



## ALTA EFICIÊNCIA NA FILTRAÇÃO TANGENCIAL DE PARTICULADOS DE CARVÃO EM FILTROS DE MANGAS

**Luciano Peske Ceron** – luciano.ceron@pucrs.br  
Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Faculdade de Engenharia  
Av. Ipiranga 6681 – 90610-970 – Porto Alegre – RS

**Resumo:** Membranas são barreiras semipermeáveis de separação física entre duas fases utilizadas em processos de separação seletiva dos componentes de misturas químicas ou físicas. As membranas têm sido desenvolvidas e exploradas de maneira intensiva na última década para filtração de particulados nas mais variadas aplicações, a citar, processamento de cimento, carvão, fabricação de detergente em pó, dentre outras. Entretanto, apesar do desenvolvimento industrial e o meio acadêmico do assunto, a transferência tecnológica deste tema não tem atingido o mercado a contento. Neste trabalho apresenta-se um estudo prático sobre a aplicação de membranas ePTFE em não tecidos para retenção de particulados oriundos da combustão de carvão. É ressaltada a utilização da filtração tangencial como mecanismo ideal para particulados finos de carvão e minimizar as emissões de poluentes atmosféricos, com aumento da produtividade e viabilizar a aplicação em larga escala em filtros de mangas.

**Palavras-chave:** Carvão, Filtração de Particulados, Filtros de Mangas, Membrana ePTFE.

## HIGH EFFICIENCY FILTRATION COAL PARTICULATE OF TANGENTIAL IN SLEEVE FILTERS

**Abstract:** Membranes are semipermeable barriers physical separation between two phases used in selective separation processes of chemical or physical components of mixtures. Membranes have been developed and exploited intensively in the last decade for filtration of particulates in various applications, quote, cement processing, coal washing powder manufacturing, among others. However, despite the industrial development and the academic world of the subject, the technology transfer of this theme has not hit the market satisfactorily. This paper presents a case study on the application of ePTFE membranes in nonwovens for coming particulate retention of coal combustion. It emphasizes the use of crossflow filtration as an ideal mechanism for fine particulate coal and minimize emissions of air pollutants, with increased productivity and enable the large-scale application in bag filters.

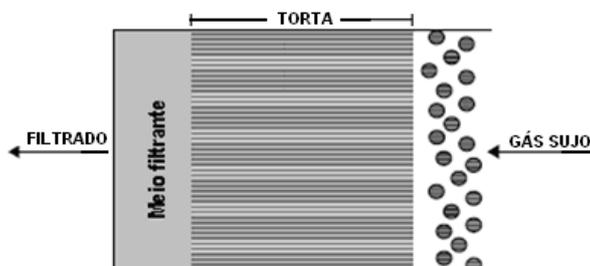
**Keywords:** Coal, Particulate Filtration, Bag Filters, Membrane ePTFE.

## 1. INTRODUÇÃO

Problemas advindos da poluição atmosférica variam em diferentes partes do mundo; reduzir tal poluição requer adoção de estratégias próprias para fontes e tipos específicos de poluentes. Estratégias razoáveis para o controle da poluição atmosférica são aquelas que visam reduzir, coletar, capturar ou reter os poluentes antes que eles atinjam à atmosfera (Assunção, 1998). Os filtros de mangas estão dentre os principais equipamentos destinados a efetuar a coleta e retenção dos materiais particulados, evitando que estes sejam liberados diretamente na atmosfera, sem tratamento adequado (SOUZA & CHAVES, 2004).

A filtração de particulados é a passagem de um gás “sujo” por um meio filtrante, tecido ou não tecido, que separa as partículas da corrente gasosa, formando uma camada de pó sobre a sua superfície. Essa camada de pó chamada de torta de filtração, com o decorrer da filtração, também passa a exercer o papel de superfície filtrante, mostrado na Figura 1. Com o passar do tempo a espessura da torta vai aumentando, assim como a perda de carga no filtro, até alcançar um valor próximo de 150 mmH<sub>2</sub>O. Alcançado esse valor a torta de pó deve ser removida da superfície do não tecido (TOMAZZONI, 2007).

