrigado a controlar a emissão de seus poluentes. Uma das técnicas mais utilizadas para capturar partículas de uma corrente gasosa é a filtração, seu processo ocorre pela passagem do aerosol através do meio filtrante, na qual as partículas vão se depositando sobre a superfície do filtro. Essa operação possui alta

eficiência, fácil operação, flexibilidade e economia (DONOVAN, 1985).

Os filtros fibrosos têm sido muito utilizados devido à sua alta eficiência na remoção de partículas, dentre eles podemos citar os filtros HEPA, de Vidro e de Micro Quartzo, na qual podem ser utilizados em aparelhos de ar condicionado. Diante disso, este trabalho tem como objetivo avaliar a eficiência de diferentes meios filtrantes fibrosos na remoção de nanopartículas utilizando soluções de cloreto de sódio e de sacarose.

2. TEORIA

2.1. Permeabilidade dos Meios Filtrantes

A permeabilidade de meios porosos pode ser obtida através da equação de Darcy. Esta equação avalia o escoamento de fluidos em meios porosos, relacionando os valores de perda de carga com a velocidade superficial, como pode ser vista na equação:

$$\frac{\Delta P}{L} = \frac{\mu}{k_1} \cdot v_s \quad (1)$$

sendo que L representa a espessura do meio filtrante, μ a viscosidade do fluido e k_1 a constante de permeabilidade do meio filtrante.

2.2. Eficiência de coleta

A eficiência de coleta é obtida experimentalmente através da técnica de mobilidade elétrica, na qual é calculada a quantidade de partículas antes e após a passagem pelo meio filtrante, sendo determinada pela equação:

$$E = \frac{C_o - C_e}{C_o} \quad (2)$$

em que C_o e C_e representam a concentração de partículas na entrada e na saída do filtro, respectivamente.

2.3. Mecanismo de coleta

A deposição das partículas em um meio filtrante deve-se aos mecanismos de coleta. Dentre os principais mecanismos atuantes, destacam-se o difusional, interceptação e inercial, como pode ser visto na Figura 1. Existem regiões com predomínio de mais de um mecanismo de captura.

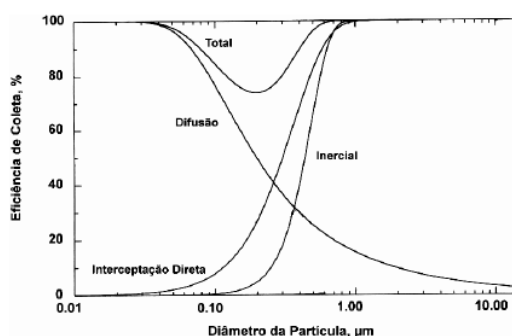


Figura 1 – Atuação dos mecanismos de coleta e as eficiências correspondentes.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Material Particulado

As nanopartículas utilizados nos ensaios de filtração foram geradas a partir de soluções de 5 g/L de cloreto de sódio (NaCl) puro da marca CHEMIS, cuja densidade era de $2,165 \text{ g/cm}^3$ e sacarose da marca Synth com densidade de $1,590 \text{ g/cm}^3$. Para a geração das partículas foi utilizado um inalador comercial que operava com uma pressão de 17236,898 Pa. Com o auxílio de um analisador de partículas por mobilidade elétrica (SMPS), acoplado à linha de filtração, foi possível medir partículas compreendidas na faixa entre 7,4 a 289 nm.

3.2. Meio filtrante

Os filtros fibrosos utilizados no processo de filtração das nanopartículas foram os filtros HEPA (High Efficiency Particulate Air Filter), obtido através da empresa fornecedora VECO do Brasil Indústria e Comércio de Equipamentos Ltda, e os filtros de Vidro e de Micro Quartzo da empresa ENERGÉTICA Indústria e Comércio LTDA, na qual possuíam uma área de filtração de $5,3 \text{ cm}^2$.

A Figura 2 apresenta as imagens obtidas pelo microscópio eletrônico de varredura (MEV) dos filtros HEPA, de Vidro e de Micro Quartzo, respectivamente.

