

UNIVERSIDADE GAMA FILHO
PÓS-GRADUAÇÃO A DISTÂNCIA - POSEAD

LUCIANO PESKE CERON
ENGENHEIRO QUÍMICO

TECNOLOGIA DE FILTRAÇÃO DE PARTICULADOS DE CHUMBO
USANDO MANGAS PLISSADAS

Porto Alegre

Março, 2010

LUCIANO PESKE CERON
ENGENHEIRO QUÍMICO

**TECNOLOGIA DE FILTRAÇÃO DE PARTICULADOS DE CHUMBO
USANDO MANGAS PLISSADAS**

LUCIANO PESKE CERON
ENGENHEIRO QUÍMICO

**TECNOLOGIA DE FILTRAÇÃO DE PARTICULADOS DE CHUMBO
USANDO MANGAS PLISSADAS**

Monografia apresentada a Universidade
Gama Filho como requisito parcial para
obtenção do título de especialista em
Gestão Ambiental para Empresas.

ORIENTADORA: Prof.^a MELISSA ÂNGELA DE OLIVEIRA

LUCIANO PESKE CERON
ENGENHEIRO QUÍMICO

**TECNOLOGIA DE FILTRAÇÃO DE PARTICULADOS DE CHUMBO
USANDO MANGAS PLISSADAS**

Monografia julgada e aprovada:

ORIENTADORA: Prof.^a MELISSA ÂNGELA DE OLIVEIRA

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho:

Ao **Meio Ambiente**;

Aos meus pais, **Lucindo Ceron** e **Helga Peske Ceron**;

À minha filha, **Luiza Baumbach Ceron**;

Ao meu grande amor, **Tárcia Rita Davoglio**;

E a diretoria da Renner Têxtil, **Mário Renner**, **João** e **Maria Cristina**.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço à minha família, meu pai Lucindo Ceron, minha mãe Helga Peske Ceron, minha filha Luiza Baumbach Ceron e, em especial, à minha esposa Tércia Rita Davoglio, que me incentivou e apoiou neste pós na área ambiental, por toda a sua compreensão e carinho.

A minha orientadora, Prof^a. Melissa Ângela de Oliveira pela ajuda e incentivo nos diversos momentos na orientação desta monografia.

A Universidade Gama Filho pela oportunidade de realizar o curso de Pós-Graduação.

Aos diretores da empresa Renner Têxtil, Mário Renner, João Teichmann e Maria Cristina Teichmann, onde desenvolvo minhas atividades profissionais, que acreditaram e investiram neste projeto de pesquisa dentro da sua empresa e no cliente. E a todos os funcionários e equipes de campo, presentes nos trabalhos de inspeções e ensaios realizados.

Por último, gostaria de estender os meus agradecimentos a todos àqueles de uma forma ou de outra, com idéias e/ou críticas, ajudaram na elaboração deste trabalho.

A todos, os meus sinceros agradecimentos.

*este excelente véu que nos protege, o ar,
vejam só, este bravo firmamento,
teto majestoso riscado pela luz dourada,
não me parece mais do que uma congregação
de vapores pestilentos...*

***William Shakespeare
Hamlet, 2º ato, cena 2***

RESUMO

Hoje, as grandes empresas industriais dos países ditos desenvolvidos, inclusive quando desenvolvem atividades em outros países, procuram zelar pelo seu bom nome, adotando como princípio inabalável o compromisso total com a questão ambiental, da mesma forma com que fazem com a qualidade. A regra é praticamente geral, há como uma imposição que elas, cada vez mais têm que buscar a excelência no trato da questão ambiental, pois disso, com certeza, dependerá sua sobrevivência no mercado. Pois o desenvolvimento sustentável tornou-se, na década de 90, em paradigma da inclusão das dimensões ambientais, econômica e social, desde o planejamento até a operação e avaliação dos impactos.

O chumbo é reconhecido pela organização mundial da saúde como um dos elementos químicos mais perigosos para a saúde humana, sendo o mais utilizado dos metais não ferrosos. O maior uso do chumbo é em indústrias de óxidos de chumbo, fabricação de baterias e reciclagem do chumbo, ocorrendo grande emissão de particulados para a atmosfera quando as mangas filtrantes de poliéster ficam saturadas. Este trabalho demonstra uma alternativa de produção tecnológica mais limpa e economicamente viável, integrada aos processos industriais de filtração de particulados de chumbo. Mostra-se a aplicação de mangas plissadas Renner Têxtil, em filtro industrial de fabricação de baterias, que substituiu as mangas filtrantes convencionais de não-tecidos.

Os resultados medidos mostram significativa diminuição da emissão de material particulado de chumbo para a atmosfera, atingindo a performance exigida pela legislação CONAMA nº 382/2006. Esta melhoria para o meio ambiente conseguiu-se devido à maior área útil das mangas plissadas e pela filtração superficial com membrana de teflon, obtendo por conseqüente maior eficiência de captação de particulados de chumbo.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Filtração de particulados.	18
Figura 2 - Sistema de filtração de particulados.	19
Figura 3 - (a) Não-tecido; (b) Tecido.	20
Figura 4 - Fluxo de ar comprimido no interior do venturi.	21
Figura 5 - (a) Manga filtrante; (b) Fluxos de filtragem do ar e limpeza da manga.	22
Figura 6 - Medida da pressão diferencial no filtro.	23
Figura 7 - Processo Spunbonded.	26
Figura 8 - (a) Filtro convencional; (b) Filtro plissado.	27
Figura 9 - Eficiência da manga plissada com membrana x manga convencional.	28
Figura 10 - Filtro danificado.	29
Figura 11 - Mangas saturadas e choque com estrutura metálica.	30
Figura 12 - Amostra com estrutura têxtil entupida.	31
Figura 13 - (a) Fixação Top Loader; (b) Colocação de mangas plissadas no filtro. ...	33
Figura 14 - (a) Tela interna e Cinta externa; (b) Gaiolas oxidadas retiradas do filtro.	34
Figura 15 - Mangas plissadas no filtro.	35
Figura 16 - MVP-2 Renner.	36
Figura 17 - (a) Sonda, Detector e Software; (b) Medição dos particulados.	37
Figura 18 - Controle de material particulado e chumbo em manga convencional.	39
Figura 19 - Controle de material particulado e chumbo em manga plissada.	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Limites de emissão para poluentes atmosféricos.....	15
Tabela 2 - Resultados laboratoriais das mangas retiradas do filtro.....	31
Tabela 3 - Variáveis e mudanças no projeto de conversão do filtro.....	32
Tabela 4 - Resultados comparativos entre manga convencional e plissada.....	38

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	12
CAPÍTULO I	14
1.1 O Desafio	14
1.2 Renner Têxtil.....	16
CAPÍTULO II	17
2.1 Tecnologia de Mangas Convencionais	17
2.1.1 Filtro.....	18
2.1.2 Não-Tecido	20
2.1.3 Mangas Filtrantes de Poliéster	21
2.1.4 Eficiência de Filtração.....	23
2.2 Tecnologia de Mangas Plissadas	24
2.2.1 Processo Spunbonded	24
2.2.2 Filtro.....	26
2.2.3 Eficiência de Filtração com Plissados.....	28
CAPÍTULO III	29
3.1 Retirada das Mangas Convencionais.....	29
3.2 Análise Laboratorial	30
3.3 Projeto de Conversão do Filtro	32
3.4 Montagem das Mangas Plissadas	33
CAPÍTULO IV	36
4.1 Materiais e Métodos.....	36
CAPÍTULO V	38
5.1 Resultados	38
CAPÍTULO VI	40
6.1 Conclusões	40
REFERÊNCIAS	42

INTRODUÇÃO

Os problemas que surgem com a poluição atmosférica variam conforme a indústria e a tecnologia utilizada em diferentes partes do mundo. Assim reduzir tal poluição requer adoção de equipamentos e estratégias próprias para fontes e tipos específicos de poluentes. A melhor tecnologia para o controle da poluição atmosférica é aquela que visa reduzir, coletar, capturar ou reter os poluentes previamente, antes que eles atinjam à atmosfera. O controle da eficiência operacional apresenta-se como um importante instrumento para o alcance destes objetivos. Na busca dessa eficiência, as empresas devem promover mudanças cuja amplitude obedeça às novas exigências ambientais para os mercados consumidores. Sendo assim, as organizações que não se enquadrarem ou não estiverem dispostas a melhorias contínuas de processos, certamente não sobreviverão aos novos tempos.

O chumbo existe na crosta terrestre em pequenas quantidades e está presente na forma de diversos compostos, nomeadamente na forma de acetato, cloreto, cromato, nitrato e óxido. Os efeitos produzidos pelo chumbo são independentes da via de exposição (inalação ou via oral) e correlacionam-se com os níveis sanguíneos. Em indústrias de chumbo a maior dificuldade e a minimização dos particulados de chumbo para o meio ambiente, visto que a legislação pertinente estabelece o limite máximo de emissão em 5 mg/Nm^3 e o total de material particulado em 50 mg/Nm^3 , gerados em processos de fusão secundária de chumbo.

Justifica-se que os estudos de limpeza de gases contendo chumbo é uma das maiores preocupações industriais, pois recebe atenção especial de pesquisadores e fabricantes de filtros. Estes buscam conhecer e melhorar o fenômeno da filtração destes particulados e, conseqüentemente, desenvolver meios filtrantes e mecanismos de limpeza mais eficientes.

Neste trabalho os filtros de mangas instalados em empresa de produção

de baterias, depois de decorrido algum tempo de uso das mangas filtrantes convencionais em poliéster, apresentavam alta emissão de particulados para a atmosfera. A Renner Têxtil, líder no mercado de filtração no Brasil, localizada em Cachoeirinha - Rio Grande do Sul desenvolveu projeto para esta unidade industrial, para melhorar o desempenho de captação de material particulado de chumbo, substituindo as mangas convencionais de não-tecidos de poliéster, por mangas plissadas de poliéster com membrana de teflon. O meio filtrante dos plissados é um não-tecido fabricado pelo processo *spunbonded*, onde as fibras são calandradas sob calor e pressão, garantindo não haver variação na permeabilidade, proporcionando maior eficiência de filtração, devido à maior área útil do elemento filtrante, cerca de duas vezes maiores que as mangas convencionais e pela filtração superficial da membrana de teflon.

O objetivo principal deste trabalho é demonstrar uma tecnologia mais limpa para o processo de filtração de particulados de chumbo, utilizando mangas plissadas. A alta performance da aplicação e a melhoria ambiental possibilitam a realização de estudos em outros setores industriais, com problema de alta emissão de particulados, a utilizarem a mesma tecnologia deste estudo.

CAPÍTULO I

Neste capítulo é referenciado o assunto problema em empresa de fabricação de baterias, a alta emissão de particulados de chumbo, e apresenta-se a Renner Têxtil, empresa com tecnologia de filtração em não-tecidos plissados.

1.1 O Desafio

O chumbo tem alta toxicidade e uma tendência excepcional de se acumular no organismo humano. A presença natural do chumbo no meio ambiente não causa problemas à saúde, por se dar em pequenas concentrações. Entretanto, segundo Accioly e Siqueira, citado por Marques (2009, p.3), devido à ampla utilização nos processos industriais e conseqüente liberação para o ambiente, os níveis de chumbo no ar têm aumentado, tornando necessário o seu monitoramento.

Essas atividades industriais são freqüentemente realizadas em locais próximos a residências, aumentando os níveis ambientais de chumbo e expondo a população residente na vizinhança da fonte de emissão estacionária (FEE). Nestas condições Nainenti (2006, p.7), relata os que o chumbo é um dos principais agentes nocivos ao crescimento ósseo, especialmente nas crianças, que são mais sensíveis e vulneráveis aos efeitos do chumbo.

Segundo Research Triangle Institute, citado por Barros et al (2000, p.234):

No Homem, os principais efeitos resultantes da exposição crônica ao chumbo são os efeitos no sistema nervoso. Plúmbeo de 40 a 60 $\mu\text{g/dL}$ provoca sintomas neurológicos, enquanto valores de 30 a 40 $\mu\text{g/dL}$ são responsáveis por diminuição da condução dos impulsos nervosos em nível dos nervos periféricos. As crianças são particularmente sensíveis aos efeitos neurotóxicos do chumbo. Existe evidência de que níveis sanguíneos de 10 a 30 $\mu\text{g/dL}$ ou mesmo inferiores podem afetar o limiar da audição e o crescimento em crianças. A exposição crônica ao chumbo pode também ser responsável por efeitos no sangue, nomeadamente anemia, na pressão arterial, na função renal e por interferência no metabolismo da vitamina D.

O chumbo existe na crosta terrestre em pequenas quantidades e está presente na forma de diversos compostos, nomeadamente na forma de acetato, cloreto, cromato, nitrato e óxido (BARROS et al, 2000, p.233). Os efeitos produzidos pelo chumbo são independentes da via de exposição, inalação ou via oral, e correlacionam-se com os níveis sanguíneos (TOCCHETTO, 2005, p.53):

Os filtros de mangas de jato pulsante, instalados em empresa de produção de baterias em São Paulo, próxima a área residencial, apresentavam alta emissão de particulados depois de decorrido algum tempo de uso das mangas filtrantes convencionais em poliéster (RENNER TÊXTIL, 2007, p.5). Portanto, não alcançando a legislação pertinente no CONAMA nº 382 de 2006, que estabelece os limites máximos de emissão para poluentes atmosféricos gerados em processos de fusão secundária de chumbo, conforme a tabela 1 mostra.

Tabela 1 - Limites de emissão para poluentes atmosféricos.

Processos com chumbo	mg/Nm ³ (base seca, sem diluição)		
	M.P.	SO ₂	Pb
Recuperação de chumbo	50	500	5
Refino de chumbo	N.A.	N.A.	0,2
Produção de óxido de chumbo ou zarcão	N.A.	N.A.	5
Produção de grades para baterias	N.A.	N.A.	0,4
Linha de produção e montagem de baterias	N.A.	N.A.	1,0
Preparo de massa	N.A.	N.A.	1,0
Empastamento	N.A.	N.A.	1,0
Moinho de óxido	N.A.	N.A.	1,0
Produção de sais de chumbo	N.A.	N.A.	1,0
Soldas de chumbo	N.A.	N.A.	1,0
Banhos de chumbo	N.A.	N.A.	0,2

N.A : Não aplicável

Fonte: CONAMA, 2008, p.402.

No intuito de buscar soluções, a empresa paulista, por recomendação da CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, procurou parceria técnica junto à Renner Têxtil, líder no mercado de filtração de mangas filtrantes, para desenvolver estudos e melhorar a captação de particulados, perante o problema de alto nível de emissão de particulados de chumbo (RENNER TÊXTIL, 2007, p.6).

1.2 Renner Têxtil

A história da empresa Renner Têxtil Ltda inicia-se no ano de 1934 com a inauguração da fábrica de chapéus Renner Ltda. Já em 1937 teve início a fabricação de feltros técnicos para fins comerciais (RENNER TÊXTIL, 1999, p.3). Para sustentar o crescimento da produção e investir em tecnologia para atender melhor seus clientes e ao mercado consumidor a S.A Feltros Renner assinou contrato de transferência de tecnologia com a BWF Têxtil GMBH, empresa Alemã líder mundial no setor de filtração, iniciava-se a partir daí a produção de não-tecido (RENNER TÊXTIL, 2009). Em 2001 a empresa muda sua razão social para Renner Têxtil Ltda e em 2005 é certificada em seu sistema de Gestão da Qualidade no padrão ISO 9001:2000 (RENNER TÊXTIL, 2006, p.3).

A Renner Têxtil Ltda é uma empresa 100% brasileira, e apesar de estar, pelo processo de produção, inserida no setor têxtil, ela não é uma empresa têxtil no sentido tradicional, já que seus produtos destinam-se a diversos ramos da indústria, como por exemplo, a indústria siderúrgica, de alumínio, de cimento, química, de alimentos, calçadista, entre outros (RENNER TÊXTIL, 1999, p.2). A empresa possui três unidades de negócios: não-tecido, não-tecido impregnado e filtração. Produz aproximadamente 750 t/mês de não-tecido e 70.000 mangas filtrantes/mês (RENNER TÊXTIL, 2006, p.2).

Está instalada no distrito industrial de Cachoeirinha ocupando uma área de 30.000 m², onde ocupa 7.500 m² de área construída (RENNER TÊXTIL, 1999, p.3). Possui aproximadamente 300 funcionários, incluindo a nova fábrica instalada no estado da Bahia, com capacidade atual total de confecção de 10.000 mangas filtrantes por mês. A participação da empresa no mercado nacional em que atua é de 85% (RENNER TÊXTIL, 2006, p.2).

A Renner Têxtil produz não-tecidos agulhados para diversas aplicações de filtração, com a marca *Needlona*, especialmente desenvolvida para a filtração industrial. Possui tecnologia própria para a maioria dos processos, podendo utilizar mangas plissadas, proporcionando a conversão de filtros antigos, aumentando a capacidade e melhorando o desempenho de captação (RENNER TÊXTIL, 2006, p.3).

CAPÍTULO II

Neste capítulo dedica-se a mostrar de forma sucinta as tecnologias de filtração com não-tecidos, usando filtros de mangas convencionais e plissados.

2.1 Tecnologia de Mangas Convencionais

A melhor condição de operação de filtração de material particulado é a combinação entre a máxima eficiência de coleta e a mínima perda de carga (DIAS, 2008, p.34). Os tecidos utilizados nesses equipamentos são muito importantes para o desempenho dos filtros, uma vez que as propriedades do elemento coletor devem ser compatíveis com o gás e o pó coletado, de acordo com as suas características físicas, químicas e térmicas (CERON, 2009, p.40).

A eficiência de limpeza de um filtro de mangas é intimamente dependente do tipo de material e do processo de remoção adotado, que pode ser através de processo de vibração mecânica, fluxo de ar reverso ou de pulso de ar comprimido reverso (PACHECO, 2002, p.57).

A filtração é a passagem de um gás “sujo” por um meio filtrante, que separa as partículas da corrente gasosa, formando uma camada de pó sobre a sua superfície (TOMAZZONI, 2007, p.16). 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 (DIAS, 2008, p.34). Com o passar do tempo a espessura da torta vai aumentando, assim como a perda de carga no filtro, até alcançar um valor de 150 mmH₂O. Alcançado esse valor a torta de pó deve ser removida da superfície do não-tecido (PACHECO, 2002, p.58).

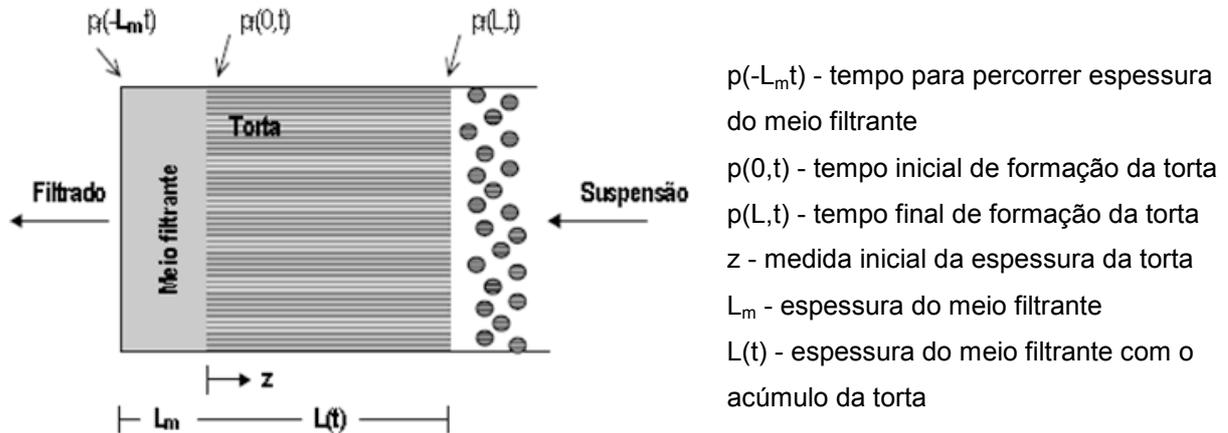


Figura 1 - Filtração de particulados.
 Fonte: DIAS (2008, p.34).