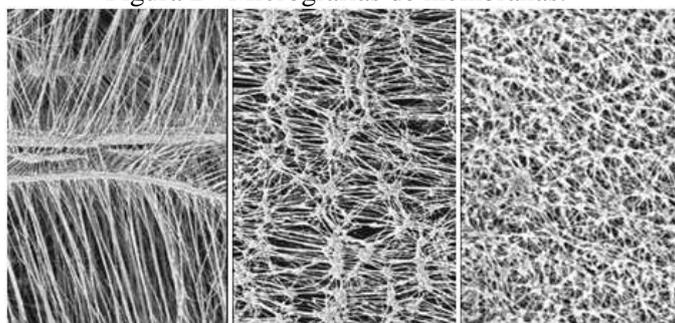
Figura 1 - Filtração de particulados.



Fonte: DIAS (2006).

A laminação de uma fina camada expandida de politetrafluoretileno (ePTFE), Figura 2, sobre o elemento filtrante proporciona uma filtração superficial, altamente eficiente na superfície da manga, que suspende a poeira e umidade muito bem, principalmente, para particulados de baixa granulometria. Esta característica impede a eventual migração na profundidade, evitando a subida gradual na resistência através dos filtros, que resultaria em aumento da pressão diferencial ao longo do tempo (RENNER TÊXTIL, 2009).

Figura 2 - Micrografias de membranas.



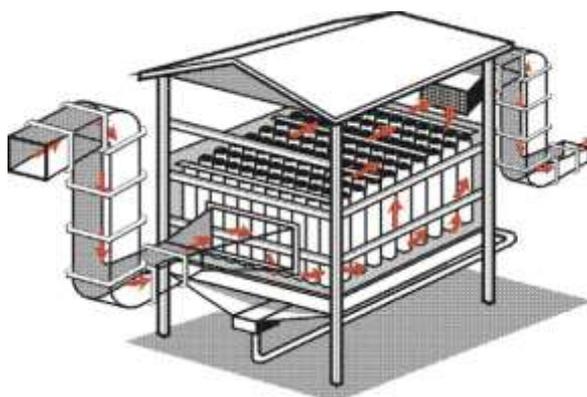
Fonte: RENNER TÊXTIL (2009).

O objetivo deste artigo foi avaliar a filtração de particulados finos de carvão em filtros de manga na empresa Cimentos Liz, com aplicação de mangas de poliéster com e sem membrana ePTFE.

## 1.1. Filtros de Mangas

O princípio de funcionamento de um sistema de filtros de mangas, o ar é carregado de impurezas, entra no filtro pela moega inferior e movimenta-se para cima, já com velocidade reduzida. As partículas são retidas na parte externa das mangas, enquanto o ar atravessa as mesmas. O ar filtrado é expelido para a atmosfera ou retorna ao processo, conforme mostra a Figura 3 (TOMAZZONI, 2007). O filtro de mangas é um equipamento enquadrado na categoria de alta eficiência de coleta de particulados, chegando em alguns casos a valores de eficiência maiores que 99,9% (RENNER TÊXTIL, 2009).

Figura 3 - Sistema de filtros de mangas.



Fonte: RENNER TÊXTIL (2009).

O meio filtrante mais utilizado para sistemas de particulados é um não tecido permeável também conhecido por feltro, que tem como função reter as partículas sólidas durante a filtração, formando uma torta e deixa passar o gás filtrado. O não tecido é uma estrutura plana com distribuição aleatória, ou seja, sem um entrelaçamento ordenado e homogêneo das fibras. Não tecidos aplicados em filtros de mangas, normalmente, possuem gramatura entre 350 a 550 g/m<sup>2</sup> contendo uma tela interna, reforçada no sentido longitudinal com maior densidade de fios, proporcionando maior resistência mecânica no processo de limpeza por ar comprimido, em filtros por sistema de jato pulsante (CERON *et al.*, 2014).

O poliéster é um dos polímeros mais versáteis da atualidade devido à sua vasta gama de aplicações e propriedades, estando presentes como fibras têxteis, não tecidos, plásticos de engenharia, polímeros de alta performance e como filtros em processos de filtração (SKEIST, 1990).

## 1.2. Controles em Filtros de Mangas

A permeabilidade por um elemento filtrante é uma medida macroscópica que indica a maior ou menor facilidade com que um fluido submetido a um gradiente de pressão percola os vazios em um meio poroso. Portanto, uma adequada descrição de permeabilidade deve, combinar aspectos do fluido, da estrutura porosa e do escoamento (FREITAS *et al.*, 2003). O escoamento do fluido gera uma perda de carga de energia, refletida na forma de queda de pressão ao longo do meio poroso. A permeabilidade pode ser determinada na Equação 1, conhecida como equação de Forchheimer para fluidos compressíveis, onde a queda de pressão descreve uma dependência não linear com a velocidade do fluido (INNOCENTINI, 1997).