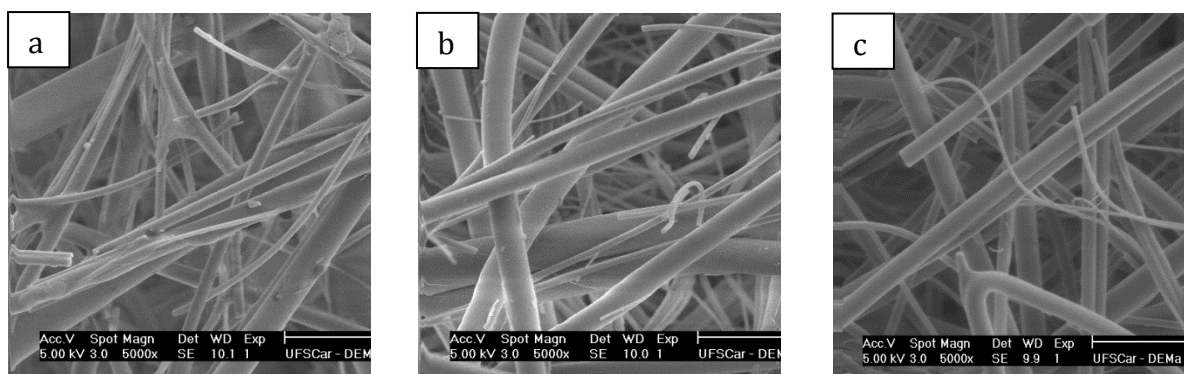


Figura 2 – Imagens obtidas pelo MEV dos meios filtrantes. a) Filtro HEPA b) Filtro de Vidro c) Filtro de Micro Quartzo.

Como pode ser observado na Figura 2, os filtros apresentam fibras com diâmetros da ordem de micras e fibras heterogêneas, isto é, não possuem a mesma distribuição de diâmetros, característica que os tornam muito eficientes na remoção de partículas.

3.3. Unidade Experimental

A Figura 3 representa a unidade experimental, na qual consiste de um compressor de ar (Shulz), filtros de purificação de ar (Modelo A917A-000 e 8104N-0A0-000), gerador de partículas (Inalador comercial da marca NS, modelo I-205), secador de difusão (Norgren), fonte neutralizadora de Kriptônio (TSI Modelo 3054), um dispositivo de filtração, um rotâmetro (Gilmont) e um dispositivo SMPS, formado pelo classificador eletrostático (TSI 3080), analisador de mobilidade diferencial e contador de partículas ultrafinas (TSI 3776).

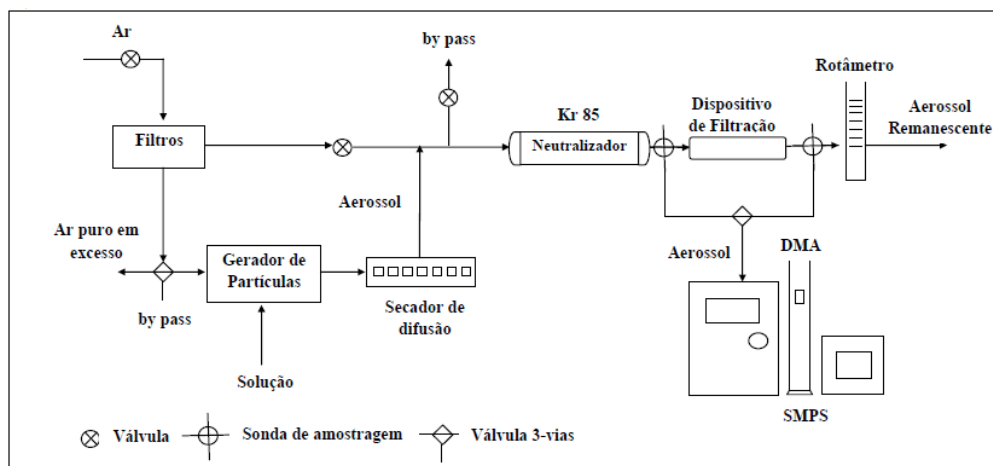


Figura 3 – Unidade Experimental.

3.4. Procedimento Experimental

Inicialmente foram feitos ensaios de permeabilidade dos meios filtrantes, a queda de pressão foi medida com auxílio de um manômetro digital da marca TSI, modelo 8385A. Os ensaios de filtração foram realizados variando o tempo de filtração em 1, 2 e 3 horas para cada filtro, mantendo a velocidade superficial constante em 0,05 m/s, a vazão em 1,59 L/min e a área filtrante era 5,3 cm². Com o auxílio de um analisador de partículas por mobilidade elétrica (SMPS), era possível obter a distribuição de diâmetro das partículas antes e após o meio filtrante, tornando possível o cálculo da eficiência dos meios filtrantes, utilizando a equação 2.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Permeabilidade

A permeabilidade dos filtros sem a presença de partículas, conhecidos como filtros limpos, foi obtida através dos dados experimentais utilizando a Equação de Darcy (Equação 1). Para isso é necessário construir a curva de permeabilidade ($\Delta P/L$ em função de v_s) para obter o parâmetro desejado, que é a constante de permeabilidade (k_1).