2.1.1 Filtro

Do latim *filtru*, o termo filtro significa feltro que é um elemento que deixa passar ou barrar determinado produto, elemento ou energia de acordo com o uso físico que se dá a este (TOMAZZONI, 2007, p.16). Em mecânica e hidráulica - um filtro é qualquer peça de material poroso (papel, cerâmica, tela, têxtil, etc), que tenha pequenos orifícios, através dos quais se faz passar um líquido ou gás (DICKENSON, 1994, p.18).

Os filtros de manga têm sido largamente utilizados no combate a poluição atmosférica causada pela dispersão de materiais particulados no ar e que se origina dos mais diversos processos industriais e de extração, tais como: mineração de carvão natural, cimenteiras, indústrias cerâmicas e indústrias de transformação química (RENNER TÊXTIL, 2006, p.4). Os principais motivos da larga utilização desse tipo de equipamento são o custo relativamente baixo de implantação, sua facilidade de operação e sua alta eficiência na remoção, para uma ampla faixa granulométrica de materiais particulados (PACHECO, 2002, p.58).

Segundo a Renner Têxtil (2000, p.27), o princípio de funcionamento de um sistema de filtração, o gás carregado de impurezas entra no filtro pela moega inferior, onde o particulado menos denso é carregado junto com o gás para a parte intermediária do filtro, sendo forçado a passar através das mangas, onde todo o particulado é coletado. O gás limpo é então conduzido ao plenum superior do filtro (figura 2) e em seguida ao exaustor. O processo de limpeza das mangas é feito automaticamente através de pulsos de ar comprimido, controlados por um

programador. O ar comprimido é armazenado em um reservatório localizado ao lado do compartimento superior do filtro. Acima de cada carreira de manga há um tubo com furos alinhados ao centro dos mesmos, por onde é injetado o ar comprimido. Este tubo é ligado ao reservatório através de uma válvula diafragma comandado por solenóide, que aciona a limpeza de uma carreira de manga.

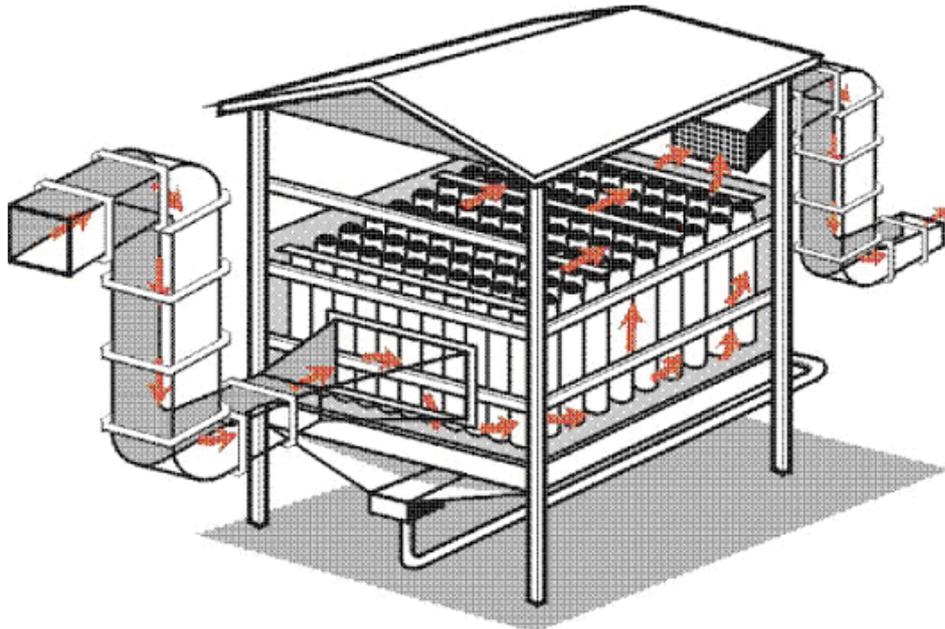


Figura 2 - Sistema de filtração de particulados.
Fonte: RENNER TÊXTIL (2000, p.27).

O projeto do filtro deve incluir como base os dados de vazão, pressão, temperatura e composição dos gases, além de quantidade e composição do pó (TOMAZZONI, 2007, p.28). O tamanho da manga é determinado pela área requerida para filtrar os gases, a qual é função da velocidade de filtração escolhida (RENNER TÊXTIL 2000, p.27). Embora altas velocidades estejam associadas a altas perdas de cargas no filtro, elas também aumentam a área requerida. A velocidade dos gases irá depender do método de limpeza, do material das mangas e das características das partículas (PACHECO, 2005, p.46). Em geral, para filtro com fios tecidos a velocidade de filtração dos gases é de 0,45 a 0,90 m/min e para os não-tecidos pode chegar de 1,1 a 4,5 m/min (RENNER TÊXTIL, 2000, p.28).

A deterioração dos filtros pode ocorrer devido a excesso térmico, stress mecânico provocado por repetidas flexões, hidrólise, ataques químicos e abrasão (TOMAZZONI, 2007, p.37).

2.1.2 Não-Tecido

Segundo Pereira, citado por Ceron (2008, p.27), o não-tecido é uma estrutura plana, flexível e porosa, constituída de véu ou manta de fibras ou filamentos, orientados direcionalmente ao acaso. Moroni, citado por Ceron (2008, p.27), considera o não-tecido (figura 3a) como um têxtil produzido sem um entrelaçamento ordenado e homogêneo dos fios, tendo uma distribuição aleatória das fibras. Diferente de um tecido (figura 3b) em que o conjunto de fios é formado por ângulo próximo de 90°, em forma de lâmina flexível.

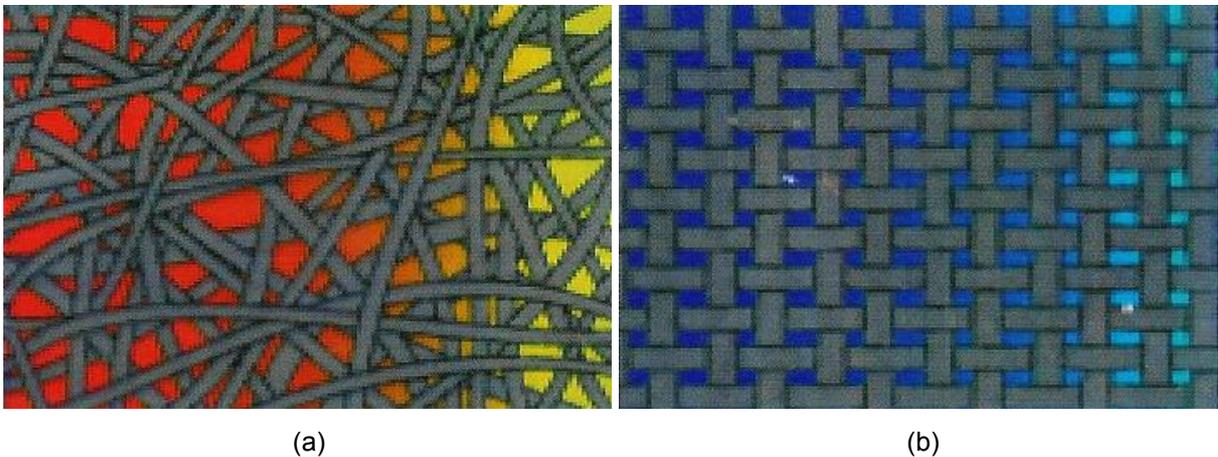


Figura 3 - (a) Não-tecido; (b) Tecido.
Fonte: CERON (2008, p.27).

A eficiência de filtração inicial de um não-tecido trançado é menor para particulados menores de 10 μm , pois o processo de filtração é realizado em profundidade, dentro do meio filtrante, oferecendo resistência somente aos particulados maiores (WIMMER, 1999, p.27). Após se iniciar a formação da torta, esta colabora para a filtração dos finos, uma vez que passa a fazer parte do filtro. Porém, a espessura da torta cresce gradativamente e, conseqüentemente, vai aumentando a perda de carga no filtro, tornando-se necessário efetuar uma limpeza periódica do mesmo, para remover a torta, e manter assim o filtro em condições novamente favoráveis de operação (DIAS, 2008, p.35).

Os processos de fabricação dos não-tecidos são mais rápidos e menos trabalhosos do que para os tecidos, pois a fibra é convertida diretamente na manta, não sendo necessária a construção do fio (REWALD, 2006, p.11).

2.1.3 Mangas Filtrantes de Poliéster

O têxtil utilizado na confecção de mangas filtrantes para a filtração de chumbo, normalmente é o poliéster, que possui boa performance de configuração para a filtração utilizando-se gaiolas com longarinas (RENNER TÊXTIL, 2007, p.7). Este não-tecido de poliéster é produzido pelo processo de agulhagem, termofixação, calandragem e chamuscagem (RENNER TÊXTIL, 1997, p.4).

O poliéster é a fibra de utilização mais extensa em filtração via seca, devido ao seu baixo custo e ser resistente mecanicamente, pois possuem alta elasticidade e são excelentes pela ótima estabilidade dimensional (RENNER TÊXTIL, 1997, p.4). Sua temperatura máxima de trabalho contínuo é de 150°C. Fraca resistência aos ácidos e álcalis.. Possui uma razoável resistência a agentes oxidantes e a solventes orgânicos. Absorve de 3 a 5% de umidade e termofixa a 190-200°C (CERON, 2009, p.41).

Embora a absorção seja baixa acima de 75°C, o grande inimigo desta fibra é a umidade, pois sofre hidrólise, apresentando furos e rasgos em menos de 6 meses de operação sob 10% de água (em volume) a 140°C (CERON, 2009, p.41). Este efeito químico-mecânico se traduz em uma perda total das propriedades mecânicas do têxtil.

A limpeza das mangas consiste na injeção de ar comprimido, de forma contínua e automática, através de aceleradores do tipo venturi, montados no plenum superior do filtro, um para cada manga, conforme mostra a figura 4 (TOMAZZONI, 2007, p.22).



Figura 4 - Fluxo de ar comprimido no interior do venturi.
Fonte: TOMAZZONI (2007, p.22).

O ar comprimido nos venturis induz uma grande quantidade de ar secundário, criando uma onda de choque, com respectivo movimento simétrico no tecido filtrante, limpando a manga e deslocando as partículas para a moega de retenção, conforme mostra a figura 5 (AR AMBIENTAL, 2004, p.2). O tempo de injeção do ar comprimido em cada fila de mangas, assim como a intermitência, ou seja, o período decorrido entre a limpeza de uma fila e a subsequente é comandado por temporizador eletrônico de circuitos integrados (RENNER TÊXTIL, 2006, p.7).

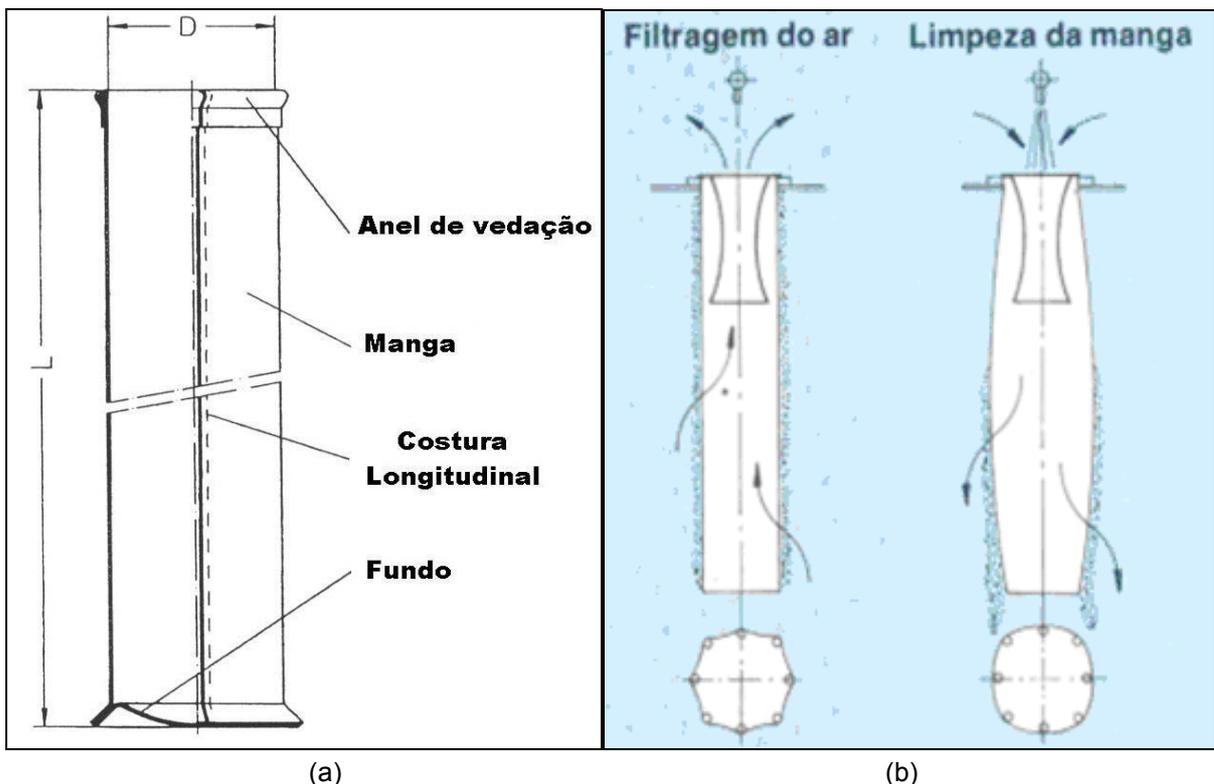


Figura 5 - (a) Manga filtrante; (b) Fluxos de filtragem do ar e limpeza da manga.
Fonte: AR AMBIENTAL (2004, p.2).

Segundo Duo, citado por Teixeira et al (2005, p.2), pouco se conhece sobre a regeneração de um meio filtrante, ainda não é claro, se a posição das áreas regeneradas na superfície do mesmo muda com o passar dos ciclos de filtração e limpeza, ou se o meio filtrante é sempre regenerado na mesma posição.

Dittler e Kasper, citado por Teixeira et al (2005, p.2), realizaram experimentos de filtração com um sistema óptico de medidas e determinaram a frequência local de regeneração. Eles concluíram que algumas áreas tendem a ser regeneradas com mais frequência que outras, e a espessura da torta de filtração formada aumentam nas áreas que não são regeneradas frequentemente. Os autores

concluíram ainda, que o comportamento da filtração é bastante influenciado quando não há a completa regeneração do filtro, ou seja, quando ocorre o fenômeno Patchy Cleaning, ou limpeza por blocos.

Segundo KOCH et al (1996, p.22), a queda de pressão residual aumenta por um período de tempo de limpeza, que pode durar dezenas de ciclos de filtração, conhecida como período de condicionamento. Em casos extremos, o equilíbrio pode não ser estabelecido. A perda de carga usual para filtros de não-tecidos é de 100 a 250 mmCA, conforme mostrado o sistema de medição na figura 6.

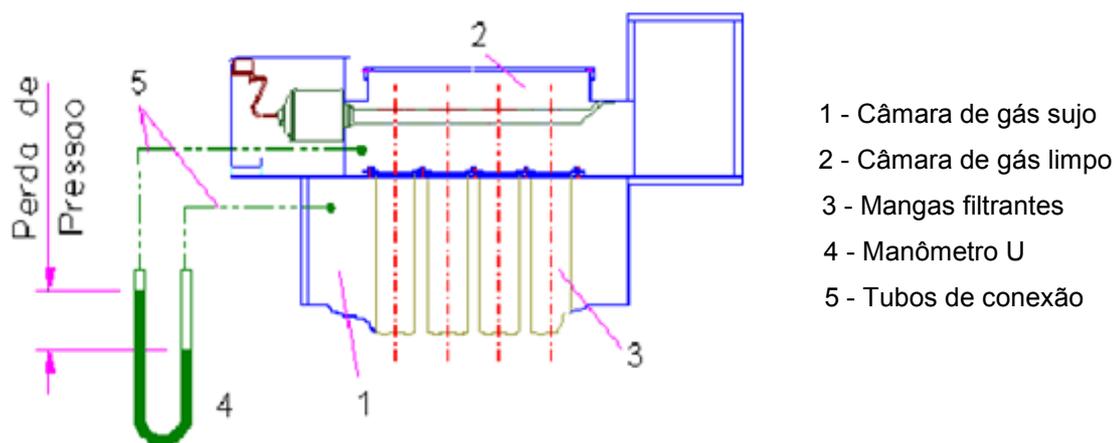


Figura 6 - Medida da pressão diferencial no filtro.
Fonte: INTENSIV (2006, p.28).

2.1.4 Eficiência de Filtração

A eficiência de filtração é definida como a capacidade que o meio de filtração apresenta de reter as partículas de interesse (BARNETT, 2002, p.28). Segundo Innocentini, citado por Tanabe (2008, p.33), a eficiência de filtração também pode ser determinada através da permeabilidade, que representa a quantidade de partículas que transpassaram a superfície do meio de filtração, ou seja, não foram retidas. Para tanto se tem a seguinte equação:

$$FE = 1 - p \quad (1)$$

Onde FE é a eficiência de filtração (*filtration efficiency*) e p é a permeabilidade.

A eficiência de filtração está fortemente relacionada com a porosidade do meio filtrante e o tamanho dos poros do particulado (POWELL, 1998, p.134).

2.2 Tecnologia de Mangas Plissadas

Segundo Ceron (2010, p.38), o processo utilizado na fabricação de plissados é por filamentos contínuos de poliéster capazes de conferir boa resistência mecânica em todas as direções do não-tecido. Garantindo não haver variação na permeabilidade, proporcionando maior eficiência de filtração e elevada estabilidade.

2.2.1 Processo Spunbonded

Segundo Viana e Rocha (2009, p.39) a fabricação do não-tecido pelo processo *Spunbonded* é composta por dez etapas distintas: alimentação, extrusão e fiação, resfriamento e estiragem, formação da manta, consolidação, aplicação de solução hidrofílica, secagem, bobinagem, corte e embalagem, descritas abaixo:

- Alimentação – a etapa de alimentação é onde ocorre o início do processo de produção do não-tecido. Esta etapa é caracterizada pela dosagem na extrusora de grãos de poliéster e aditivos que conferem a cor do não-tecido. O não-tecido pode ser produzido em até vinte e oito tipos de cores.
- Extrusão e fiação – nesta etapa os grãos de poliéster e os aditivos são fundidos, através da extrusora, que funciona como um misturador aquecido a uma temperatura média de 220°C. Este aquecimento se dá através das resistências elétricas que se encontram ao longo do canhão da extrusora. Nesta etapa ocorre também a reciclagem do material que foi destinado para resíduo no setor do corte. O material classificado como resíduo constitui os não-tecidos que não atendem às especificações dos clientes. A massa fundida gerada na extrusora é enviada para as matrizes na sala de fiação, através das bombas de polímero, e, após a passagem nas matrizes, ganha a forma de filamentos.
- Resfriamento e estiragem – na sala de fiação, os filamentos de polipropileno e dos aditivos são resfriados logo após a saída das matrizes e são succionados por bicos de estiragem, que direcionam os filamentos para as aletas do sistema de distribuição.
- Formação da manta – os filamentos já estirados são “espalhados” de forma desordenada na esteira através das aletas que compõem o sistema de

distribuição. Desta forma, os filamentos são depositados sobre a esteira para que se forme uma manta de filamentos. A manta do não-tecido poderá atingir uma largura de quatro metros e meio.