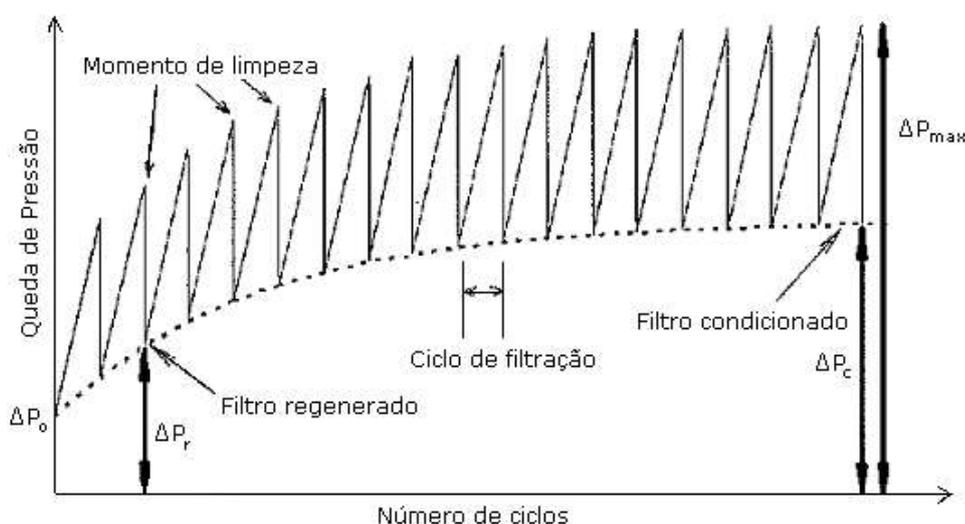
$$\frac{\Delta P}{L} = \frac{\mu \cdot v}{K_1} + \frac{\rho \cdot v^2}{K_2} \quad (1)$$



Sendo  $\Delta P$  a variação de pressão absoluta antes e depois do filtro,  $\mu$  e  $\rho$ , a viscosidade e a densidade do fluido,  $L$ , a espessura do meio e  $v$  a velocidade superficial do gás. Os parâmetros  $K_1$  e  $K_2$  são as permeabilidades darciana e não darciana. O primeiro termo da Equação 1 representa a contribuição das forças viscosas sobre a queda de pressão, causada pelo atrito entre as moléculas do fluido e pelo atrito entre o fluido e o meio poroso. O segundo termo representa as forças inerciais, causadas pela turbulência do fluido escoante e/ou pela tortuosidade do meio poroso.

Nos filtros coletores de pó a perda de carga do tecido limpo apresenta um comportamento não linear com o tempo. Esse comportamento é resultante da compressibilidade da torta e a pressão máxima de operação tende a linearizar após a formação da torta, conforme mostra a Figura 4 (FREITAS, 2003; MELLO, 2007). O aumento da espessura da torta resulta em um acréscimo da perda de carga do sistema, tornando necessária à limpeza periódica do filtro para remover a mesma e manter a perda de carga em níveis adequados de operação (ROCHA, 2010).

Figura 4 - Perda de carga e ciclos de limpeza.



Fonte: ROCHA (2010).

O grau de regeneração nos dá uma idéia do momento em que o processo de filtração/limpeza alcança o estado estacionário. Sendo bastante útil na comparação entre elementos filtrantes distintos (FREITAS, 2003). Para avaliar o grau de regeneração ( $R$ ) do meio filtrante, quanto as suas características iniciais, reportam a Equação 2.

$$R(\%) = \frac{\Delta P_{\max} - \Delta P_r}{\Delta P_{\max} - \Delta P_o} \times 100 \quad (2)$$

Onde  $\Delta P_{\max}$  é a queda de pressão máxima imediatamente antes da limpeza,  $\Delta P_r$  é a queda de pressão residual e  $\Delta P_o$  é a queda de pressão do filtro virgem.

Existem diferentes equações para descrever a queda de pressão durante a filtração. Uma delas é a aproximação cumulativa, onde se divide a queda de pressão total no filtro em duas partes: a queda de pressão no meio filtrante ( $\Delta P_m$ ) e a queda de pressão devido à torta de filtração formada ( $\Delta P_c$ ). Desta maneira, tem-se a Equação 3.

$$\Delta P_T = \Delta P_m + \Delta P_c \quad (3)$$



As propriedades mecânicas de polímeros são aquelas que determinam a resposta destes materiais às influências externas, que estão relacionadas com a resistência a tração, ou seja, a força necessária para estirar ou deformar o material e a deformação alcançada pelo mesmo até a ruptura. As propriedades mecânicas são uma consequência da composição da matriz polimérica e de sua estrutura nos níveis moleculares e supramoleculares. Com as curvas de tensão versus deformação é possível distinguir comportamento da resistência dos materiais (HORROCKS & ANAND, 2015).