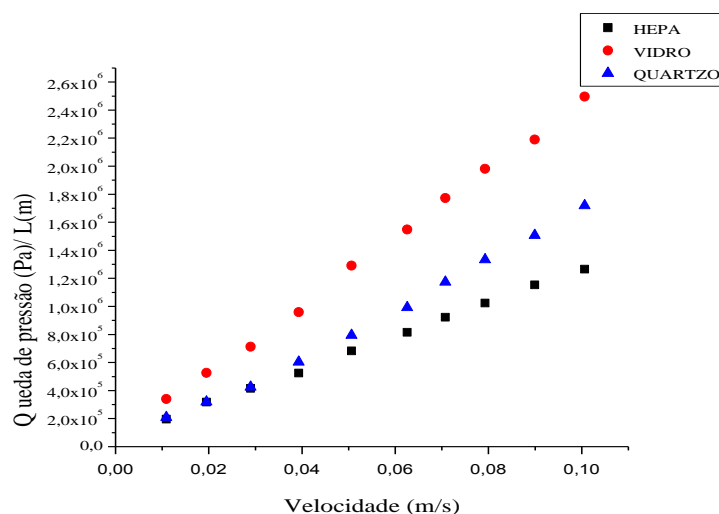


Figura 4 – $\Delta P/L$ em função da velocidade superficial do gás.

Os valores das constantes de permeabilidade para os filtros avaliados encontram-se na Tabela 1, na qual foram determinados a partir de um ajuste linear ($Y=ax$) da Figura 4. Como a temperatura ambiente ao realizar os experimentos era de 26°C, a viscosidade do ar é igual a $18,41E^{-6}$.

Tabela 1 – Permeabilidade dos filtros limpos

Filtro	Permeabilidade (m^2)
HEPA	$1,545E^{-12}$
Vidro	$7,643E^{-13}$
Quartzo	$1,081E^{-12}$

Pode-se perceber pela Tabela 1 que o filtro de Vidro é o menos permeável ao escoamento de gás comparando aos filtros HEPA e de Quartzo. Portanto, as partículas têm uma maior dificuldade em atravessar o filtro de Vidro e nele ficam retidas.

4.2. Distribuição granulométrica das nanopartículas

As distribuições granulométricas das nanopartículas geradas a partir das soluções de cloreto de sódio e sacarose podem ser vistas na Figura 5.

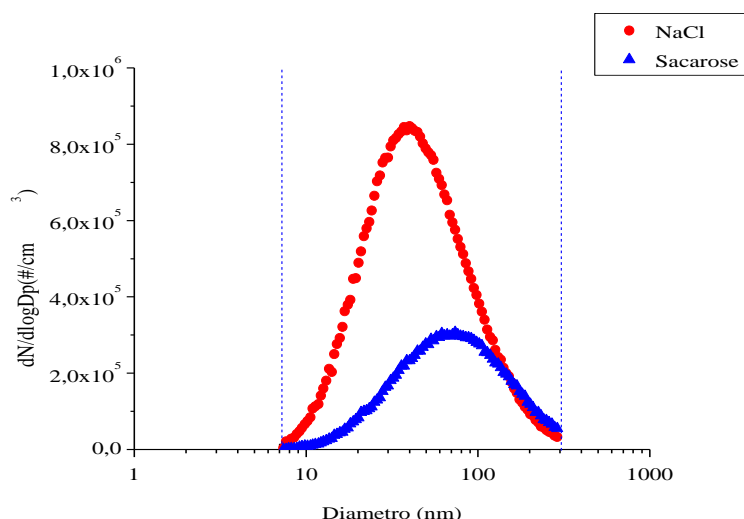


Figura 5 – Distribuição granulométrica das nanopartículas geradas.

Ao manusear o SMPS foi estipulada uma mesma condição de varredura de tamanho de partículas para ambas as soluções. No entanto, devido as diferentes distribuições de tamanho de partículas, pode-se verificar através da Figura 5 que a parte final da curva de sacarose não aparece, pois a faixa de distribuição granulométrica das partículas foi mais ampla comparada a solução de cloreto de sódio. Segundo ITO (2002), os materiais com faixa de distribuição granulométrica mais ampla provocam maior queda de pressão pela acumulação de partículas menores entre as partículas maiores.