- Consolidação – esta etapa é onde ocorre a calandragem dos filamentos da manta, fazendo com que de fato o produto passe a ser um não-tecido. A consolidação dos filamentos se dá por meio da passagem da manta entre dois rolos de uma calandra, um processo que envolve pressão e temperatura entre rolos, que são aquecidos por óleo térmico a uma temperatura média de 155°C.
- Aplicação de solução hidrofílica – após o processo de consolidação, a manta do não-tecido poderá receber a aplicação de uma solução hidrofílica que irá proporcionar ao não-tecido a característica de absorção à água. Esta aplicação não é realizada em todos os não-tecidos, pois para algumas aplicações o mesmo deverá ter características hidrofóbicas.
- Secagem – após a aplicação da solução que irá conferir ao não-tecido características hidrofílicas, o não-tecido que se encontra molhado deverá ser secado. Isto ocorre durante a passagem do não-tecido em secador convectivo Rama, equipamento que utiliza ar quente para realizar a secagem da manta.
- Bobinagem – realizada ou não a secagem da manta, esta segue para bobinagem do não-tecido na enroladora em grandes eixos com capacidade de sete toneladas. A manta de não-tecido bobinada nestes grandes eixos recebe o nome de rolo jumbo.
- Corte – após conclusão da bobinagem do rolo jumbo na enroladora, o mesmo segue para o setor do corte. Este setor é responsável pelo desbobinamento do rolo jumbo e corte da manta do não-tecido em larguras e metragens lineares requeridas pelos clientes. A largura mínima de corte é de oitenta milímetros, já a máxima, pode atingir quatro mil e duzentos milímetros. A metragem linear poderá ser de cinquenta a dez mil metros lineares por bobina.
- Embalagem – realizado o desbobinamento e o corte da manta do não-tecido e transformação em bobinas, o material segue para etapa final do processo, a pesagem, embalagem e identificação das bobinas na máquina de embalagem. Após esta etapa o material segue para o estoque.

No processo *Spunbonded* de fabricação do não-tecido, o poliéster é fundido através de uma fieira, resfriado e estirado, e posteriormente é depositado sobre uma esteira em forma de véu ou manta (figura 7). A característica principal deste processo é a fiação contínua dos filamentos que formam a manta. Este processo é classificado como de via fundida, através da extrusão do polímero, obtendo produtos padronizados (MORONI, 2005, p.7).

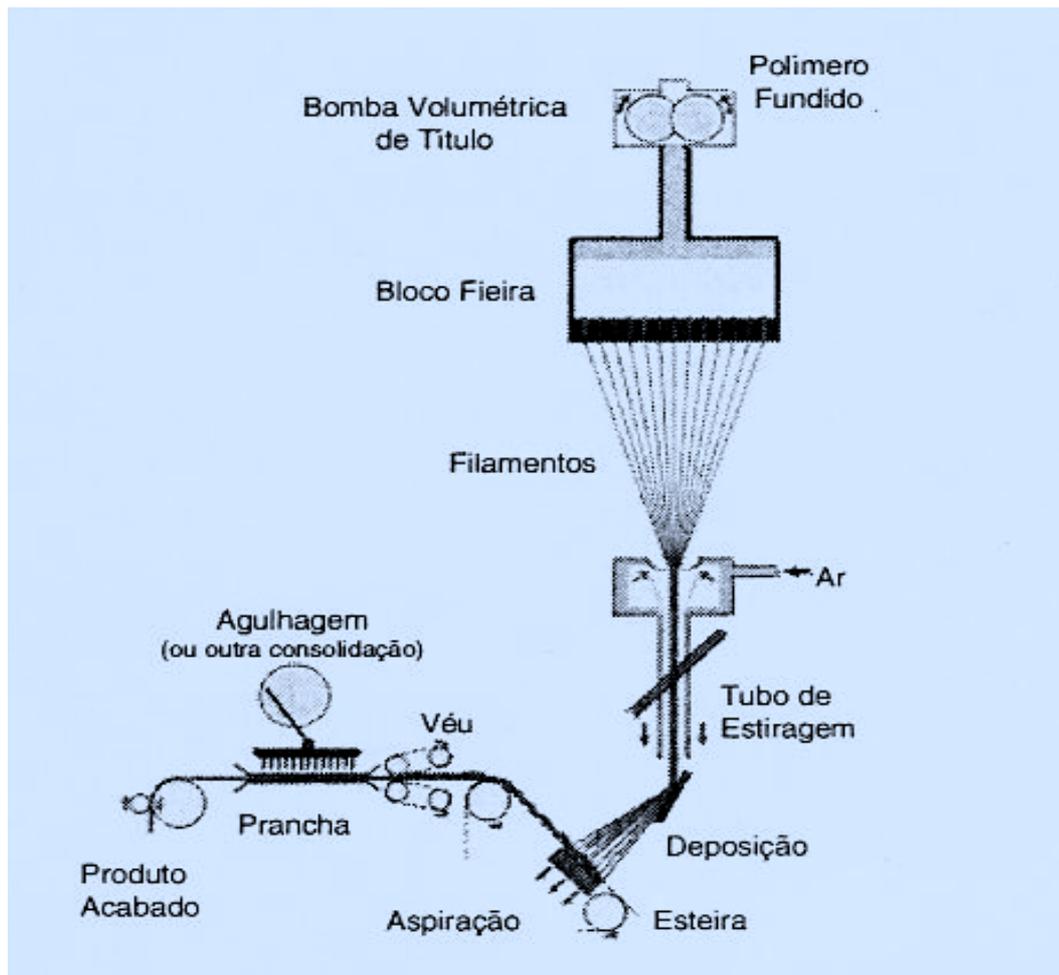


Figura 7 - Processo Spunbonded.
Fonte: MORONI (2005, p.7).

2.2.2 Filtro

A utilização de mangas plissadas pode ser com mangas mais curtas, o que cria uma câmara abaixo das mangas, ocorrendo uma melhor distribuição das velocidades dos gases (RENNER, 2000, p.74). Esta melhor distribuição e por conta da câmara abaixo das mangas, reduzirá as velocidades ascendentes dentro do filtro,

e por conta disto permitirá que boa parte do pó já precipite na moega, reduzindo a carga de pó que vai para as mangas (RENNER, 2000, p.75). Na figura 8, dentro do filtro, está indicada a tendência do tamanho de mangas filtrantes e o perfil de velocidade ascendente dos gases nas duas condições, com mangas convencionais e plissadas (CERON, 2010, p.39).

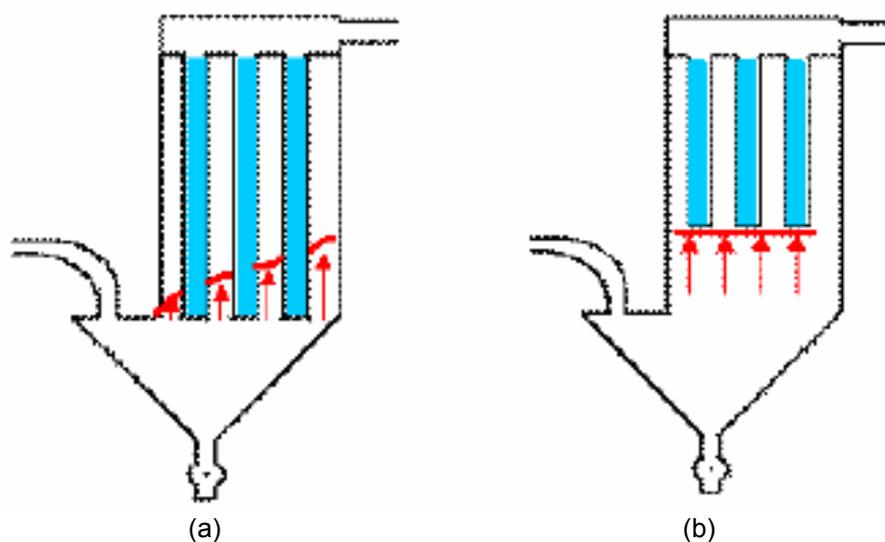


Figura 8 - (a) Filtro convencional; (b) Filtro plissado.
Fonte: CERON (2010, p.39).

Por conta da melhora da distribuição, ocorrerá uma maior precipitação de parte do pó na moega e só parte do pó seguirá junto com os gases para as mangas, o que por consequência vai melhorar a perda de carga do filtro (diminui). Disponibilizando uma maior vazão do exaustor, o que poderá possibilitar num ganho de produção, curva de ventilador de vazão x perda de carga (CERON, 2010, p.39).

No filtro de mangas convencional a pressão do ar comprimido deve ficar em torno de 6,0 bares e o tempo de permanência de abertura das válvulas solenóides deve ser entre 14 a 16 milisegundos. Já no filtro com mangas plissadas, a pressão do ar comprimido deve ficar em torno de 4,0 bares e o tempo de permanência de abertura das válvulas deve ficar entre 18 a 20 milisegundos (CERON, 2010, p.40).

O intervalo de batimento entre válvulas num filtro de mangas convencional deve ficar em média em torno de 15 segundos. Um filtro com mangas plissadas deve ficar em torno de 35 a 45 segundos (RENNER, 2000, p.74).

2.2.3 Eficiência de Filtração com Plissados

O espaçamento maior entre as dobras plissadas garante um excelente desprendimento do pó durante o ciclo de limpeza, melhorando o desempenho do processo de filtração. Isso ocorre devido o aumento da área filtrante, reduzindo a relação ar-pano, ou seja, diminui a velocidade de filtração (RENNER, 2000, p.73).

Nos casos onde a filtração por mangas convencionais de poliéster não alcança valores adequados para remoção de partículas submicrômicas é recomendável o uso de plissados de poliéster com membranas de teflon, que tornam o processo exclusivamente uma filtração superficial (CERON, 2010, p.39). A membrana mantém o pó abrasivo fora do material suporte. O suporte da manga é projetado para durar mais, pois a membrana é quem faz a filtração (BWF, 2007, p.5).

As membranas de recobrimento em plissados comumente utilizadas são as de politetrafluoretileno (PTFE), que exibem boa liberação da torta, baixa perda de carga, vida útil elevada e menor custo. Este tipo de recobrimento melhora a eficiência, minimizam a penetração de partículas no não-tecido, impedindo que muitas partículas se acomodem no interior do meio filtrante (WIMMER, 1999, p.26).

Segundo a BWF (2007, p.5), o poliéster plissado com PTFE assegura a retenção de 100% dos particulados extremamente finos, a partir de 0,7 μm de diâmetro da partícula (figura 9). A excelente qualidade de filtração é conseguida devido ao bom desprendimento do pó, com menor esforço e desgaste do elemento filtrante.

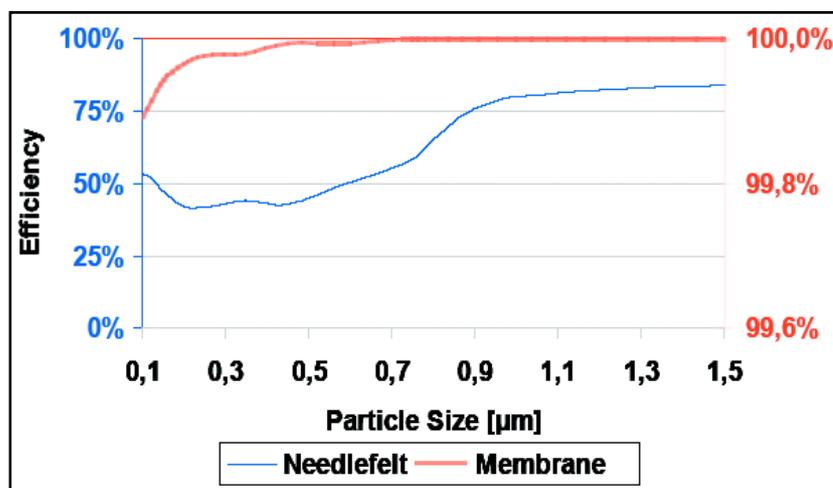


Figura 9 - Eficiência da manga plissada com membrana x manga convencional.
Fonte: BWF (2007, p.5).

CAPÍTULO III

Este capítulo é dedicado a mostrar as condições operacionais do filtro, após 12 meses de uso com mangas convencionais de poliéster e a análise laboratorial realizada nas mesmas. Logo após, é demonstrado o projeto de conversão do filtro e a colocação das mangas plissadas de poliéster com PTFE no filtro da empresa. As informações foram retiradas do projeto de engenharia de plissados para indústria de chumbo (RENNER TÊXTIL, 2007), desenvolvido pela minha responsabilidade técnica pela Renner Têxtil.

3.1 Retirada das Mangas Convencionais

Devido à grande acidez e umidade presentes no sistema de filtração, vários equipamentos foram afetados com apenas 12 meses de uso de mangas convencionais de poliéster. Tubos sopradores rompidos e oxidação na chapa metálica foram os maiores problemas na parte construtiva do filtro, nas diversas câmaras do filtro, mostrados na figura 10.



Figura 10 - Filtro danificado.
Fonte: RENNER TÊXTIL (2007, p.63).

Quando da retirada das mangas de poliéster do filtro, constatou-se que estavam muito próximas uma das outras. Pois ocorreu o efeito pendular das mangas e o abalroamento com as laterais do filtro, perdendo a eficiência de filtração, devido à abrasão e rasgos das mangas (figura 11). Este fato é devido à entrada de ar comprimido não centrado pelo venturi. Ocorreu de forma angular, com choque nas laterais das mangas, causando o pêndulo das mangas. Constatou-se que as mangas estavam saturadas, com grande acúmulo de particulados no fundo da manga.



Figura 11 - Mangas saturadas e choque com estrutura metálica.
Fonte: RENNER TÊXTIL (2007, p.65).

3.2 Análise Laboratorial

Os elementos filtrantes de poliéster retirados do filtro foram analisados no laboratório têxtil da Renner Têxtil, pela engenharia técnica de aplicação, com a minha participação direta. Foram utilizados os seguintes equipamentos laboratoriais nesta análise: balança analítica, espessímetro, permeabilímetro e dinamômetro.

Os resultados e conclusões da análise foram apresentados em laudo técnico 1952, dentro do projeto, conforme mostra a tabela 2.

Tabela 2 - Resultados laboratoriais das mangas retiradas do filtro.

Análise	Norma	Resultado	Padrão Renner
Gramatura	NBR 12984	1.153	500
Espessura	NBR 13371	2,2	1,8
Permeabilidade	NBR 13706	15	200
Tração (Longitudinal)	NBR 13041	54	170
Tração (Transversal)	NBR 13041	35	130
Alongamento (Longitudinal)	NBR 13041	6	17
Alongamento (Transversal)	NBR 13041	8	20

Fonte: RENNER TÊXTIL, 2007, p.66.

As seguintes conclusões sobre os resultados de laboratório:

- Os elementos filtrantes estão irreversivelmente saturados, entupidos, com baixa permeabilidade ao ar, devido à elevada concentração de pó na face da amostra. O teste de permeabilidade, simulando a equivalência de limpeza no equipamento, confirmou que a amostra está sem condições de limpeza, devido ao excesso de particulados úmidos na estrutura têxtil do elemento filtrante. O teste de gramatura e espessura confirma a alta aglomeração de pó (figura 12);



Figura 12 - Amostra com estrutura têxtil entupida.

Fonte: RENNER TÊXTIL (2007, p.67).

- Os valores de tração e alongamento estão abaixo da especificação técnica recomendada para filtração de particulados.

3.3 Projeto de Conversão do Filtro

As conversões do filtro foram projetadas pela engenharia da Renner Têxtil, com minha participação efetiva. Foi realizada com o objetivo de maximizar a eficiência do equipamento, para satisfazer os requisitos de baixas emissões. As relações iniciais do projeto e as mudanças no filtro, colocando mangas plissadas de poliéster com PTFE, são mostradas na tabela 3.

Tabela 3 - Variáveis e mudanças no projeto de conversão do filtro.

Condições do equipamento	Convencional	Plissada
Volume de gás (m ³ /h)	3.534,20	3.534,20
Número de linhas	5	3
Número de colunas	7	7
Número de mangas	35	21
Diâmetro das mangas (mm)	165	150
Comprimento das mangas (mm)	3.800	2.000
Área filtrante da manga (m ²)	1,97	4,00
Relação ar/pano (m ³ /m ² .min)	0,85	0,70
Área filtrante do filtro (m ²)	69,30	84,15
Velocidade ascendente (m/s)	1,00	0,70

Fonte: RENNER TÊXTEL (2007, p.69).

A Renner Têxtil (2007, p.69), cita que através das mudanças no projeto das mangas filtrantes, conseguiu-se aprimorar de forma significativa as seguintes variáveis no filtro:

- O diâmetro e número de mangas plissadas foram diminuídos, devido à maior área filtrante entre as plissadas. Assim aumentou-se a área filtrante do filtro, deixando-se duas linhas sem mangas filtrantes;
- O comprimento das mangas plissadas foi diminuído, por conseguinte a relação ar/pano e velocidade ascendente também diminuíram.

3.4 Montagem das Mangas Plissadas

As alterações no filtro ocorreram dentro da previsão inicial. Foram três dias de parada de produção na empresa, em abril de 2008, para realizar todas as etapas de manutenção e readaptação no filtro, para receber as mangas plissadas de poliéster com membrana de teflon. Foram utilizados três auxiliares de manutenção, funcionários da Renner Têxtil, mais a minha coordenação da equipe no filtro.

Por se tratar de montagem por cima, a Renner Têxtil desenvolveu uma ondulação no Top Loader de ajuste e aperto do colarinho (parte flexível que é montado no furo do espelho, antes da manga plissada ser colocada). Dificultando que o colarinho afrouxe, impedindo a emissão pela ação abrasiva do pó e pelo movimento pendular da manga (figura 13a). Normalmente recomendado para processos abrasivos de pós, com média granulometria, até temperatura de operação em 130°C. Este tipo de fixação e de fácil montagem e desmontagem (figura 13b), proporcionando ganhos de tempo de manutenção e produção.



Figura 13 - (a) Fixação Top Loader; (b) Colocação de mangas plissadas no filtro.
Fonte: RENNER TÊXTIL (2007, p.71).

A manga plissada tem uma estrutura interna em tela rígida e a colocação de uma cinta de fixação externa nos plissados, com a finalidade de dar estruturação para a manga, colada com resina especial e presa com rebite (figura 14a). Por conta disto dispensa a necessidade de utilização das gaiolas metálicas, utilizada para mangas convencionais. Portanto, o grande benefício é a minimização nos custos, pois gaiolas normalmente são trocadas a cada dois a três anos de uso, devido à oxidação das mesmas. As gaiolas oxidadas retiradas do filtro são mostradas na figura 14b, com apenas um ano de uso. Finalizando a montagem das mangas plissadas é mostrada a parte inferior das mangas, dentro do filtro, na figura 15.