## 2. METODOLOGIA E MATERIAIS

As avaliações operacionais em filtro de mangas, TAG 571FM1, na empresa Cimentos Liz em Vespasiano/MG, com tecnologia de processo na filtração de carvão, com granulometria média entre 1 a 5µm. Foram controlados no equipamento a taxa de emissão de particulados e pressão diferencial (perda de carga).

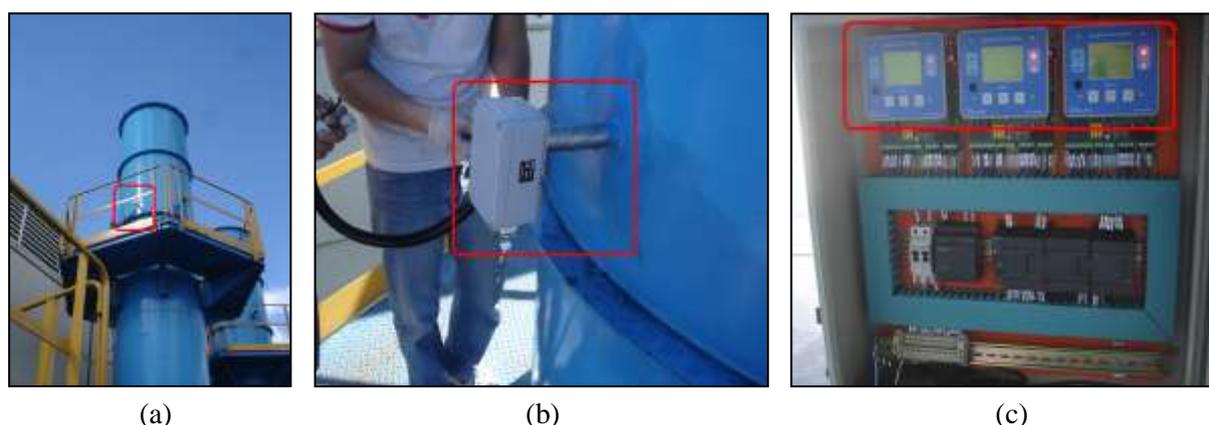
As mangas filtrantes usadas foram de 550 g/m<sup>2</sup>, inicialmente de poliéster e após de poliéster com membrana ePTFE, pelo mesmo período de seis meses.

Os experimentos laboratoriais de permeabilidade e tração, foram realizados no laboratório da Renner, nas amostras retiradas dos filtros de mangas.

### 2.1. Emissão de Particulados

Conforme recomenda a legislação CONAMA nº 436 de 2011, os testes de amostragem de emissão de particulados foram realizados nas condições plenas de carga do filtro de forma direta e contínua em duto de chaminé do filtro, de acordo com a norma NBR 12019:1990 - Efluentes gasosos em dutos e chaminés de fonte estacionárias - Determinação de materiais particulados. A sonda Autel, modelo RP-04 foi colocada na parte interna do duto da chaminé (Figura 5). A calibração inicial da sonda foi ajustada por parametrização em medidor de particulado Autel, modelo GDM-1, que monitorou o controle de emissão de forma contínua, com alarme de pico de emissão ajustado para 20 mg/Nm<sup>3</sup>. Foi usado o software de monitoramento ambiental FSC da Autel, via computador, para obter os dados de emissão por gráfico.

Figura 5 - (a) Chaminé após o filtro; (b) Parte externa da sonda; (c) Detector GDM-01.



### 2.2. Pressão Diferencial

O controle da pressão diferencial entre as câmaras limpa e suja do filtro foi monitorado por um equipamento programador eletrônico diferencial de pressão Ecomatic, modelo ECO-20. O controle da limpeza das mangas foi por variação de pressão no sistema, que é mais econômica em

função de minimizar ar comprimido e não afetar a resistência mecânica do não tecido. A fase inicial de limpeza até obter a torta de filtração foi realizado por variação de tempo. A metodologia seguiu a norma NBR 10701:1989 - Determinação de pontos de amostragem em dutos chaminés de fontes estacionárias.