4.3. Eficiência de coleta dos meios filtrantes

A Figura 6 apresenta a eficiência de coleta experimental ao longo da deposição das nanopartículas nos filtros HEPA, de Vidro e de Micro Quartzo, utilizando a

solução de 5g/L de NaCl. As eficiências foram calculadas através da Equação 2 quando atingiam o tempo de 1, 2 e 3 horas em cada meio filtrante.

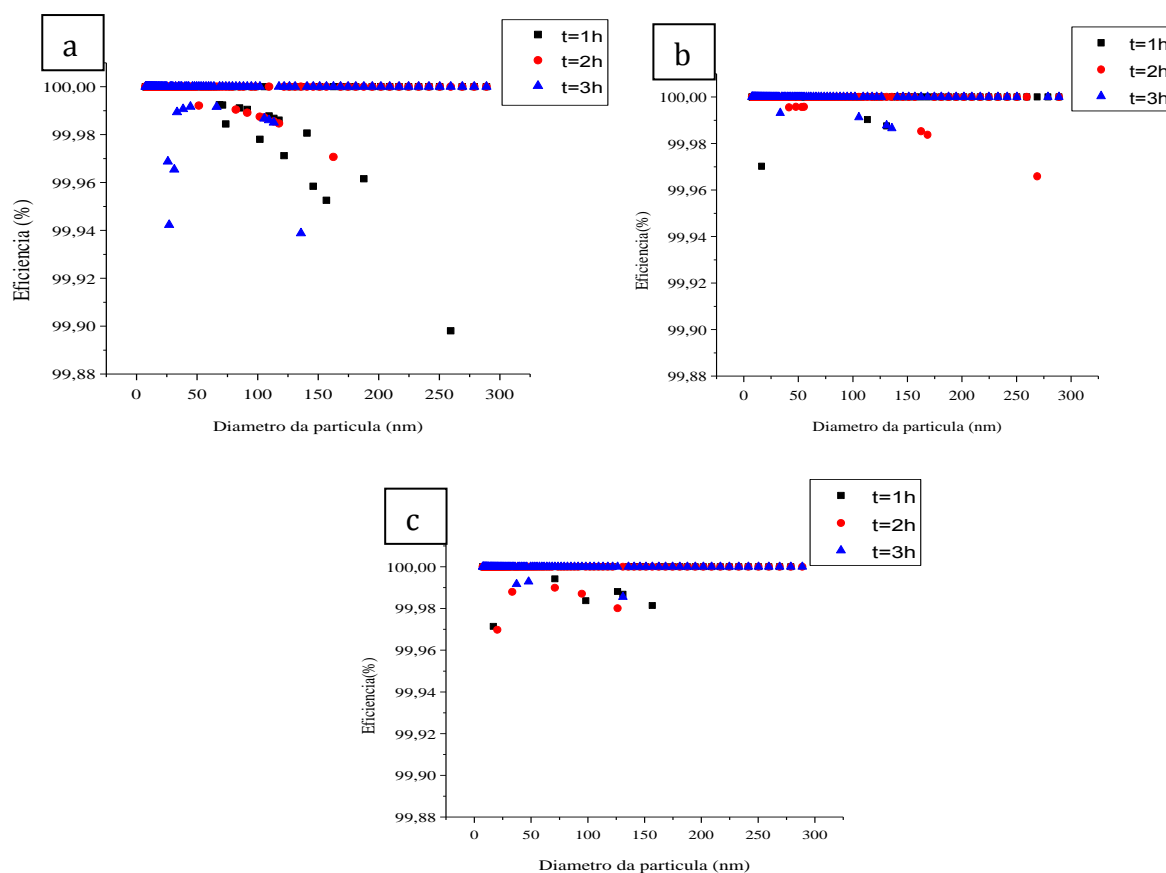


Figura 6 – Eficiência de coleta da deposição das partículas ao longo do tempo utilizando a solução de NaCl. a) Filtro HEPA b) Filtro de Vidro c) Filtro de Micro Quartz.

Observa-se na Figura 6 que todos os filtros analisados foram muito eficientes na remoção de nanopartículas. Verifica-se nesta figura que já na primeira hora de filtração, os filtros apresentaram eficiências que variaram de 99,8 a 100%. Tal comportamento já havia sido constatado por Feitosa (2009) e ocorre devido às microfibras heterogêneas dos meios filtrantes testados.