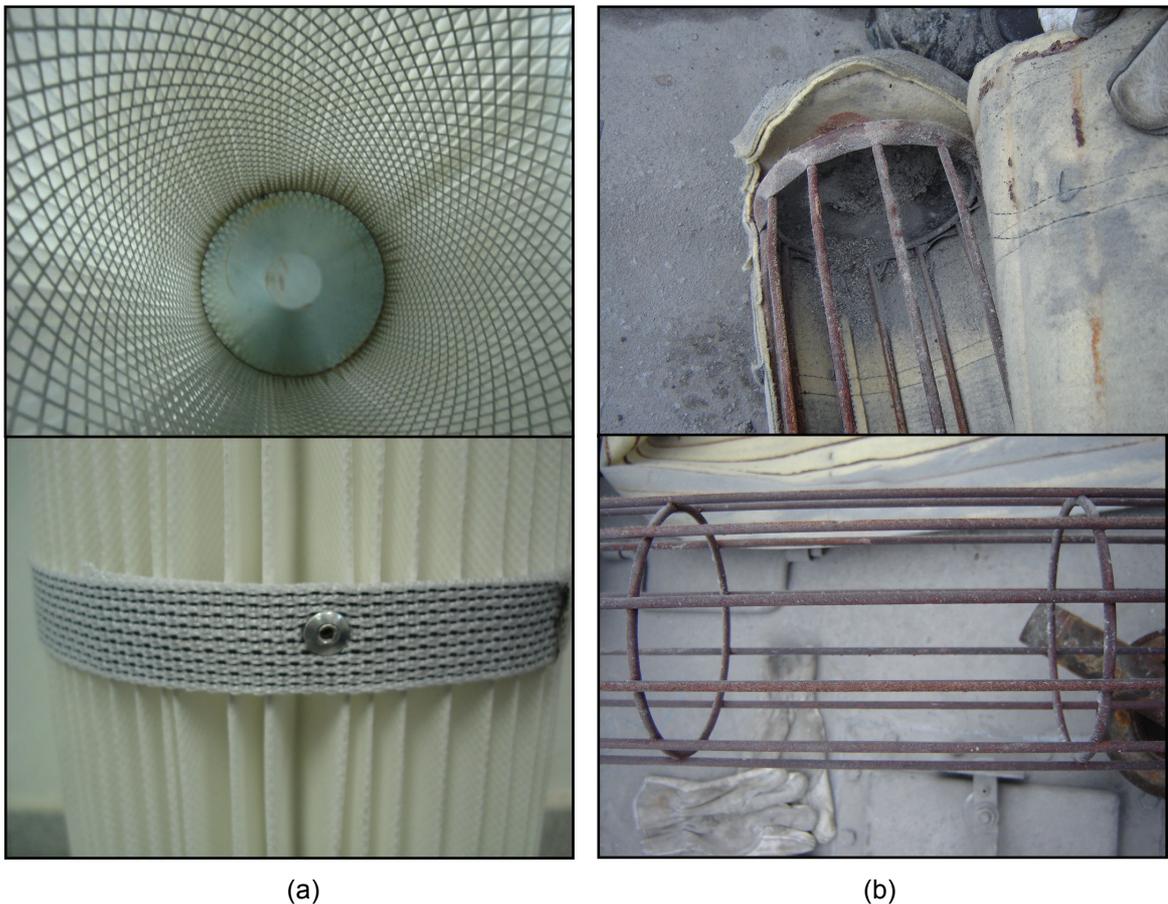


Figura 14 - (a) Tela interna e Cinta externa; (b) Gaiolas oxidadas retiradas do filtro.
Fonte: RENNER TÊXTIL (2007, p.72).

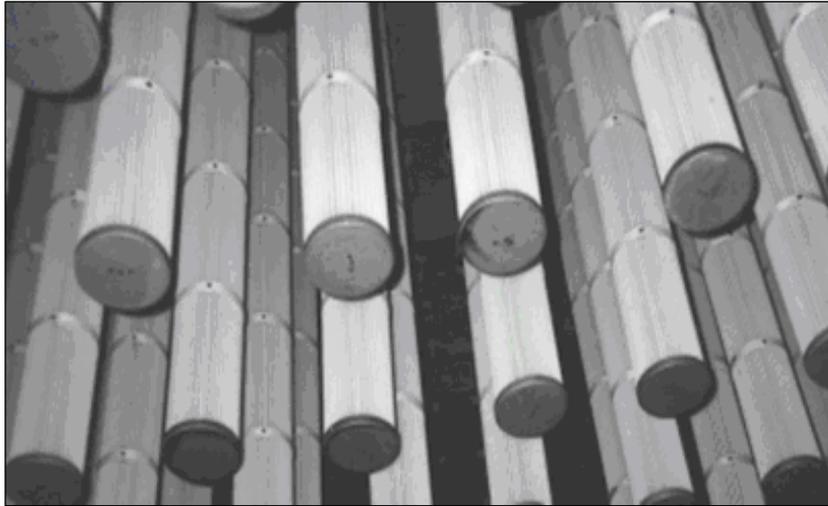


Figura 15 - Mangas plissadas no filtro.
Fonte: RENNER TÊXTIL (2007, p.74).

CAPÍTULO IV

Neste capítulo é relacionado os materiais e métodos desenvolvidos para acompanhar a performance do filtro, quanto as variáveis do processo e a quantificação das emissões de particulados.

4.1 Materiais e Métodos

Por ser um novo equipamento, conforme recomenda a legislação CONAMA nº 382 de 2006, os testes foram realizados nas condições plenas de carga no filtro.

O acompanhamento operacional ocorreu durante 24 meses, sendo 12 meses com mangas convencionais (maio de 2007 a abril de 2008) e posteriormente com mangas plissadas (abril 2008 a março 2009), pelo mesmo período de tempo, controlando as variáveis de material particulado e chumbo, ambos em mg/Nm^3 .

Para o controle de vazão, velocidade e pressão utilizou-se um medidor modelo MVP-2 Renner, com transmissão por sinal 4-20 mA, para monitoramento remoto, conforme mostra a figura 16.



Figura 16 - MVP-2 Renner.
Fonte: RENNER TÊXTIL (2006, p.8).

Os testes de amostragem de emissão foram coletados de forma direta em dutos de chaminé, de acordo com metodologia aceita pelo órgão ambiental licenciador, com utilização de sonda Renner modelo RP-04 e detector de pó Renner modelo GDM-01 (figura 17a), para monitorar o material particulado e o efeito triboelétrico, ajustado a isocinética.

O princípio de controle da sonda é pela geração de corrente elétrica, através do choque das partículas contra a haste (figura 17b). É ampliada por parametrização inicial, permitindo monitorar o controle de emissão em mg/Nm^3 de maneira contínua, por apresentação gráfica em computador. O software FSC monitora, via internet, todos os parâmetros da planta de filtração: válvulas, níveis de particulados, pressão e temperatura. Contém alarme de pico de emissão para economizador e identificação da fileira de manga com passagem de pó.

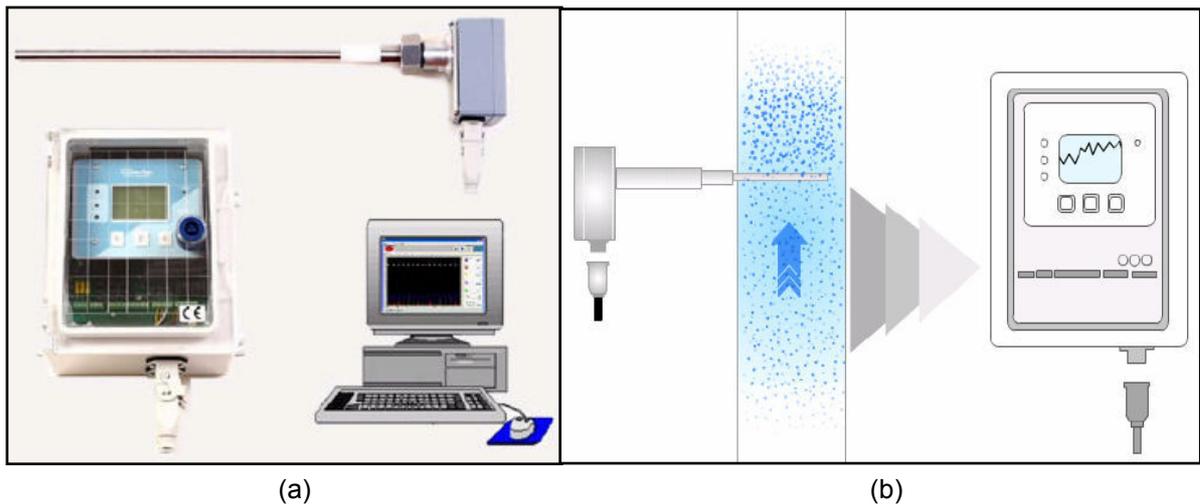


Figura 17 - (a) Sonda, Detector e Software; (b) Medição dos particulados.
Fonte: RENNER TÊXTIL (2006, p.6).

CAPÍTULO V

5.1 Resultados

Os acompanhamentos mensais em campo operacional no filtro, primeiro com mangas convencionais e após a mudança do projeto para mangas plissadas, tiveram seus valores monitorados para o teor de material particulado e chumbo em mg/Nm^3 , conforme é mostrado na tabela 4.

Tabela 4 - Resultados comparativos entre manga convencional e plissada.

Mês	Convencional mg/Nm^3		Plissada mg/Nm^3	
	M.P.	Pb	M.P.	Pb
1	5,12	2,35	2,03	0,03
2	6,15	3,45	2,22	0,02
3	7,58	4,22	2,50	0,04
4	9,54	4,56	2,43	0,03
5	14,65	4,89	2,35	0,05
6	24,78	6,12	2,12	0,04
7	28,93	7,63	3,11	0,07
8	35,85	7,72	2,85	0,10
9	39,11	9,12	3,19	0,09
10	60,35	10,22	3,45	0,12
11	69,22	12,34	4,12	0,13
12	79,36	14,68	4,27	0,15

Fonte: RENNER TÊXTIL (2007, p.80).

A apresentação dos resultados na tabela 4 é mostrada em forma de gráficos. Para a manga convencional (figura 18), com a faixa limite de uso para cada controle em vermelho, quando atinge à emissão máxima permitida pela legislação CONAMA nº 382/2006. Para a manga plissada (figura 19) com a tendência de durabilidade pela equação polinomial da curva, pois ainda esta em uso na empresa.

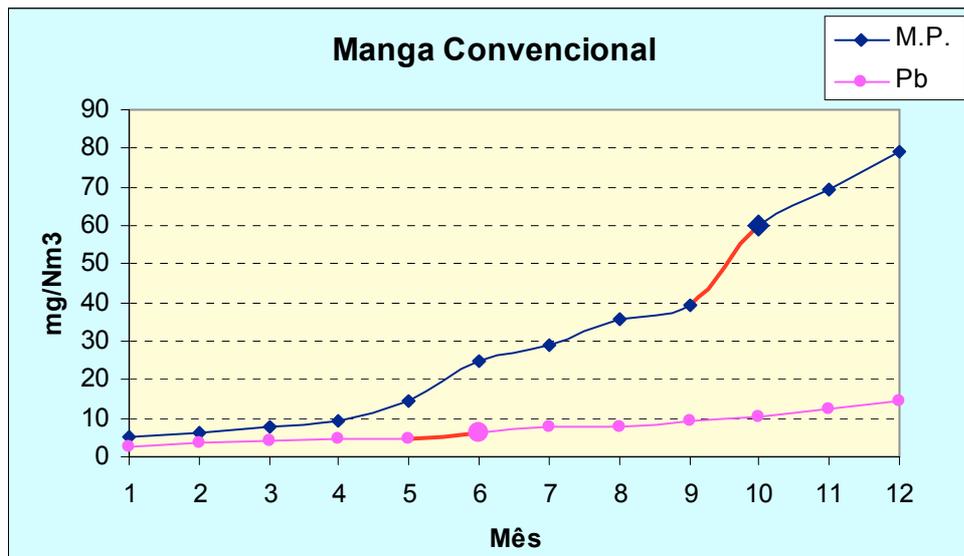


Figura 18 - Controle de material particulado (M.P.) e chumbo (Pb) em manga convencional.

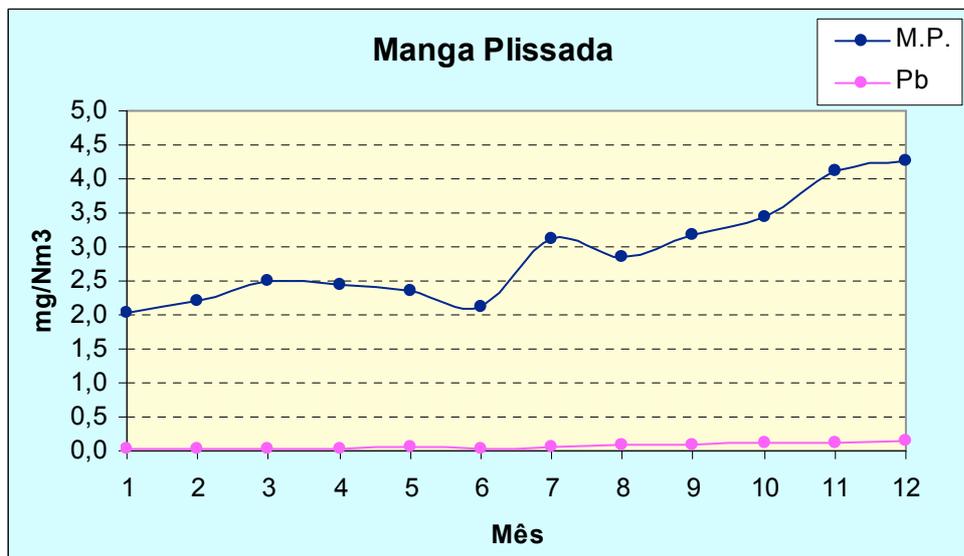


Figura 19 - Controle de material particulado (M.P.) e chumbo (Pb) em manga plissada.

Onde na curva de M.P. (figura 19) a equação é $y = 0,0204 x^2 - 0,0736 x + 2,2618$ ($R^2 = 0,9166$) e para a curva de Pb (figura 19) a equação é $y = 0,0009 x^2 + 0,0001 x + 0,0234$ ($R^2 = 0,9563$).

CAPÍTULO VI

6.1 Conclusões

Os resultados mostram que as emissões de material particulado e de chumbo foram controladas com manga plissada durante os 12 meses de avaliação, com valores abaixo do que a legislação recomenda. Portanto, a conversão foi uma solução sob medida, economicamente viável, evitando a compra de um novo equipamento.

O tempo de vida útil para a manga convencional ficou limitado em 6 meses de uso, devido a emissão de chumbo atingir $6,12 \text{ mg/Nm}^3$, ultrapassando o limite recomendado pelo CONAMA nº 382 em 5 mg/Nm^3 . Pelo material particulado o tempo chegou em 10 meses de uso, até atingir uma emissão de $60,35 \text{ mg/Nm}^3$, que ultrapassou aos 50 mg/Nm^3 recomendados pela legislação.

A estimativa de durabilidade para a manga plissada condicionada pela emissão de material particulado, usando a equação da curva ($y = 0,0204 x^2 - 0,0736 x + 2,2618$) atingirá $51,57 \text{ mg/Nm}^3$ com 51 meses, aproximadamente 4 anos de uso. Pois a estimativa para o chumbo, pela equação ($y = 0,0009 x^2 + 0,0001 x + 0,0234$) o tempo estimado é superior ao de particulados, chegando a 75 meses de uso até atingir a emissão de $5,09 \text{ mg/Nm}^3$. Portanto, a vida útil da manga plissada é estimada em 4 anos de uso para esta aplicação de chumbo, controlada pela emissão de material particulado.

A utilização de manga plissada inverteu a tendência da variável de controle no filtro, pois com manga convencional o limitante de emissão é o chumbo, ao passo que com manga plissada o limitador passou a ser o material particulado.

Pode-se concluir que é perfeitamente possível ajustar a utilização da mesma tecnologia de plissados, para a maioria dos processos industriais que utilizam filtros de mangas. Recomenda-se utilizar mangas plissadas para a

conversão de filtros antigos, melhorando a sua performance com o aumento da capacidade de filtração, conseqüentemente aumentando o desempenho de produção, devido à diminuição do tempo de paradas de produção.

A vasta gama de tipos de agressões ao meio ambiente nas atividades industriais obriga a necessidade de especializações diversificadas para seus controles, pois, até dentro de um mesmo tipo, os controles dos poluentes se diferenciarão pela espécie, pela quantidade e até mesmo, pela periodicidade da agressão. Assim, caso a caso, tecnologias específicas se impõem. Em fim, o controle deverá ter a tecnologia adequada para que se alcance, com eficiência, o benefício ambiental que justifique o investimento no controle por equipamentos.

REFERÊNCIAS

AR AMBIENTAL. *Filtro de Mangas*. 3. ed, Cajamar: Ar Ambiental, 2004.

BARNETT, T. Improving the performance of fabric filter dry dust collection equipment. *Filtration & Separation*, p. 28-32, mar. 2000.

BARROS, J. H; CAVALEIRO, J. R.; FORMOSINHO, S. J.; PIO, C. A. *Parecer relativo ao tratamento de resíduos industriais perigosos*. Aveiro: Comissão Científica Independente de Controlo e Fiscalização Ambiental da Co-Incineração, 2000, 329 p.

BWF. *PTFE membrane coated filter media in comparison with needlon mps concept*. 5. ed, Germany: BWF, 2007.

CERON, L. P. *Desenvolvimento do processo de secagem em rama na produção de palmilhas para calçados*. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais, PUCRS, Porto Alegre.

_____. Têxteis para a construção de mangas filtrantes. *Meio Filtrante*, Santo André, v. 40, p. 40-43, set. 2009.

_____. Filtração de particulados de chumbo usando mangas plissadas. *Meio Filtrante*, Santo André, v. 42, p. 38-42, jan. 2010.

CONAMA. *Resoluções do CONAMA*. 2. ed. Brasília: CONAMA, 2008, 928 p.

DIAS, T. Indústria de borracha livre de particulados. *Meio Filtrante*, São Bernando do Campo, v. 32, p. 32-36, mai. 2008.

DICKENSON, C. *Filters and Filtration Handbook*. Oxford: Elsevier Advanced Technology, ed. 3, 1994.

INTENSIV. *Manual de instruções de montagem, operações e manutenção*. 3. ed. São Paulo: Intensiv, p. 28, 2006.

KOCH, D.; SEVILLE, J.; CLIFT, R. Dust cake detachment from gas filters. *Powder Technology*. v. 86, p.22, 1996.

MARQUES, L. F. *Fitoextração de chumbo por girassol, vetiver, trigo mourisco, jureminha e mamona em áreas contaminadas*. 2009. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia, UFP, Areia. Disponível em: <<http://www.cca.ufpb.br/Ppga/pdf/mestrado/Luciano%20Facanha-ms09.pdf>>. Acesso em: 15 set. 2009.

MORONI, L. G. et al. (Org.). *Manual de não-tecidos: classificação, identificação e aplicações*. 3. ed. São Paulo: ABINT, fev. 2005.

NAINENTI, H. R. D. *Correlação entre a exposição ao chumbo e a atividade da enzima ácido d-aminolevulínico desidratase (ala-d), paratormônio (pth) e fatores nutricionais em crianças*. 2006. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Programa de Pós-Graduação em Saúde Pública, ENSP, Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://bvssp.iciict.fiocruz.br/lildbi/docsonline/9/4/849-mainentihrdm.pdf>> Acesso em: 20 ago. 2009.

RENNER TÊXTIL. Disponível em: <<http://www.rennertextil.com.br/rennertextil/a-empresa.html>> Acesso em: 22 ago. 2009.