### 2.3. Permeabilidade

A determinação da permeabilidade foi realizada em Permeabilímetro Karl Schroder KG, modelo 6940 Weinheim (Figura 6). O método consiste em colocar amostra no orifício de fluxo do equipamento, ajustar a pressão constante de 20 mm de coluna d'água em manômetro indicador de pressão diferencial, modelo DPF-15E e ligar o temporizador digital para análise por 30 segundos. O resultado da permeabilidade foi medido em manômetro pelo fluxo de ar ( $L/min.dm^2$ ) que atravessa o não tecido. O ar é gerado em aspirador Arno Papa-Pó, modelo APAC de 700 W, com fluxo invertido, levado por mangueira até o aparelho. Foi usada como referência a norma NBR 13706:1996 - Não tecido - Determinação da permeabilidade ao ar.

Figura 6 - Permeabilímetro



### 2.4. Resistência a Tração

Os ensaios mecânicos de tensão em não tecidos foram realizados no sentido longitudinal e transversal, em máquina universal de ensaio - dinamômetro Frank 81565 IV (Figura 7). O equipamento possui garra superior e inferior com distância ajustada de 200 mm entre elas. O corpo-de-prova fica preso entre as garras, tão esticado quanto possível, sem aplicação de uma pré-tensão. Aplicou-se uma velocidade de afastamento vertical constante das garras de 100 mm/min, com uma célula de carga de 10 kN, até o rompimento do corpo de prova. A metodologia usada obedeceu às normas: NBR 13041:1993 - Não tecido - Determinação da resistência à tração e alongamento.

Figura 7 - Dinamômetro



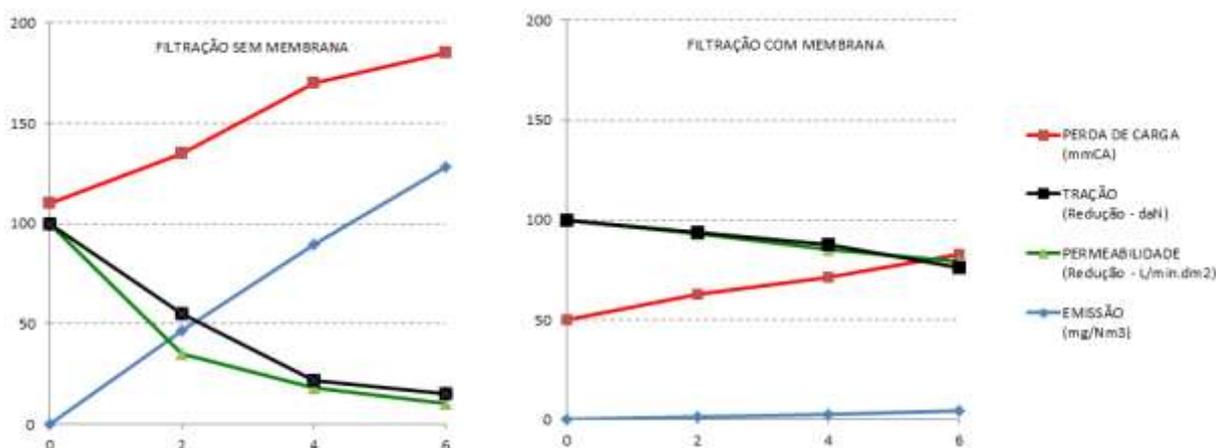
### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O acompanhamento foi realizado com frequência de dois meses em processo de finos de carvão, durante seis meses. Primeiro com mangas de não tecido de poliéster 550 g/m<sup>2</sup> e após com poliéster de 500 g/m<sup>2</sup> com membrana ePTFE. Os resultados são apresentados na Tabela 1 e Figura 8, onde permeabilidade e tração estão representados em função da perda percentual em relação aos seus valores iniciais.

Tabela 1 - Resultados com não tecido sem e com membrana.

Período (Meses)	PE 550 g/m <sup>2</sup>				PE 550 g/m <sup>2</sup> com membrana ePTFE			
	Emissão (mg/Nm <sup>3</sup> )	Perda de Carga (mmCA)	Permeabilidade (Valor %)	Tração (Valor %)	Emissão (mg/Nm <sup>3</sup> )	Perda de Carga (mmCA)	Permeabilidade (Valor %)	Tração (Valor %)
0	0	110	100	100	0	50	100	100
2	46,5	135	35	55	1,5	63	93	94
4	89,5	170	18	22	2,4	71	85	88
6	128,4	185	10	15	4,5	83	79	76

Figura 8 - Resultados gerais para filtração sem membrana e com membrana.