A Figura 7 apresenta a eficiência de coleta experimental ao longo da deposição das nanopartículas nos filtros HEPA, de Vidro e de Micro Quartz, utilizando a solução de 5g/L de sacarose.

Pode-se verificar através da Figura 7 que a coleta das nanopartículas continuou eficiente, utilizando os mesmos meios filtrantes com a solução de sacarose, já que a eficiência variou de 99,8 a 100%. Porém, analisando a Figura 6-a e 7-a, percebe-se que houve uma maior penetração das partículas com diâmetro entre 50 e 200 nm no filtro HEPA, tal comportamento pode estar relacionando ao mecanismo difusional. Como pode ser visto na Figura 1, o mecanismo difusional é o que atua na faixa dos diâmetros de 0,05-0,1 μm . Este mecanismo tende a diminuir com o aumento do diâmetro da partícula.

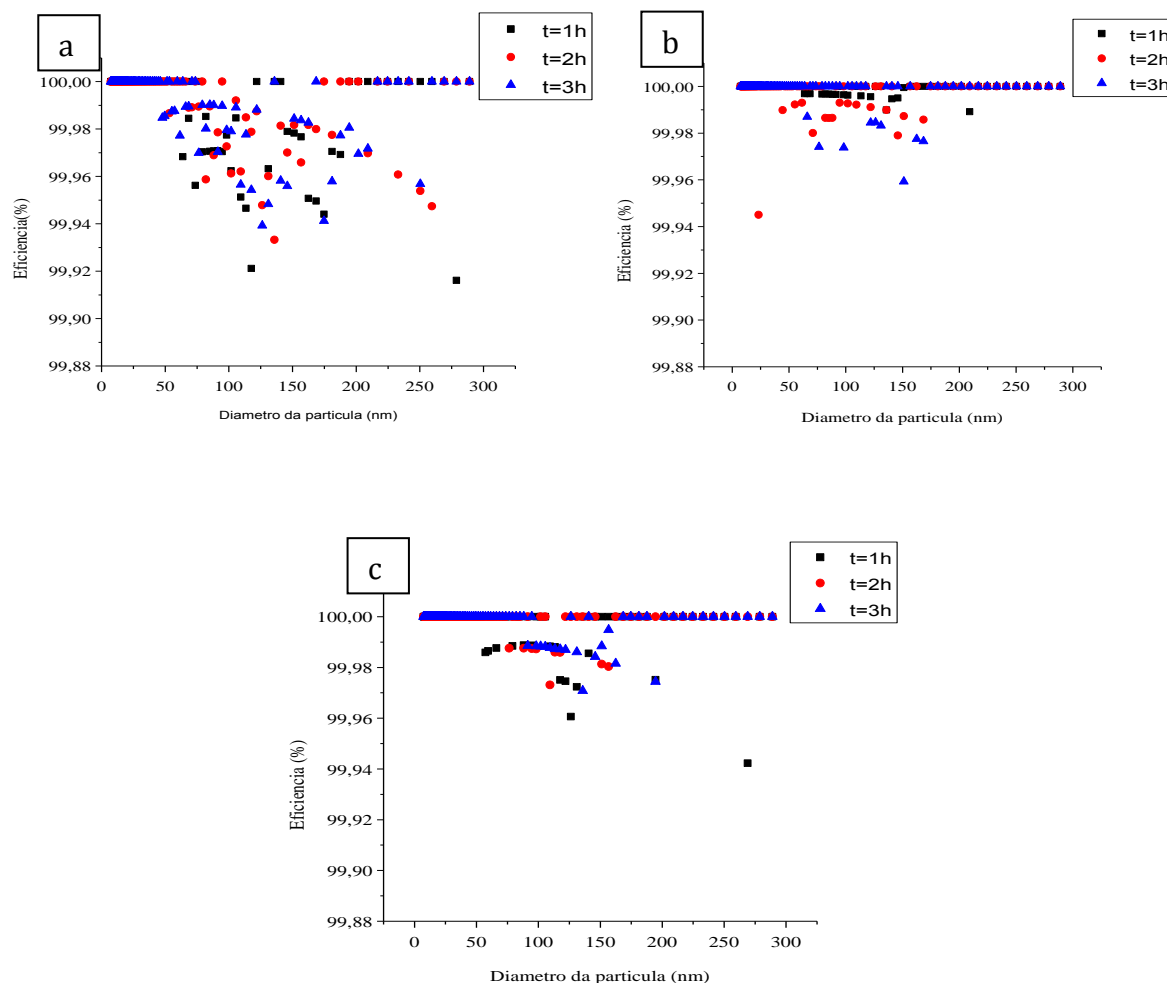


Figura 7 – Eficiência de coleta da deposição das partículas ao longo do tempo utilizando a solução de sacarose. a) Filtro HEPA b) Filtro de Vidro c) Filtro de Micro Quartz.