_____. *Projeto plissados para indústria de chumbo*. Cachoeirinha: Renner Têxtil, 2007.

_____. *Catálogo de produtos Renner*. [Cachoeirinha], 2006. p.8.

_____. *Filtração Seca 2000*. Cachoeirinha: Renner Têxtil, p.27-75, 2000.

_____. *A história da construção da Renner*. Cachoeirinha: Farina, 1999.

_____. O uso de elementos filtrantes na retenção de pós. *Boletim Técnico*, Cachoeirinha, 1997.

REWALD, F. G. *Tecnologia dos Não-tecidos: Matérias-primas, processos e aplicações finais*. São Paulo: LCCTE, 2006. p.11.

PACHECO, T. A. Como obter o rendimento máximo dos filtros de mangas. *Química e Derivados*, São Paulo, ed. 407, p. 56-64, ago. 2002.

_____. O aspecto químico da filtração industrial retenção de particulados. *Química e Derivados*, São Paulo, ed. 438, p. 40-51, jun. 2005.

POWELL, J. Surface filtration: the way forward. *Filtration and Separation*, p.134-136, mar. 1998.

TANABE, E. H. *Estudo do comportamento da deposição das partículas em diferentes meios filtrantes*. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, UFSCar, São Carlos.

TEIXEIRA, D.; SILVA, T. A. L.; TIENE, E. F.; AGUIAR, M. L. Filtração de gases: Estudos do fenômeno da limpeza por blocos em um filtro de acrílico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA EM INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 6., 2005, Campinas. *Anais...* São Carlos: UFSCar, 2005. Disponível em: <<http://www.feq.unicamp.br/~cobegic/tPT23.pdf>> Acesso em: 15 jun. 2009.

TOCCHETTO, M. R. L. *Gerenciamento de resíduos sólidos industriais*. Santa Maria: UFSM, 2005, 97 p.

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. Graduação (Faculdade em Engenharia) – Departamento de Engenharia Química, PUCRS, Porto Alegre.

VIANA, F. L. E.; ROCHA, R. E. V. *Benchmarking Interno: aplicação na manufatura de uma organização do setor de transformação de plásticos*. Santa Maria, p.34-45, 2009. Disponível em: <<http://www.ingepro.com.br/index.php/ingepro/article/viewFile/114/100>> Acesso em: 20 ago. 2009.

WIMMER, A. PTFE yams and fibres in hot gás filtration. *Filtration and separation*, p.26-28, mar. 1999.

UNIVERSIDADE GAMA FILHO
PÓS-GRADUAÇÃO A DISTÂNCIA - POSEAD

LUCIANO PESKE CERON
ENGENHEIRO QUÍMICO

TECNOLOGIA DE FILTRAÇÃO DE PARTICULADOS DE CHUMBO
USANDO MANGAS PLISSADAS

Porto Alegre

Março, 2010

LUCIANO PESKE CERON
ENGENHEIRO QUÍMICO

**TECNOLOGIA DE FILTRAÇÃO DE PARTICULADOS DE CHUMBO
USANDO MANGAS PLISSADAS**

LUCIANO PESKE CERON
ENGENHEIRO QUÍMICO

**TECNOLOGIA DE FILTRAÇÃO DE PARTICULADOS DE CHUMBO
USANDO MANGAS PLISSADAS**

Monografia apresentada a Universidade
Gama Filho como requisito parcial para
obtenção do título de especialista em
Gestão Ambiental para Empresas.

ORIENTADORA: Prof.^a MELISSA ÂNGELA DE OLIVEIRA

LUCIANO PESKE CERON
ENGENHEIRO QUÍMICO

**TECNOLOGIA DE FILTRAÇÃO DE PARTICULADOS DE CHUMBO
USANDO MANGAS PLISSADAS**

Monografia julgada e aprovada:

ORIENTADORA: Prof.^a MELISSA ÂNGELA DE OLIVEIRA

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho:

Ao ***Meio Ambiente***;

Aos meus pais, ***Lucindo Ceron*** e ***Helga Peske Ceron***;

À minha filha, ***Luiza Baumbach Ceron***;

Ao meu grande amor, ***Tárcia Rita Davoglio***;

E a diretoria da Renner Têxtil, ***Mário Renner, João*** e ***Maria Cristina***.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço à minha família, meu pai Lucindo Ceron, minha mãe Helga Peske Ceron, minha filha Luiza Baumbach Ceron e, em especial, à minha esposa Tércia Rita Davoglio, que me incentivou e apoiou neste pós na área ambiental, por toda a sua compreensão e carinho.

A minha orientadora, Prof^a. Melissa Ângela de Oliveira pela ajuda e incentivo nos diversos momentos na orientação desta monografia.

A Universidade Gama Filho pela oportunidade de realizar o curso de Pós-Graduação.

Aos diretores da empresa Renner Têxtil, Mário Renner, João Teichmann e Maria Cristina Teichmann, onde desenvolvo minhas atividades profissionais, que acreditaram e investiram neste projeto de pesquisa dentro da sua empresa e no cliente. E a todos os funcionários e equipes de campo, presentes nos trabalhos de inspeções e ensaios realizados.

Por último, gostaria de estender os meus agradecimentos a todos àqueles de uma forma ou de outra, com idéias e/ou críticas, ajudaram na elaboração deste trabalho.

A todos, os meus sinceros agradecimentos.

*este excelente véu que nos protege, o ar,
vejam só, este bravo firmamento,
teto majestoso riscado pela luz dourada,
não me parece mais do que uma congregação
de vapores pestilentos...*

***William Shakespeare
Hamlet, 2º ato, cena 2***

RESUMO

Hoje, as grandes empresas industriais dos países ditos desenvolvidos, inclusive quando desenvolvem atividades em outros países, procuram zelar pelo seu bom nome, adotando como princípio inabalável o compromisso total com a questão ambiental, da mesma forma com que fazem com a qualidade. A regra é praticamente geral, há como uma imposição que elas, cada vez mais têm que buscar a excelência no trato da questão ambiental, pois disso, com certeza, dependerá sua sobrevivência no mercado. Pois o desenvolvimento sustentável tornou-se, na década de 90, em paradigma da inclusão das dimensões ambientais, econômica e social, desde o planejamento até a operação e avaliação dos impactos.

O chumbo é reconhecido pela organização mundial da saúde como um dos elementos químicos mais perigosos para a saúde humana, sendo o mais utilizado dos metais não ferrosos. O maior uso do chumbo é em indústrias de óxidos de chumbo, fabricação de baterias e reciclagem do chumbo, ocorrendo grande emissão de particulados para a atmosfera quando as mangas filtrantes de poliéster ficam saturadas. Este trabalho demonstra uma alternativa de produção tecnológica mais limpa e economicamente viável, integrada aos processos industriais de filtração de particulados de chumbo. Mostra-se a aplicação de mangas plissadas Renner Têxtil, em filtro industrial de fabricação de baterias, que substituiu as mangas filtrantes convencionais de não-tecidos.

Os resultados medidos mostram significativa diminuição da emissão de material particulado de chumbo para a atmosfera, atingindo a performance exigida pela legislação CONAMA nº 382/2006. Esta melhoria para o meio ambiente conseguiu-se devido à maior área útil das mangas plissadas e pela filtração superficial com membrana de teflon, obtendo por conseqüente maior eficiência de captação de particulados de chumbo.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Filtração de particulados.	18
Figura 2 - Sistema de filtração de particulados.	19
Figura 3 - (a) Não-tecido; (b) Tecido.	20
Figura 4 - Fluxo de ar comprimido no interior do venturi.	21
Figura 5 - (a) Manga filtrante; (b) Fluxos de filtragem do ar e limpeza da manga.	22
Figura 6 - Medida da pressão diferencial no filtro.	23
Figura 7 - Processo Spunbonded.	26
Figura 8 - (a) Filtro convencional; (b) Filtro plissado.	27
Figura 9 - Eficiência da manga plissada com membrana x manga convencional.	28
Figura 10 - Filtro danificado.	29
Figura 11 - Mangas saturadas e choque com estrutura metálica.	30
Figura 12 - Amostra com estrutura têxtil entupida.	31
Figura 13 - (a) Fixação Top Loader; (b) Colocação de mangas plissadas no filtro. ...	33
Figura 14 - (a) Tela interna e Cinta externa; (b) Gaiolas oxidadas retiradas do filtro.	34
Figura 15 - Mangas plissadas no filtro.	35
Figura 16 - MVP-2 Renner.	36
Figura 17 - (a) Sonda, Detector e Software; (b) Medição dos particulados.	37
Figura 18 - Controle de material particulado e chumbo em manga convencional.	39
Figura 19 - Controle de material particulado e chumbo em manga plissada.	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Limites de emissão para poluentes atmosféricos.....	15
Tabela 2 - Resultados laboratoriais das mangas retiradas do filtro.....	31
Tabela 3 - Variáveis e mudanças no projeto de conversão do filtro.....	32
Tabela 4 - Resultados comparativos entre manga convencional e plissada.....	38

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	12
CAPÍTULO I	14
1.1 O Desafio	14
1.2 Renner Têxtil.....	16
CAPÍTULO II	17
2.1 Tecnologia de Mangas Convencionais	17
2.1.1 Filtro.....	18
2.1.2 Não-Tecido	20
2.1.3 Mangas Filtrantes de Poliéster	21
2.1.4 Eficiência de Filtração.....	23
2.2 Tecnologia de Mangas Plissadas	24
2.2.1 Processo Spunbonded	24
2.2.2 Filtro.....	26
2.2.3 Eficiência de Filtração com Plissados.....	28
CAPÍTULO III	29
3.1 Retirada das Mangas Convencionais.....	29
3.2 Análise Laboratorial	30
3.3 Projeto de Conversão do Filtro	32
3.4 Montagem das Mangas Plissadas	33
CAPÍTULO IV	36
4.1 Materiais e Métodos.....	36
CAPÍTULO V	38
5.1 Resultados	38
CAPÍTULO VI	40
6.1 Conclusões	40
REFERÊNCIAS	42

INTRODUÇÃO

Os problemas que surgem com a poluição atmosférica variam conforme a indústria e a tecnologia utilizada em diferentes partes do mundo. Assim reduzir tal poluição requer adoção de equipamentos e estratégias próprias para fontes e tipos específicos de poluentes. A melhor tecnologia para o controle da poluição atmosférica é aquela que visa reduzir, coletar, capturar ou reter os poluentes previamente, antes que eles atinjam à atmosfera. O controle da eficiência operacional apresenta-se como um importante instrumento para o alcance destes objetivos. Na busca dessa eficiência, as empresas devem promover mudanças cuja amplitude obedeça às novas exigências ambientais para os mercados consumidores. Sendo assim, as organizações que não se enquadrarem ou não estiverem dispostas a melhorias contínuas de processos, certamente não sobreviverão aos novos tempos.

O chumbo existe na crosta terrestre em pequenas quantidades e está presente na forma de diversos compostos, nomeadamente na forma de acetato, cloreto, cromato, nitrato e óxido. Os efeitos produzidos pelo chumbo são independentes da via de exposição (inalação ou via oral) e correlacionam-se com os níveis sanguíneos. Em indústrias de chumbo a maior dificuldade e a minimização dos particulados de chumbo para o meio ambiente, visto que a legislação pertinente estabelece o limite máximo de emissão em 5 mg/Nm^3 e o total de material particulado em 50 mg/Nm^3 , gerados em processos de fusão secundária de chumbo.

Justifica-se que os estudos de limpeza de gases contendo chumbo é uma das maiores preocupações industriais, pois recebe atenção especial de pesquisadores e fabricantes de filtros. Estes buscam conhecer e melhorar o fenômeno da filtração destes particulados e, conseqüentemente, desenvolver meios filtrantes e mecanismos de limpeza mais eficientes.

Neste trabalho os filtros de mangas instalados em empresa de produção

de baterias, depois de decorrido algum tempo de uso das mangas filtrantes convencionais em poliéster, apresentavam alta emissão de particulados para a atmosfera. A Renner Têxtil, líder no mercado de filtração no Brasil, localizada em Cachoeirinha - Rio Grande do Sul desenvolveu projeto para esta unidade industrial, para melhorar o desempenho de captação de material particulado de chumbo, substituindo as mangas convencionais de não-tecidos de poliéster, por mangas plissadas de poliéster com membrana de teflon. O meio filtrante dos plissados é um não-tecido fabricado pelo processo *spunbonded*, onde as fibras são calandradas sob calor e pressão, garantindo não haver variação na permeabilidade, proporcionando maior eficiência de filtração, devido à maior área útil do elemento filtrante, cerca de duas vezes maiores que as mangas convencionais e pela filtração superficial da membrana de teflon.

O objetivo principal deste trabalho é demonstrar uma tecnologia mais limpa para o processo de filtração de particulados de chumbo, utilizando mangas plissadas. A alta performance da aplicação e a melhoria ambiental possibilitam a realização de estudos em outros setores industriais, com problema de alta emissão de particulados, a utilizarem a mesma tecnologia deste estudo.

CAPÍTULO I

Neste capítulo é referenciado o assunto problema em empresa de fabricação de baterias, a alta emissão de particulados de chumbo, e apresenta-se a Renner Têxtil, empresa com tecnologia de filtração em não-tecidos plissados.

1.1 O Desafio

O chumbo tem alta toxicidade e uma tendência excepcional de se acumular no organismo humano. A presença natural do chumbo no meio ambiente não causa problemas à saúde, por se dar em pequenas concentrações. Entretanto, segundo Accioly e Siqueira, citado por Marques (2009, p.3), devido à ampla utilização nos processos industriais e conseqüente liberação para o ambiente, os níveis de chumbo no ar têm aumentado, tornando necessário o seu monitoramento.

Essas atividades industriais são freqüentemente realizadas em locais próximos a residências, aumentando os níveis ambientais de chumbo e expondo a população residente na vizinhança da fonte de emissão estacionária (FEE). Nestas condições Nainenti (2006, p.7), relata os que o chumbo é um dos principais agentes nocivos ao crescimento ósseo, especialmente nas crianças, que são mais sensíveis e vulneráveis aos efeitos do chumbo.

Segundo Research Triangle Institute, citado por Barros et al (2000, p.234):

No Homem, os principais efeitos resultantes da exposição crônica ao chumbo são os efeitos no sistema nervoso. Plúmbeo de 40 a 60 $\mu\text{g/dL}$ provoca sintomas neurológicos, enquanto valores de 30 a 40 $\mu\text{g/dL}$ são responsáveis por diminuição da condução dos impulsos nervosos em nível dos nervos periféricos. As crianças são particularmente sensíveis aos efeitos neurotóxicos do chumbo. Existe evidência de que níveis sanguíneos de 10 a 30 $\mu\text{g/dL}$ ou mesmo inferiores podem afetar o limiar da audição e o crescimento em crianças. A exposição crônica ao chumbo pode também ser responsável por efeitos no sangue, nomeadamente anemia, na pressão arterial, na função renal e por interferência no metabolismo da vitamina D.

O chumbo existe na crosta terrestre em pequenas quantidades e está presente na forma de diversos compostos, nomeadamente na forma de acetato, cloreto, cromato, nitrato e óxido (BARROS et al, 2000, p.233). Os efeitos produzidos pelo chumbo são independentes da via de exposição, inalação ou via oral, e correlacionam-se com os níveis sanguíneos (TOCCHETTO, 2005, p.53):

Os filtros de mangas de jato pulsante, instalados em empresa de produção de baterias em São Paulo, próxima a área residencial, apresentavam alta emissão de particulados depois de decorrido algum tempo de uso das mangas filtrantes convencionais em poliéster (RENNER TÊXTIL, 2007, p.5). Portanto, não alcançando a legislação pertinente no CONAMA nº 382 de 2006, que estabelece os limites máximos de emissão para poluentes atmosféricos gerados em processos de fusão secundária de chumbo, conforme a tabela 1 mostra.

Tabela 1 - Limites de emissão para poluentes atmosféricos.

Processos com chumbo	mg/Nm ³ (base seca, sem diluição)		
	M.P.	SO ₂	Pb
Recuperação de chumbo	50	500	5
Refino de chumbo	N.A.	N.A.	0,2
Produção de óxido de chumbo ou zarcão	N.A.	N.A.	5
Produção de grades para baterias	N.A.	N.A.	0,4
Linha de produção e montagem de baterias	N.A.	N.A.	1,0
Preparo de massa	N.A.	N.A.	1,0
Empastamento	N.A.	N.A.	1,0
Moinho de óxido	N.A.	N.A.	1,0
Produção de sais de chumbo	N.A.	N.A.	1,0
Soldas de chumbo	N.A.	N.A.	1,0
Banhos de chumbo	N.A.	N.A.	0,2

N.A : Não aplicável

Fonte: CONAMA, 2008, p.402.

No intuito de buscar soluções, a empresa paulista, por recomendação da CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, procurou parceria técnica junto à Renner Têxtil, líder no mercado de filtração de mangas filtrantes, para desenvolver estudos e melhorar a captação de particulados, perante o problema de alto nível de emissão de particulados de chumbo (RENNER TÊXTIL, 2007, p.6).

1.2 Renner Têxtil

A história da empresa Renner Têxtil Ltda inicia-se no ano de 1934 com a inauguração da fábrica de chapéus Renner Ltda. Já em 1937 teve início a fabricação de feltros técnicos para fins comerciais (RENNER TÊXTIL, 1999, p.3). Para sustentar o crescimento da produção e investir em tecnologia para atender melhor seus clientes e ao mercado consumidor a S.A Feltros Renner assinou contrato de transferência de tecnologia com a BWF Têxtil GMBH, empresa Alemã líder mundial no setor de filtração, iniciava-se a partir daí a produção de não-tecido (RENNER TÊXTIL, 2009). Em 2001 a empresa muda sua razão social para Renner Têxtil Ltda e em 2005 é certificada em seu sistema de Gestão da Qualidade no padrão ISO 9001:2000 (RENNER TÊXTIL, 2006, p.3).

A Renner Têxtil Ltda é uma empresa 100% brasileira, e apesar de estar, pelo processo de produção, inserida no setor têxtil, ela não é uma empresa têxtil no sentido tradicional, já que seus produtos destinam-se a diversos ramos da indústria, como por exemplo, a indústria siderúrgica, de alumínio, de cimento, química, de alimentos, calçadista, entre outros (RENNER TÊXTIL, 1999, p.2). A empresa possui três unidades de negócios: não-tecido, não-tecido impregnado e filtração. Produz aproximadamente 750 t/mês de não-tecido e 70.000 mangas filtrantes/mês (RENNER TÊXTIL, 2006, p.2).

Está instalada no distrito industrial de Cachoeirinha ocupando uma área de 30.000 m², onde ocupa 7.500 m² de área construída (RENNER TÊXTIL, 1999, p.3). Possui aproximadamente 300 funcionários, incluindo a nova fábrica instalada no estado da Bahia, com capacidade atual total de confecção de 10.000 mangas filtrantes por mês. A participação da empresa no mercado nacional em que atua é de 85% (RENNER TÊXTIL, 2006, p.2).

A Renner Têxtil produz não-tecidos agulhados para diversas aplicações de filtração, com a marca *Needlona*, especialmente desenvolvida para a filtração industrial. Possui tecnologia própria para a maioria dos processos, podendo utilizar mangas plissadas, proporcionando a conversão de filtros antigos, aumentando a capacidade e melhorando o desempenho de captação (RENNER TÊXTIL, 2006, p.3).

CAPÍTULO II

Neste capítulo dedica-se a mostrar de forma sucinta as tecnologias de filtração com não-tecidos, usando filtros de mangas convencionais e plissados.