Os resultados mostram que as emissões de particulados estão próximo de 50 mg/Nm<sup>3</sup>, limite máximo recomendado pela legislação CONAMA 436, anexo XI, foi alcançado com mangas de poliéster com 2 meses de uso. Já com mangas de poliéster com membrana alcançou taxa de emissão de 4,6 mg/Nm<sup>3</sup> com seis meses de uso, portanto, cerca de 10% do valor máximo permitido pela legislação. Neste mesmo período de uso, com mangas normais de poliéster chegou a 128,4 mg/Nm<sup>3</sup> de emissão.

Os valores de permeabilidade com mangas de poliéster saturaram próximo de 2 meses de uso, diminuindo a vazão e produtividade do filtro, bem como diminuiu a resistência mecânica de tração do não tecido; condições favoráveis para ocorrer hidrólise no não tecido de poliéster e ocorrer rasgos nas mangas. Nas mangas de membrana, mantiveram-se com valores estáveis até os seis meses de uso.

A perda de carga máxima recomendada no filtro de mangas, próxima de 150 mmca, foi alcançada com 3 meses de uso com mangas de poliéster, chegando a 185 mmca em 6 meses de uso. Com mangas de membrana a perda de carga máxima chegou em 83 mmca em 6 meses de uso. O retorno no filtro, usando mangas de membrana alcançou 10% em produtividade.



#### 4. CONCLUSÕES

A membrana de ePTFE proporciona uma filtração tangencial altamente eficiente na superfície de não tecidos, que suspende as poeira e umidade muito bem, principalmente, para particulados de baixa granulometria. Esta característica impede a eventual migração na profundidade, evitando a subida gradual na resistência através dos filtros, que resultaria em aumento da pressão diferencial ao longo do tempo, como em não tecidos convencionais.

Os resultados mostram uma melhora significativa para aplicação de membrana ePTFE em não tecidos para filtração de particulados no processo de carvão. Os controles de emissão, perda de carga, permeabilidade e tração foram significativamente superiores em relação aos não tecidos convencionais. Embora não seja uma nova tecnologia é pouco usado devido o desconhecimento e maior custo inicial de mangas com membrana, porém, após um médio prazo de uso ficam justificadas a sua aplicação devido à alta produtividade e baixa manutenção no filtro.

#### REFERÊNCIAS

CERON, L. P.; EINLOFT, S. M. O.; LIGABUE, R. A. **Nonwovenpolyester ruffle filtrationoftheparticulate**. Química Têxtil. v. 117, p. 34-44, 2014.

DIAS, T. A eficiência do filtro cartucho. **Meio Filtrante**, São Bernando do Campo, v. 5, n. 23, p. 23-26, 2006.

INNOCENTINI, M. D. M. **Filtração de gases a altas temperaturas**. 1997. 266 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química)-Pós-Graduação em Engenharia, UFSC, São Carlos, 1997.

FREITAS, N. L.; MANEIRO, M. G.; COURY, J. R. Estudo da permeabilidade de filtros cerâmicos de aerossol em altas temperaturas. **Projeções**, v. 21, p. 29-38, 2003.

HORROCKS, A. R.; ANAND, S. C. **Handbookof Technical Textiles: Technical Textile Processes**. 2.ed. Boston: Woodhead Publishing, 2015. 394 p.

MELLO, R. L. S. **Estudo do mecanismo eletroforético de coleta na filtração de aerossóis**. 2007. 122 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química)-Pós-Graduação em Engenharia, UFSC, São Carlos, 2007.

RENNER TÊXTIL. **Manual Técnico de Fibras**. 3. ed., Cachoeirinha: Renner Têxtil, 2009.

ROCHA, S. M. S. **Estudo da influência da velocidade e dos ciclos de filtração na formação da torta na limpeza de gases em filtro de mangas**. 2010. 143 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química)-Pós-Graduação em Engenharia Química, UFU, Uberelândia, 2010.

SKEIST, I. **Handbookofadhesives**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1990, p. 478-498.

SOUZA, A. F.; CHAVES, A. L. Control of the Industrial Gas Polluting Waste. **Technologia**, v. 5, n. 2, p. 83-106, 2004.

TOMAZZONI, F. **Economia de ar comprimido nos filtros de manga do sistema de despoeiramento de alumina da empresa Alunorte - Alumina do Norte do Brasil S.A.** 2007. 128 f. Graduação (Faculdade em Engenharia)-Departamento de Engenharia Química, PUCRS, Porto Alegre, 2007.