Comparando as diferentes soluções, pode-se notar que para a solução de sacarose a penetração das partículas foi maior em todos os filtros, sendo mais evidenciado no filtro HEPA. Isso pode estar relacionado ao fato de que um número menor de partículas era gerado com a solução de sacarose, como visto na Figura 5. Dessa forma, um menor número de partículas se depositava sobre o meio filtrante, quando comparado à solução de cloreto de sódio. A deposição de partículas no meio filtrante o torna mais eficiente. Com a variação do tempo, as partículas tendem a realizar o papel do meio filtrante, as novas partículas geradas ficam retidas nas partículas já depositadas no meio filtrante.

A Figura 8 mostra a evolução da deposição de partículas de cloreto de sódio, no filtro HEPA, com o tempo de filtração. Através desta figura é possível evidenciar que com o aumento do tempo de filtração as partículas de sal tenderam a se depositar umas sobre as outras para dar início à formação da torta de filtração.

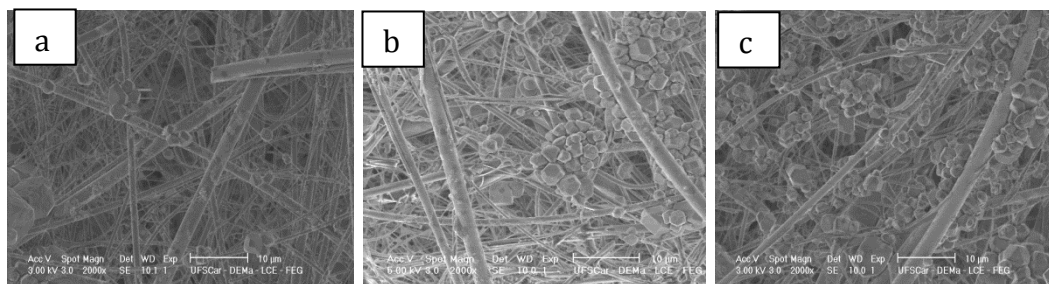


Figura 8 – Imagens da filtração de nanopartículas no filtro HEPA variando o tempo utilizando a solução de NaCl, obtidas pelo MEV. a)tempo=1hr b)tempo=2h c)tempo=3h.

5. CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos, foi possível concluir:

- Através dos valores de permeabilidade obtidos, constatou-se que o filtro de Vidro foi o menos permeável comparando ao filtro HEPA e de Micro Quartzo.
- O filtro HEPA, de Vidro e de Micro Quartzo analisados foram muito eficientes na remoção de nanopartículas, utilizando a solução de cloreto de sódio, porém o filtro HEPA foi o que obteve uma menor queda de pressão.
- Mesmo com a penetração das partículas utilizando a solução de sacarose, o filtro HEPA foi altamente eficiente.

6. REFERÊNCIAS

- BARROS, P. M.; AGUIAR, M.L. Avaliação da deposição de nanopartículas durante a filtração em filtros fibrosos, 2013.
- DONOVAN, R. P. *Fabric filtration for combustion sources*. New York: Marcel Dekker Inc., p.426, 1985.
- FEITOSA, N. R. Desempenho de meios filtrantes na remoção de partículas nanométricas de aerossóis. Dissertação de Mestrado em Engenharia Química– Universidade Federal de São Carlos, São Carlos (SP), 2009.
- HANNAH, W., THOMPSON, P.B., Nanotechnology, risk and the environment: a review, *Journal of Environmental Monitoring*, v. 10, p. 291-300, 2008.
- HUANG, H. L.; HUANG, Y. C.; WANG, D. M. Aerosol filtration efficiency of Teflon fibrous filters. *Abstracts of the European Aerosol Conference*, p.973-974, 2004.
- ITO, L. X. Estudo da porosidade de tortas de filtração de gases. Dissertação de Mestrado em Engenharia Química– Universidade Federal de São Carlos, São Carlos (SP), 2002.
- UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). Disponível em www.epa.gov.