2.1 Tecnologia de Mangas Convencionais

A melhor condição de operação de filtração de material particulado é a combinação entre a máxima eficiência de coleta e a mínima perda de carga (DIAS, 2008, p.34). Os tecidos utilizados nesses equipamentos são muito importantes para o desempenho dos filtros, uma vez que as propriedades do elemento coletor devem ser compatíveis com o gás e o pó coletado, de acordo com as suas características físicas, químicas e térmicas (CERON, 2009, p.40).

A eficiência de limpeza de um filtro de mangas é intimamente dependente do tipo de material e do processo de remoção adotado, que pode ser através de processo de vibração mecânica, fluxo de ar reverso ou de pulso de ar comprimido reverso (PACHECO, 2002, p.57).

A filtração é a passagem de um gás “sujo” por um meio filtrante, que separa as partículas da corrente gasosa, formando uma camada de pó sobre a sua superfície (TOMAZZONI, 2007, p.16). 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 (DIAS, 2008, p.34). Com o passar do tempo a espessura da torta vai aumentando, assim como a perda de carga no filtro, até alcançar um valor de 150 mmH₂O. Alcançado esse valor a torta de pó deve ser removida da superfície do não-tecido (PACHECO, 2002, p.58).

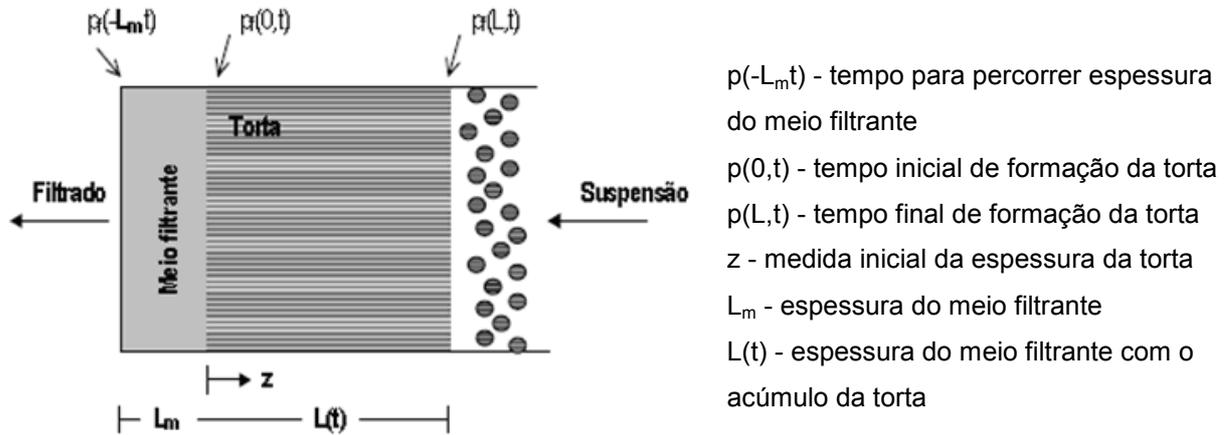


Figura 1 - Filtração de particulados.
 Fonte: DIAS (2008, p.34).

2.1.1 Filtro

Do latim *filtru*, o termo filtro significa feltro que é um elemento que deixa passar ou barrar determinado produto, elemento ou energia de acordo com o uso físico que se dá a este (TOMAZZONI, 2007, p.16). Em mecânica e hidráulica - um filtro é qualquer peça de material poroso (papel, cerâmica, tela, têxtil, etc), que tenha pequenos orifícios, através dos quais se faz passar um líquido ou gás (DICKENSON, 1994, p.18).

Os filtros de manga têm sido largamente utilizados no combate a poluição atmosférica causada pela dispersão de materiais particulados no ar e que se origina dos mais diversos processos industriais e de extração, tais como: mineração de carvão natural, cimenteiras, indústrias cerâmicas e indústrias de transformação química (RENNER TÊXTIL, 2006, p.4). Os principais motivos da larga utilização desse tipo de equipamento são o custo relativamente baixo de implantação, sua facilidade de operação e sua alta eficiência na remoção, para uma ampla faixa granulométrica de materiais particulados (PACHECO, 2002, p.58).

Segundo a Renner Têxtil (2000, p.27), o princípio de funcionamento de um sistema de filtração, o gás carregado de impurezas entra no filtro pela moega inferior, onde o particulado menos denso é carregado junto com o gás para a parte intermediária do filtro, sendo forçado a passar através das mangas, onde todo o particulado é coletado. O gás limpo é então conduzido ao plenum superior do filtro (figura 2) e em seguida ao exaustor. O processo de limpeza das mangas é feito automaticamente através de pulsos de ar comprimido, controlados por um

programador. O ar comprimido é armazenado em um reservatório localizado ao lado do compartimento superior do filtro. Acima de cada carreira de manga há um tubo com furos alinhados ao centro dos mesmos, por onde é injetado o ar comprimido. Este tubo é ligado ao reservatório através de uma válvula diafragma comandado por solenóide, que aciona a limpeza de uma carreira de manga.

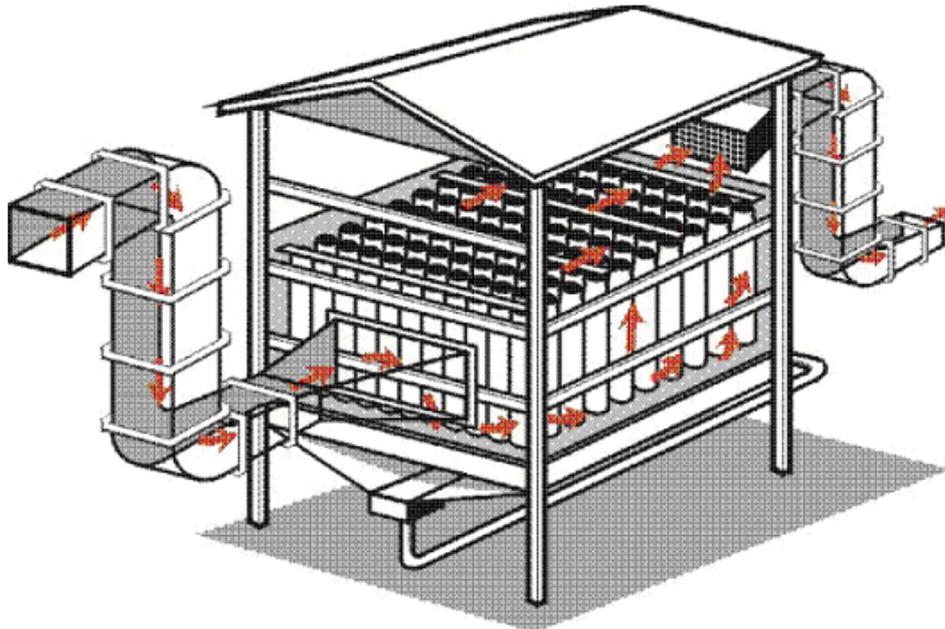


Figura 2 - Sistema de filtração de particulados.
Fonte: RENNER TÊXTIL (2000, p.27).

O projeto do filtro deve incluir como base os dados de vazão, pressão, temperatura e composição dos gases, além de quantidade e composição do pó (TOMAZZONI, 2007, p.28). O tamanho da manga é determinado pela área requerida para filtrar os gases, a qual é função da velocidade de filtração escolhida (RENNER TÊXTIL 2000, p.27). Embora altas velocidades estejam associadas a altas perdas de cargas no filtro, elas também aumentam a área requerida. A velocidade dos gases irá depender do método de limpeza, do material das mangas e das características das partículas (PACHECO, 2005, p.46). Em geral, para filtro com fios tecidos a velocidade de filtração dos gases é de 0,45 a 0,90 m/min e para os não-tecidos pode chegar de 1,1 a 4,5 m/min (RENNER TÊXTIL, 2000, p.28).

A deterioração dos filtros pode ocorrer devido a excesso térmico, stress mecânico provocado por repetidas flexões, hidrólise, ataques químicos e abrasão (TOMAZZONI, 2007, p.37).

2.1.2 Não-Tecido

Segundo Pereira, citado por Ceron (2008, p.27), o não-tecido é uma estrutura plana, flexível e porosa, constituída de véu ou manta de fibras ou filamentos, orientados direcionalmente ao acaso. Moroni, citado por Ceron (2008, p.27), considera o não-tecido (figura 3a) como um têxtil produzido sem um entrelaçamento ordenado e homogêneo dos fios, tendo uma distribuição aleatória das fibras. Diferente de um tecido (figura 3b) em que o conjunto de fios é formado por ângulo próximo de 90°, em forma de lâmina flexível.

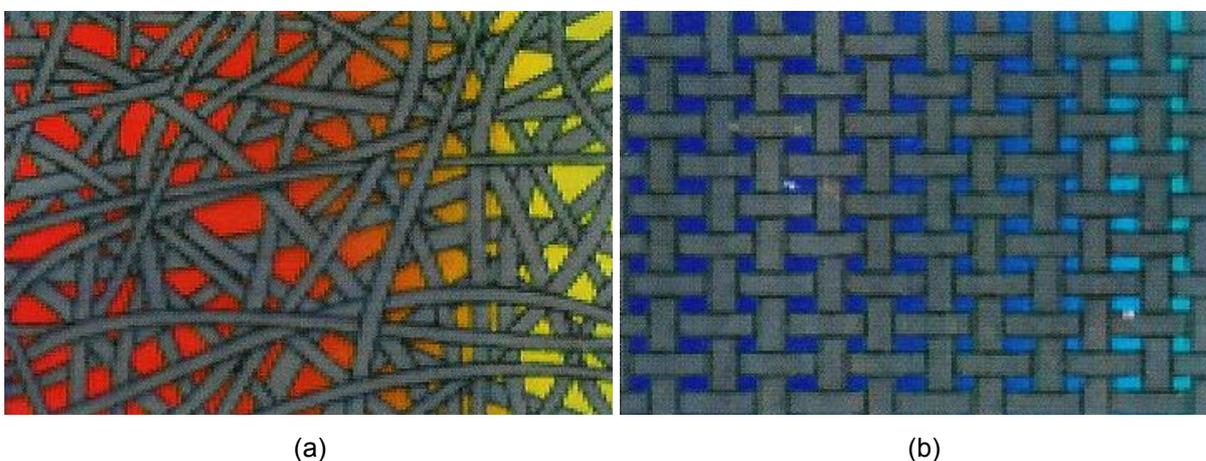


Figura 3 - (a) Não-tecido; (b) Tecido.
Fonte: CERON (2008, p.27).

A eficiência de filtração inicial de um não-tecido trançado é menor para particulados menores de 10 μm , pois o processo de filtração é realizado em profundidade, dentro do meio filtrante, oferecendo resistência somente aos particulados maiores (WIMMER, 1999, p.27). Após se iniciar a formação da torta, esta colabora para a filtração dos finos, uma vez que passa a fazer parte do filtro. Porém, a espessura da torta cresce gradativamente e, conseqüentemente, vai aumentando a perda de carga no filtro, tornando-se necessário efetuar uma limpeza periódica do mesmo, para remover a torta, e manter assim o filtro em condições novamente favoráveis de operação (DIAS, 2008, p.35).

Os processos de fabricação dos não-tecidos são mais rápidos e menos trabalhosos do que para os tecidos, pois a fibra é convertida diretamente na manta, não sendo necessária a construção do fio (REWALD, 2006, p.11).

2.1.3 Mangas Filtrantes de Poliéster

O têxtil utilizado na confecção de mangas filtrantes para a filtração de chumbo, normalmente é o poliéster, que possui boa performance de configuração para a filtração utilizando-se gaiolas com longarinas (RENNER TÊXTIL, 2007, p.7). Este não-tecido de poliéster é produzido pelo processo de agulhagem, termofixação, calandragem e chamuscagem (RENNER TÊXTIL, 1997, p.4).

O poliéster é a fibra de utilização mais extensa em filtração via seca, devido ao seu baixo custo e ser resistente mecanicamente, pois possuem alta elasticidade e são excelentes pela ótima estabilidade dimensional (RENNER TÊXTIL, 1997, p.4). Sua temperatura máxima de trabalho contínuo é de 150°C. Fraca resistência aos ácidos e álcalis.. Possui uma razoável resistência a agentes oxidantes e a solventes orgânicos. Absorve de 3 a 5% de umidade e termofixa a 190-200°C (CERON, 2009, p.41).

Embora a absorção seja baixa acima de 75°C, o grande inimigo desta fibra é a umidade, pois sofre hidrólise, apresentando furos e rasgos em menos de 6 meses de operação sob 10% de água (em volume) a 140°C (CERON, 2009, p.41). Este efeito químico-mecânico se traduz em uma perda total das propriedades mecânicas do têxtil.

A limpeza das mangas consiste na injeção de ar comprimido, de forma contínua e automática, através de aceleradores do tipo venturi, montados no plenum superior do filtro, um para cada manga, conforme mostra a figura 4 (TOMAZZONI, 2007, p.22).

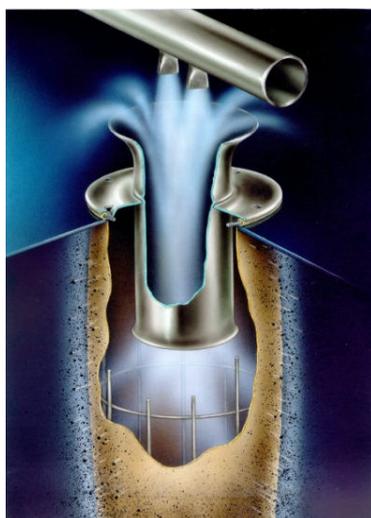


Figura 4 - Fluxo de ar comprimido no interior do venturi.
Fonte: TOMAZZONI (2007, p.22).

O ar comprimido nos venturis induz uma grande quantidade de ar secundário, criando uma onda de choque, com respectivo movimento simétrico no tecido filtrante, limpando a manga e deslocando as partículas para a moega de retenção, conforme mostra a figura 5 (AR AMBIENTAL, 2004, p.2). O tempo de injeção do ar comprimido em cada fila de mangas, assim como a intermitência, ou seja, o período decorrido entre a limpeza de uma fila e a subsequente é comandado por temporizador eletrônico de circuitos integrados (RENNER TÊXTIL, 2006, p.7).

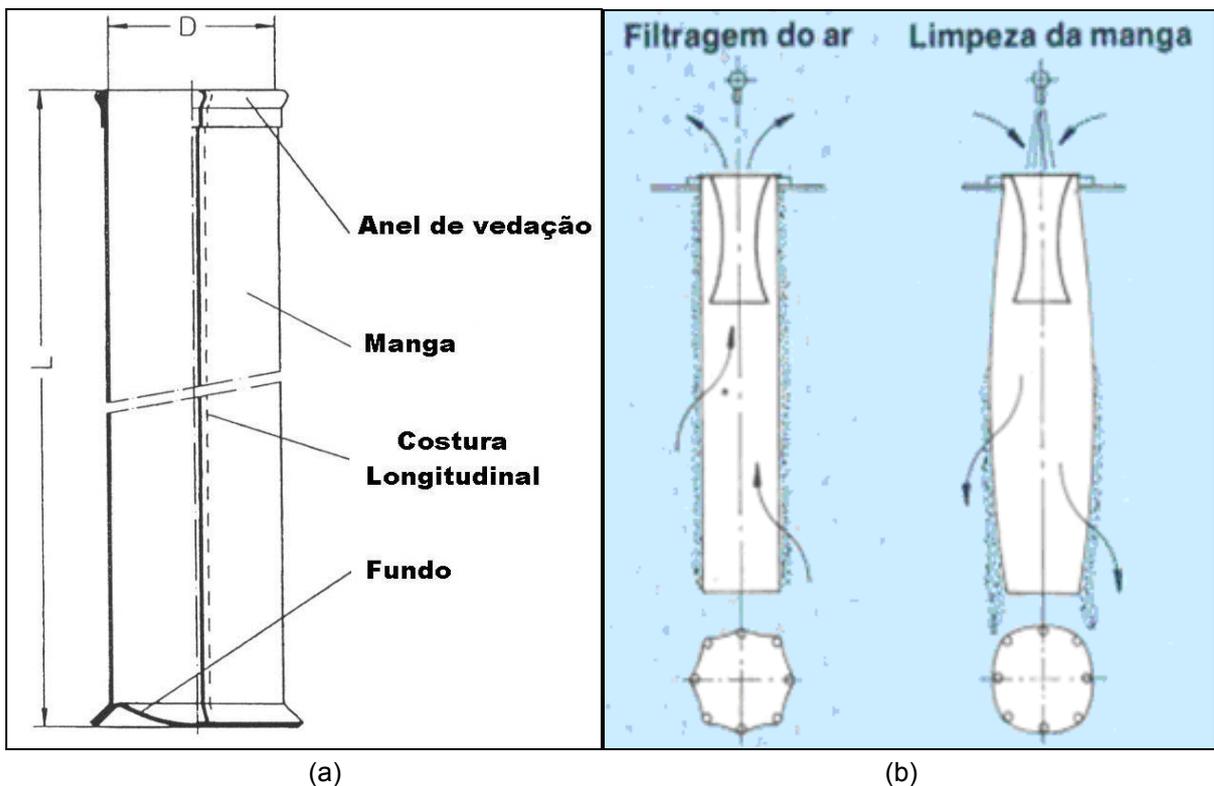


Figura 5 - (a) Manga filtrante; (b) Fluxos de filtragem do ar e limpeza da manga.
 Fonte: AR AMBIENTAL (2004, p.2).

Segundo Duo, citado por Teixeira et al (2005, p.2), pouco se conhece sobre a regeneração de um meio filtrante, ainda não é claro, se a posição das áreas regeneradas na superfície do mesmo muda com o passar dos ciclos de filtração e limpeza, ou se o meio filtrante é sempre regenerado na mesma posição.

Dittler e Kasper, citado por Teixeira et al (2005, p.2), realizaram experimentos de filtração com um sistema óptico de medidas e determinaram a frequência local de regeneração. Eles concluíram que algumas áreas tendem a ser regeneradas com mais frequência que outras, e a espessura da torta de filtração formada aumentam nas áreas que não são regeneradas frequentemente. Os autores

concluíram ainda, que o comportamento da filtração é bastante influenciado quando não há a completa regeneração do filtro, ou seja, quando ocorre o fenômeno Patchy Cleaning, ou limpeza por blocos.

Segundo KOCH et al (1996, p.22), a queda de pressão residual aumenta por um período de tempo de limpeza, que pode durar dezenas de ciclos de filtração, conhecida como período de condicionamento. Em casos extremos, o equilíbrio pode não ser estabelecido. A perda de carga usual para filtros de não-tecidos é de 100 a 250 mmCA, conforme mostrado o sistema de medição na figura 6.

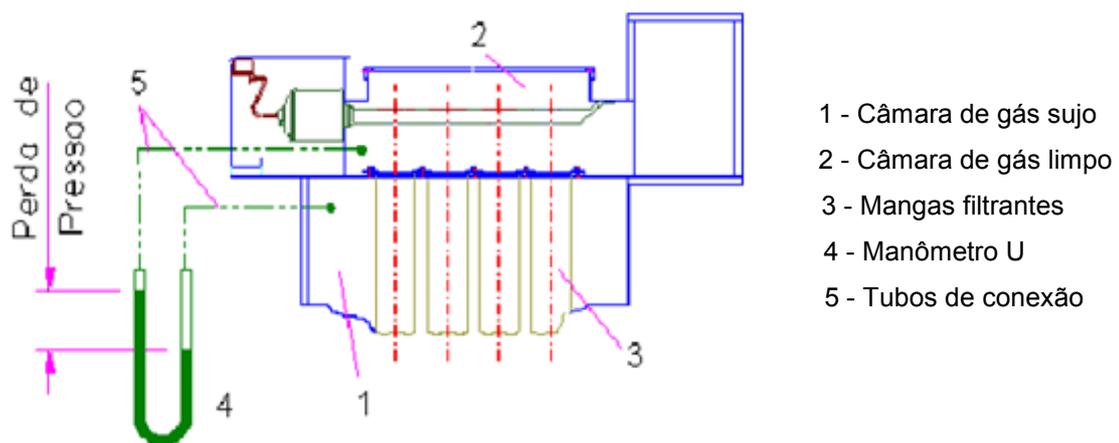


Figura 6 - Medida da pressão diferencial no filtro.
Fonte: INTENSIV (2006, p.28).

2.1.4 Eficiência de Filtração

A eficiência de filtração é definida como a capacidade que o meio de filtração apresenta de reter as partículas de interesse (BARNETT, 2002, p.28). Segundo Innocentini, citado por Tanabe (2008, p.33), a eficiência de filtração também pode ser determinada através da permeabilidade, que representa a quantidade de partículas que transpassaram a superfície do meio de filtração, ou seja, não foram retidas. Para tanto se tem a seguinte equação:

$$FE = 1 - p \quad (1)$$

Onde FE é a eficiência de filtração (*filtration efficiency*) e p é a permeabilidade.

A eficiência de filtração está fortemente relacionada com a porosidade do meio filtrante e o tamanho dos poros do particulado (POWELL, 1998, p.134).

2.2 Tecnologia de Mangas Plissadas

Segundo Ceron (2010, p.38), o processo utilizado na fabricação de plissados é por filamentos contínuos de poliéster capazes de conferir boa resistência mecânica em todas as direções do não-tecido. Garantindo não haver variação na permeabilidade, proporcionando maior eficiência de filtração e elevada estabilidade.

2.2.1 Processo Spunbonded

Segundo Viana e Rocha (2009, p.39) a fabricação do não-tecido pelo processo *Spunbonded* é composta por dez etapas distintas: alimentação, extrusão e fiação, resfriamento e estiragem, formação da manta, consolidação, aplicação de solução hidrofílica, secagem, bobinagem, corte e embalagem, descritas abaixo:

- Alimentação – a etapa de alimentação é onde ocorre o início do processo de produção do não-tecido. Esta etapa é caracterizada pela dosagem na extrusora de grãos de poliéster e aditivos que conferem a cor do não-tecido. O não-tecido pode ser produzido em até vinte e oito tipos de cores.
- Extrusão e fiação – nesta etapa os grãos de poliéster e os aditivos são fundidos, através da extrusora, que funciona como um misturador aquecido a uma temperatura média de 220°C. Este aquecimento se dá através das resistências elétricas que se encontram ao longo do canhão da extrusora. Nesta etapa ocorre também a reciclagem do material que foi destinado para resíduo no setor do corte. O material classificado como resíduo constitui os não-tecidos que não atendem às especificações dos clientes. A massa fundida gerada na extrusora é enviada para as matrizes na sala de fiação, através das bombas de polímero, e, após a passagem nas matrizes, ganha a forma de filamentos.
- Resfriamento e estiragem – na sala de fiação, os filamentos de polipropileno e dos aditivos são resfriados logo após a saída das matrizes e são succionados por bicos de estiragem, que direcionam os filamentos para as aletas do sistema de distribuição.
- Formação da manta – os filamentos já estirados são “espalhados” de forma desordenada na esteira através das aletas que compõem o sistema de

distribuição. Desta forma, os filamentos são depositados sobre a esteira para que se forme uma manta de filamentos. A manta do não-tecido poderá atingir uma largura de quatro metros e meio.

- Consolidação – esta etapa é onde ocorre a calandragem dos filamentos da manta, fazendo com que de fato o produto passe a ser um não-tecido. A consolidação dos filamentos se dá por meio da passagem da manta entre dois rolos de uma calandra, um processo que envolve pressão e temperatura entre rolos, que são aquecidos por óleo térmico a uma temperatura média de 155°C.
- Aplicação de solução hidrofílica – após o processo de consolidação, a manta do não-tecido poderá receber a aplicação de uma solução hidrofílica que irá proporcionar ao não-tecido a característica de absorção à água. Esta aplicação não é realizada em todos os não-tecidos, pois para algumas aplicações o mesmo deverá ter características hidrofóbicas.
- Secagem – após a aplicação da solução que irá conferir ao não-tecido características hidrofílicas, o não-tecido que se encontra molhado deverá ser secado. Isto ocorre durante a passagem do não-tecido em secador convectivo Rama, equipamento que utiliza ar quente para realizar a secagem da manta.
- Bobinagem – realizada ou não a secagem da manta, esta segue para bobinagem do não-tecido na enroladora em grandes eixos com capacidade de sete toneladas. A manta de não-tecido bobinada nestes grandes eixos recebe o nome de rolo jumbo.
- Corte – após conclusão da bobinagem do rolo jumbo na enroladora, o mesmo segue para o setor do corte. Este setor é responsável pelo desbobinamento do rolo jumbo e corte da manta do não-tecido em larguras e metragens lineares requeridas pelos clientes. A largura mínima de corte é de oitenta milímetros, já a máxima, pode atingir quatro mil e duzentos milímetros. A metragem linear poderá ser de cinquenta a dez mil metros lineares por bobina.
- Embalagem – realizado o desbobinamento e o corte da manta do não-tecido e transformação em bobinas, o material segue para etapa final do processo, a pesagem, embalagem e identificação das bobinas na máquina de embalagem. Após esta etapa o material segue para o estoque.

No processo *Spunbonded* de fabricação do não-tecido, o poliéster é fundido através de uma fieira, resfriado e estirado, e posteriormente é depositado sobre uma esteira em forma de véu ou manta (figura 7). A característica principal deste processo é a fiação contínua dos filamentos que formam a manta. Este processo é classificado como de via fundida, através da extrusão do polímero, obtendo produtos padronizados (MORONI, 2005, p.7).

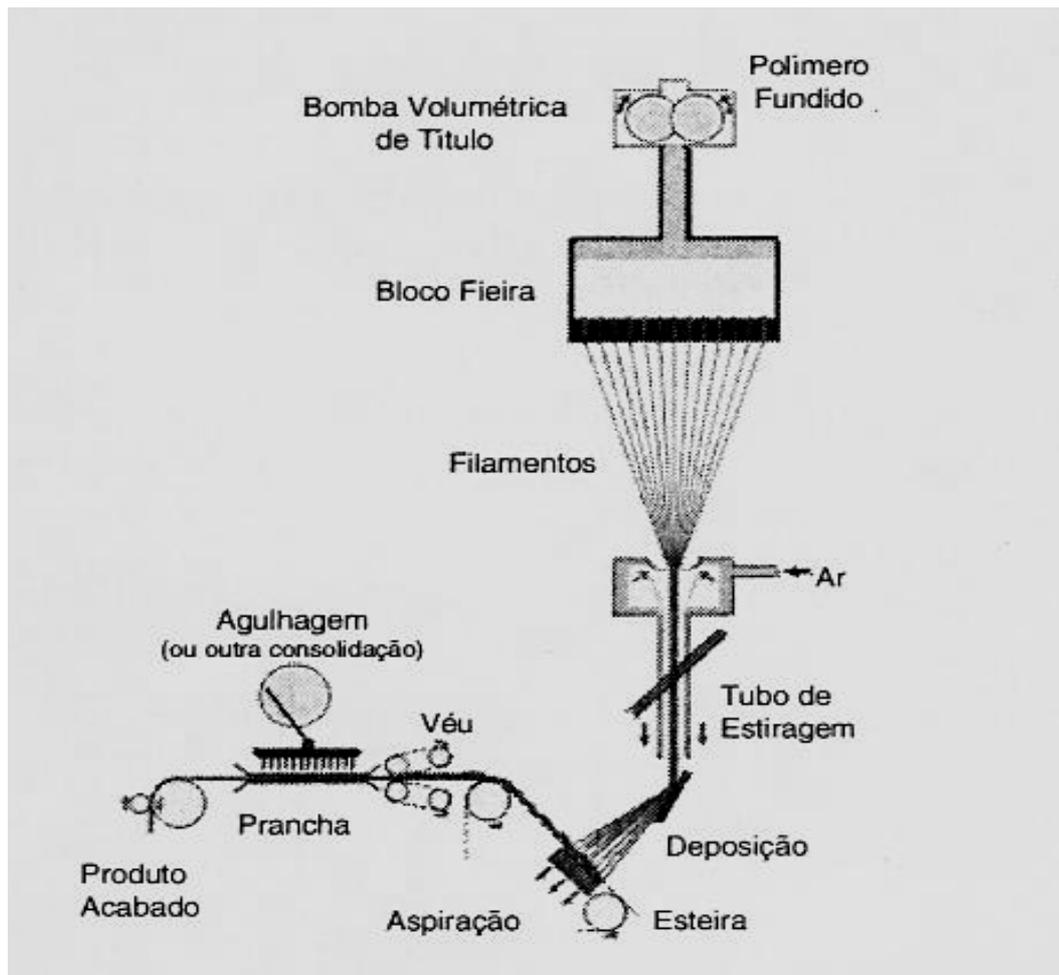


Figura 7 - Processo Spunbonded.
Fonte: MORONI (2005, p.7).

2.2.2 Filtro

A utilização de mangas plissadas pode ser com mangas mais curtas, o que cria uma câmara abaixo das mangas, ocorrendo uma melhor distribuição das velocidades dos gases (RENNER, 2000, p.74). Esta melhor distribuição e por conta da câmara abaixo das mangas, reduzirá as velocidades ascendentes dentro do filtro,

e por conta disto permitirá que boa parte do pó já precipite na moega, reduzindo a carga de pó que vai para as mangas (RENNER, 2000, p.75). Na figura 8, dentro do filtro, está indicada a tendência do tamanho de mangas filtrantes e o perfil de velocidade ascendente dos gases nas duas condições, com mangas convencionais e plissadas (CERON, 2010, p.39).

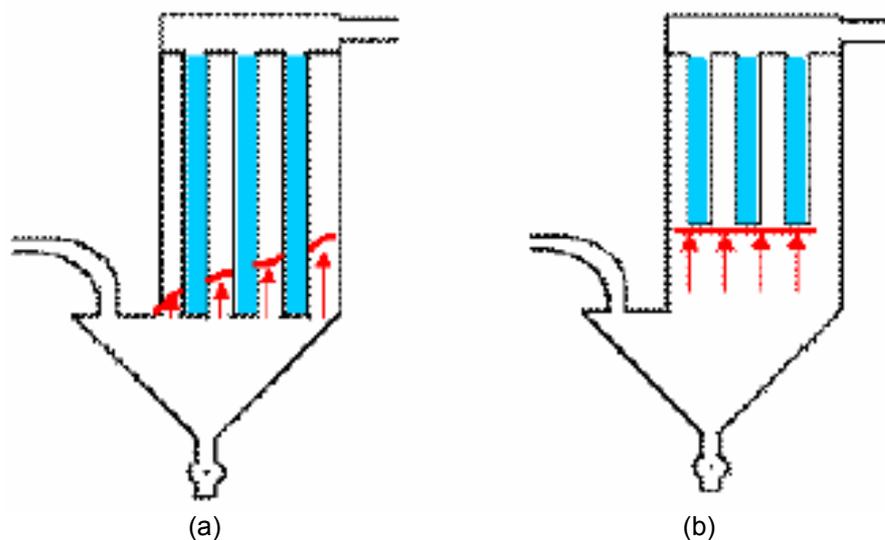


Figura 8 - (a) Filtro convencional; (b) Filtro plissado.
Fonte: CERON (2010, p.39).

Por conta da melhora da distribuição, ocorrerá uma maior precipitação de parte do pó na moega e só parte do pó seguirá junto com os gases para as mangas, o que por consequência vai melhorar a perda de carga do filtro (diminui). Disponibilizando uma maior vazão do exaustor, o que poderá possibilitar num ganho de produção, curva de ventilador de vazão x perda de carga (CERON, 2010, p.39).

No filtro de mangas convencional a pressão do ar comprimido deve ficar em torno de 6,0 bares e o tempo de permanência de abertura das válvulas solenóides deve ser entre 14 a 16 milisegundos. Já no filtro com mangas plissadas, a pressão do ar comprimido deve ficar em torno de 4,0 bares e o tempo de permanência de abertura das válvulas deve ficar entre 18 a 20 milisegundos (CERON, 2010, p.40).

O intervalo de batimento entre válvulas num filtro de mangas convencional deve ficar em média em torno de 15 segundos. Um filtro com mangas plissadas deve ficar em torno de 35 a 45 segundos (RENNER, 2000, p.74).

2.2.3 Eficiência de Filtração com Plissados

O espaçamento maior entre as dobras plissadas garante um excelente desprendimento do pó durante o ciclo de limpeza, melhorando o desempenho do processo de filtração. Isso ocorre devido o aumento da área filtrante, reduzindo a relação ar-pano, ou seja, diminui a velocidade de filtração (RENNER, 2000, p.73).

Nos casos onde a filtração por mangas convencionais de poliéster não alcança valores adequados para remoção de partículas submicrômicas é recomendável o uso de plissados de poliéster com membranas de teflon, que tornam o processo exclusivamente uma filtração superficial (CERON, 2010, p.39). A membrana mantém o pó abrasivo fora do material suporte. O suporte da manga é projetado para durar mais, pois a membrana é quem faz a filtração (BWF, 2007, p.5).

As membranas de recobrimento em plissados comumente utilizadas são as de politetrafluoretileno (PTFE), que exibem boa liberação da torta, baixa perda de carga, vida útil elevada e menor custo. Este tipo de recobrimento melhora a eficiência, minimizam a penetração de partículas no não-tecido, impedindo que muitas partículas se acomodem no interior do meio filtrante (WIMMER, 1999, p.26).

Segundo a BWF (2007, p.5), o poliéster plissado com PTFE assegura a retenção de 100% dos particulados extremamente finos, a partir de 0,7 μm de diâmetro da partícula (figura 9). A excelente qualidade de filtração é conseguida devido ao bom desprendimento do pó, com menor esforço e desgaste do elemento filtrante.

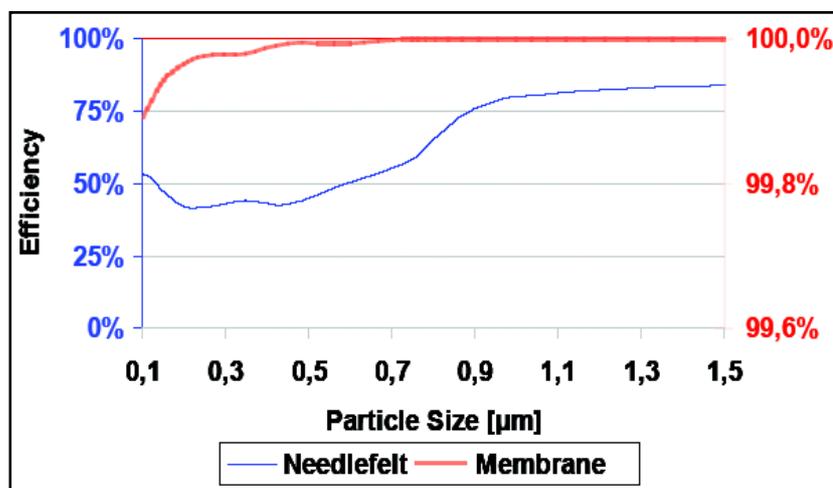


Figura 9 - Eficiência da manga plissada com membrana x manga convencional.
Fonte: BWF (2007, p.5).

CAPÍTULO III

Este capítulo é dedicado a mostrar as condições operacionais do filtro, após 12 meses de uso com mangas convencionais de poliéster e a análise laboratorial realizada nas mesmas. Logo após, é demonstrado o projeto de conversão do filtro e a colocação das mangas plissadas de poliéster com PTFE no filtro da empresa. As informações foram retiradas do projeto de engenharia de plissados para indústria de chumbo (RENNER TÊXTIL, 2007), desenvolvido pela minha responsabilidade técnica pela Renner Têxtil.

3.1 Retirada das Mangas Convencionais

Devido à grande acidez e umidade presentes no sistema de filtração, vários equipamentos foram afetados com apenas 12 meses de uso de mangas convencionais de poliéster. Tubos sopradores rompidos e oxidação na chapa metálica foram os maiores problemas na parte construtiva do filtro, nas diversas câmaras do filtro, mostrados na figura 10.



Figura 10 - Filtro danificado.
Fonte: RENNER TÊXTIL (2007, p.63).

Quando da retirada das mangas de poliéster do filtro, constatou-se que estavam muito próximas uma das outras. Pois ocorreu o efeito pendular das mangas e o abalroamento com as laterais do filtro, perdendo a eficiência de filtração, devido à abrasão e rasgos das mangas (figura 11). Este fato é devido à entrada de ar comprimido não centrado pelo venturi. Ocorreu de forma angular, com choque nas laterais das mangas, causando o pêndulo das mangas. Constatou-se que as mangas estavam saturadas, com grande acúmulo de particulados no fundo da manga.



Figura 11 - Mangas saturadas e choque com estrutura metálica.
Fonte: RENNER TÊXTIL (2007, p.65).

3.2 Análise Laboratorial

Os elementos filtrantes de poliéster retirados do filtro foram analisados no laboratório têxtil da Renner Têxtil, pela engenharia técnica de aplicação, com a minha participação direta. Foram utilizados os seguintes equipamentos laboratoriais nesta análise: balança analítica, espessímetro, permeabilímetro e dinamômetro.

Os resultados e conclusões da análise foram apresentados em laudo técnico 1952, dentro do projeto, conforme mostra a tabela 2.

Tabela 2 - Resultados laboratoriais das mangas retiradas do filtro.

Análise	Norma	Resultado	Padrão Renner
Gramatura	NBR 12984	1.153	500
Espessura	NBR 13371	2,2	1,8
Permeabilidade	NBR 13706	15	200
Tração (Longitudinal)	NBR 13041	54	170
Tração (Transversal)	NBR 13041	35	130
Alongamento (Longitudinal)	NBR 13041	6	17
Alongamento (Transversal)	NBR 13041	8	20

Fonte: RENNER TÊXTIL, 2007, p.66.

As seguintes conclusões sobre os resultados de laboratório:

- Os elementos filtrantes estão irreversivelmente saturados, entupidos, com baixa permeabilidade ao ar, devido à elevada concentração de pó na face da amostra. O teste de permeabilidade, simulando a equivalência de limpeza no equipamento, confirmou que a amostra está sem condições de limpeza, devido ao excesso de particulados úmidos na estrutura têxtil do elemento filtrante. O teste de gramatura e espessura confirma a alta aglomeração de pó (figura 12);



Figura 12 - Amostra com estrutura têxtil entupida.

Fonte: RENNER TÊXTIL (2007, p.67).

- Os valores de tração e alongamento estão abaixo da especificação técnica recomendada para filtração de particulados.

3.3 Projeto de Conversão do Filtro

As conversões do filtro foram projetadas pela engenharia da Renner Têxtil, com minha participação efetiva. Foi realizada com o objetivo de maximizar a eficiência do equipamento, para satisfazer os requisitos de baixas emissões. As relações iniciais do projeto e as mudanças no filtro, colocando mangas plissadas de poliéster com PTFE, são mostradas na tabela 3.

Tabela 3 - Variáveis e mudanças no projeto de conversão do filtro.

Condições do equipamento	Convencional	Plissada
Volume de gás (m ³ /h)	3.534,20	3.534,20
Número de linhas	5	3
Número de colunas	7	7
Número de mangas	35	21
Diâmetro das mangas (mm)	165	150
Comprimento das mangas (mm)	3.800	2.000
Área filtrante da manga (m ²)	1,97	4,00
Relação ar/pano (m ³ /m ² .min)	0,85	0,70
Área filtrante do filtro (m ²)	69,30	84,15
Velocidade ascendente (m/s)	1,00	0,70

Fonte: RENNER TÊXTEL (2007, p.69).

A Renner Têxtil (2007, p.69), cita que através das mudanças no projeto das mangas filtrantes, conseguiu-se aprimorar de forma significativa as seguintes variáveis no filtro:

- O diâmetro e número de mangas plissadas foram diminuídos, devido à maior área filtrante entre as plissas. Assim aumentou-se a área filtrante do filtro, deixando-se duas linhas sem mangas filtrantes;
- O comprimento das mangas plissadas foi diminuído, por conseguinte a relação ar/pano e velocidade ascendente também diminuíram.

3.4 Montagem das Mangas Plissadas

As alterações no filtro ocorreram dentro da previsão inicial. Foram três dias de parada de produção na empresa, em abril de 2008, para realizar todas as etapas de manutenção e readaptação no filtro, para receber as mangas plissadas de poliéster com membrana de teflon. Foram utilizados três auxiliares de manutenção, funcionários da Renner Têxtil, mais a minha coordenação da equipe no filtro.

Por se tratar de montagem por cima, a Renner Têxtil desenvolveu uma ondulação no Top Loader de ajuste e aperto do colarinho (parte flexível que é montado no furo do espelho, antes da manga plissada ser colocada). Dificultando que o colarinho afrouxe, impedindo a emissão pela ação abrasiva do pó e pelo movimento pendular da manga (figura 13a). Normalmente recomendado para processos abrasivos de pós, com média granulometria, até temperatura de operação em 130°C. Este tipo de fixação e de fácil montagem e desmontagem (figura 13b), proporcionando ganhos de tempo de manutenção e produção.



Figura 13 - (a) Fixação Top Loader; (b) Colocação de mangas plissadas no filtro.
Fonte: RENNER TÊXTIL (2007, p.71).

A manga plissada tem uma estrutura interna em tela rígida e a colocação de uma cinta de fixação externa nos plissados, com a finalidade de dar estruturação para a manga, colada com resina especial e presa com rebite (figura 14a). Por conta disto dispensa a necessidade de utilização das gaiolas metálicas, utilizada para mangas convencionais. Portanto, o grande benefício é a minimização nos custos, pois gaiolas normalmente são trocadas a cada dois a três anos de uso, devido à oxidação das mesmas. As gaiolas oxidadas retiradas do filtro são mostradas na figura 14b, com apenas um ano de uso. Finalizando a montagem das mangas plissadas é mostrada a parte inferior das mangas, dentro do filtro, na figura 15.

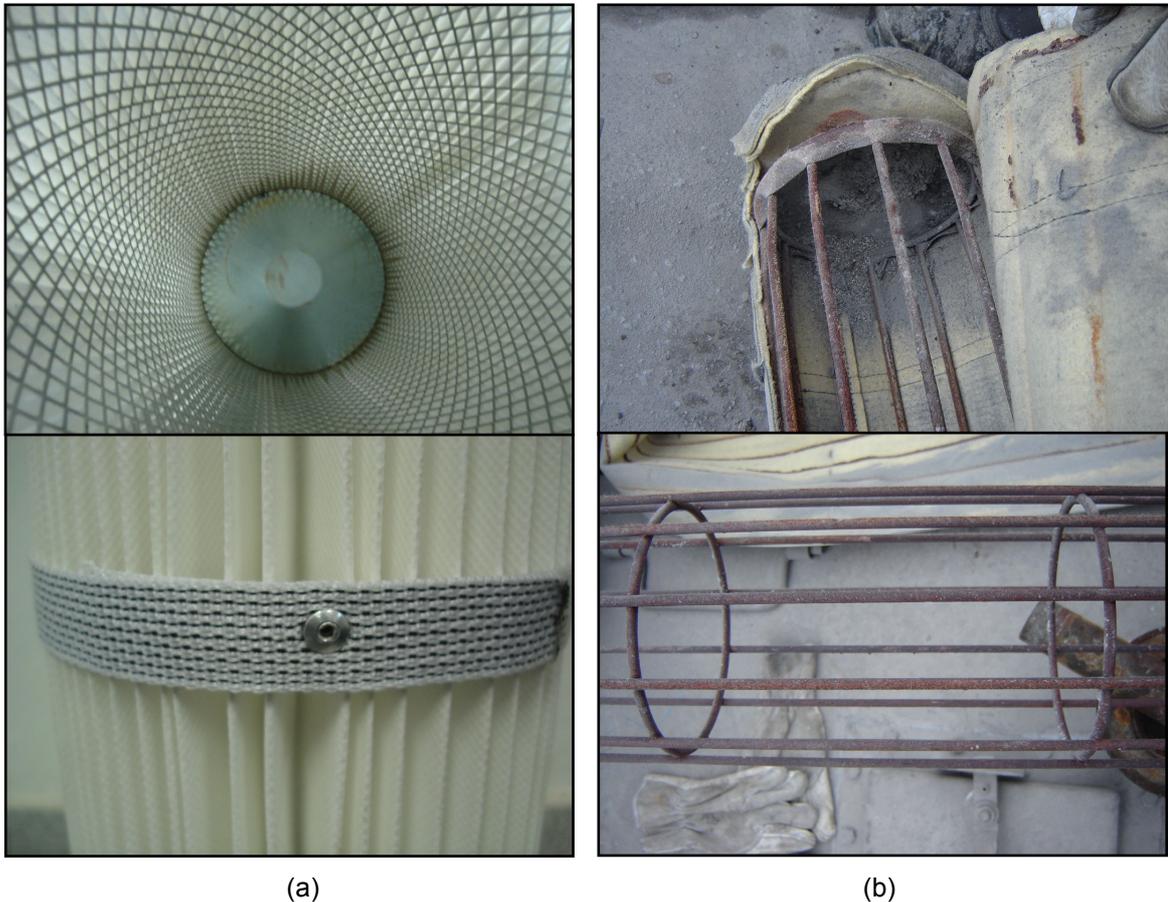


Figura 14 - (a) Tela interna e Cinta externa; (b) Gaiolas oxidadas retiradas do filtro.
Fonte: RENNER TÊXTIL (2007, p.72).

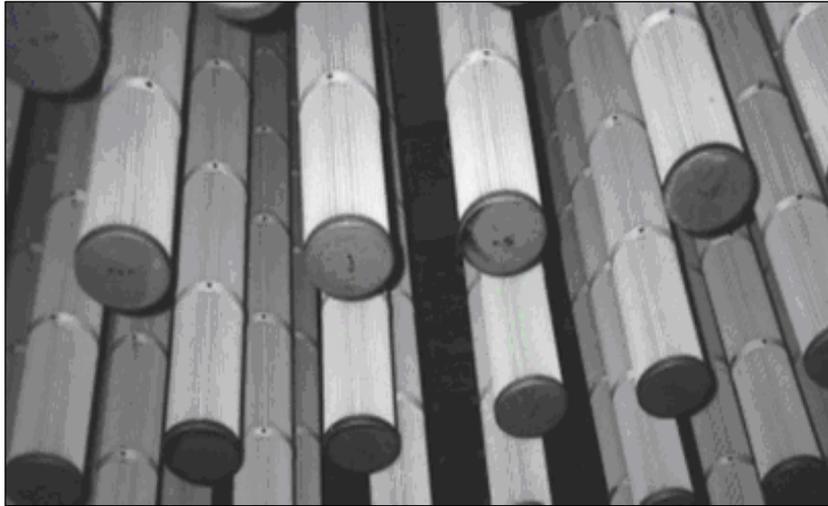


Figura 15 - Mangas plissadas no filtro.
Fonte: RENNER TÊXTIL (2007, p.74).

CAPÍTULO IV

Neste capítulo é relacionado os materiais e métodos desenvolvidos para acompanhar a performance do filtro, quanto as variáveis do processo e a quantificação das emissões de particulados.

4.1 Materiais e Métodos

Por ser um novo equipamento, conforme recomenda a legislação CONAMA nº 382 de 2006, os testes foram realizados nas condições plenas de carga no filtro.

O acompanhamento operacional ocorreu durante 24 meses, sendo 12 meses com mangas convencionais (maio de 2007 a abril de 2008) e posteriormente com mangas plissadas (abril 2008 a março 2009), pelo mesmo período de tempo, controlando as variáveis de material particulado e chumbo, ambos em mg/Nm^3 .

Para o controle de vazão, velocidade e pressão utilizou-se um medidor modelo MVP-2 Renner, com transmissão por sinal 4-20 mA, para monitoramento remoto, conforme mostra a figura 16.



Figura 16 - MVP-2 Renner.
Fonte: RENNER TÊXTIL (2006, p.8).

Os testes de amostragem de emissão foram coletados de forma direta em dutos de chaminé, de acordo com metodologia aceita pelo órgão ambiental licenciador, com utilização de sonda Renner modelo RP-04 e detector de pó Renner modelo GDM-01 (figura 17a), para monitorar o material particulado e o efeito triboelétrico, ajustado a isocinética.

O princípio de controle da sonda é pela geração de corrente elétrica, através do choque das partículas contra a haste (figura 17b). É ampliada por parametrização inicial, permitindo monitorar o controle de emissão em mg/Nm^3 de maneira contínua, por apresentação gráfica em computador. O software FSC monitora, via internet, todos os parâmetros da planta de filtração: válvulas, níveis de particulados, pressão e temperatura. Contém alarme de pico de emissão para economizador e identificação da fileira de manga com passagem de pó.

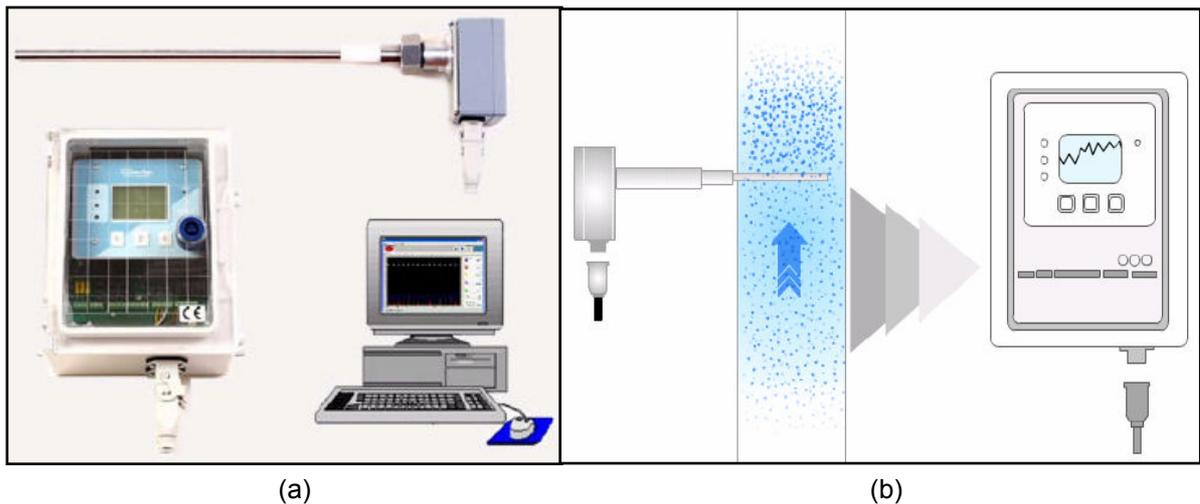


Figura 17 - (a) Sonda, Detector e Software; (b) Medição dos particulados.
Fonte: RENNER TÊXTIL (2006, p.6).

CAPÍTULO V

5.1 Resultados

Os acompanhamentos mensais em campo operacional no filtro, primeiro com mangas convencionais e após a mudança do projeto para mangas plissadas, tiveram seus valores monitorados para o teor de material particulado e chumbo em mg/Nm^3 , conforme é mostrado na tabela 4.

Tabela 4 - Resultados comparativos entre manga convencional e plissada.

Mês	Convencional mg/Nm^3		Plissada mg/Nm^3	
	M.P.	Pb	M.P.	Pb
1	5,12	2,35	2,03	0,03
2	6,15	3,45	2,22	0,02
3	7,58	4,22	2,50	0,04
4	9,54	4,56	2,43	0,03
5	14,65	4,89	2,35	0,05
6	24,78	6,12	2,12	0,04
7	28,93	7,63	3,11	0,07
8	35,85	7,72	2,85	0,10
9	39,11	9,12	3,19	0,09
10	60,35	10,22	3,45	0,12
11	69,22	12,34	4,12	0,13
12	79,36	14,68	4,27	0,15

Fonte: RENNER TÊXTIL (2007, p.80).

A apresentação dos resultados na tabela 4 é mostrada em forma de gráficos. Para a manga convencional (figura 18), com a faixa limite de uso para cada controle em vermelho, quando atinge à emissão máxima permitida pela legislação CONAMA nº 382/2006. Para a manga plissada (figura 19) com a tendência de durabilidade pela equação polinomial da curva, pois ainda esta em uso na empresa.

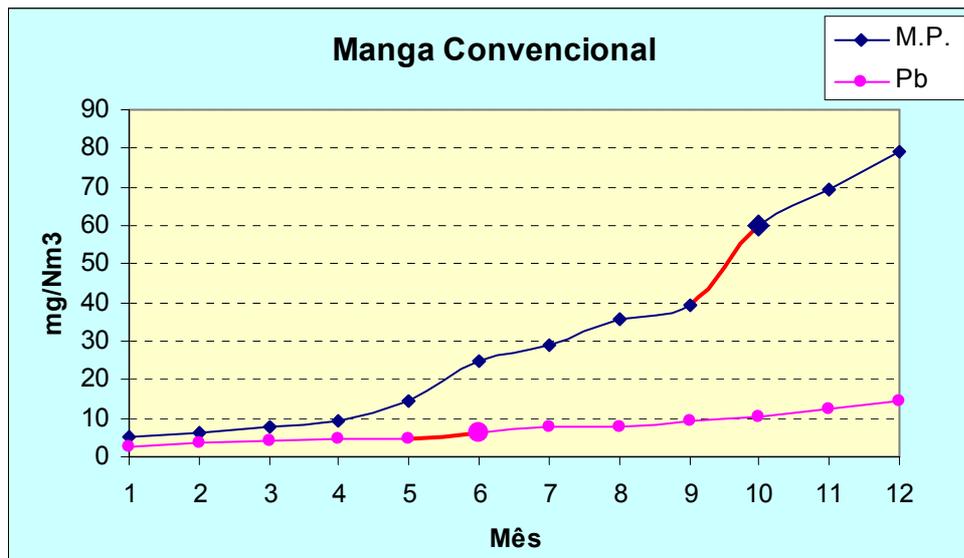


Figura 18 - Controle de material particulado (M.P.) e chumbo (Pb) em manga convencional.

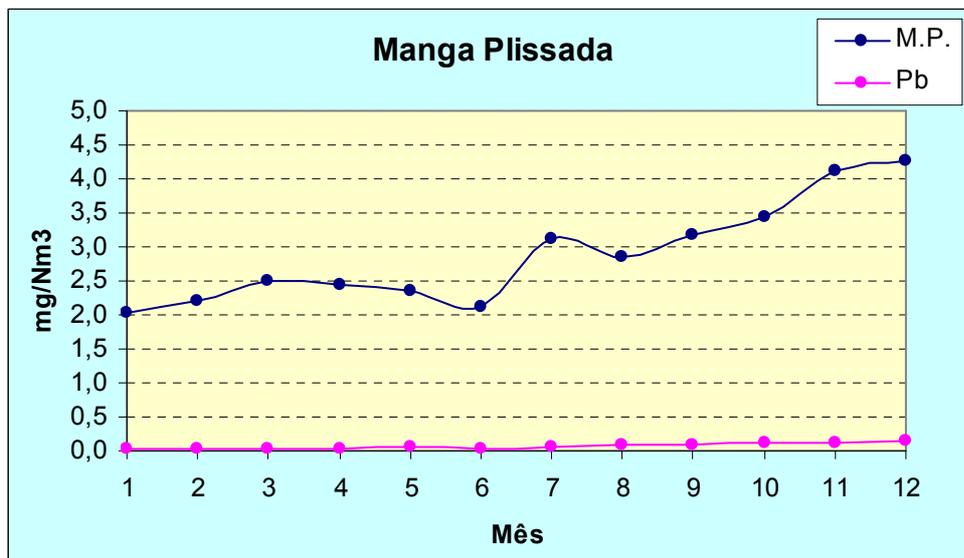


Figura 19 - Controle de material particulado (M.P.) e chumbo (Pb) em manga plissada.

Onde na curva de M.P. (figura 19) a equação é $y = 0,0204 x^2 - 0,0736 x + 2,2618$ ($R^2 = 0,9166$) e para a curva de Pb (figura 19) a equação é $y = 0,0009 x^2 + 0,0001 x + 0,0234$ ($R^2 = 0,9563$).

CAPÍTULO VI

6.1 Conclusões

Os resultados mostram que as emissões de material particulado e de chumbo foram controladas com manga plissada durante os 12 meses de avaliação, com valores abaixo do que a legislação recomenda. Portanto, a conversão foi uma solução sob medida, economicamente viável, evitando a compra de um novo equipamento.

O tempo de vida útil para a manga convencional ficou limitado em 6 meses de uso, devido a emissão de chumbo atingir $6,12 \text{ mg/Nm}^3$, ultrapassando o limite recomendado pelo CONAMA nº 382 em 5 mg/Nm^3 . Pelo material particulado o tempo chegou em 10 meses de uso, até atingir uma emissão de $60,35 \text{ mg/Nm}^3$, que ultrapassou aos 50 mg/Nm^3 recomendados pela legislação.

A estimativa de durabilidade para a manga plissada condicionada pela emissão de material particulado, usando a equação da curva ($y = 0,0204 x^2 - 0,0736 x + 2,2618$) atingirá $51,57 \text{ mg/Nm}^3$ com 51 meses, aproximadamente 4 anos de uso. Pois a estimativa para o chumbo, pela equação ($y = 0,0009 x^2 + 0,0001 x + 0,0234$) o tempo estimado é superior ao de particulados, chegando a 75 meses de uso até atingir a emissão de $5,09 \text{ mg/Nm}^3$. Portanto, a vida útil da manga plissada é estimada em 4 anos de uso para esta aplicação de chumbo, controlada pela emissão de material particulado.

A utilização de manga plissada inverteu a tendência da variável de controle no filtro, pois com manga convencional o limitante de emissão é o chumbo, ao passo que com manga plissada o limitador passou a ser o material particulado.

Pode-se concluir que é perfeitamente possível ajustar a utilização da mesma tecnologia de plissados, para a maioria dos processos industriais que utilizam filtros de mangas. Recomenda-se utilizar mangas plissadas para a

conversão de filtros antigos, melhorando a sua performance com o aumento da capacidade de filtração, conseqüentemente aumentando o desempenho de produção, devido à diminuição do tempo de paradas de produção.

A vasta gama de tipos de agressões ao meio ambiente nas atividades industriais obriga a necessidade de especializações diversificadas para seus controles, pois, até dentro de um mesmo tipo, os controles dos poluentes se diferenciarão pela espécie, pela quantidade e até mesmo, pela periodicidade da agressão. Assim, caso a caso, tecnologias específicas se impõem. Em fim, o controle deverá ter a tecnologia adequada para que se alcance, com eficiência, o benefício ambiental que justifique o investimento no controle por equipamentos.

REFERÊNCIAS

AR AMBIENTAL. *Filtro de Mangas*. 3. ed, Cajamar: Ar Ambiental, 2004.

BARNETT, T. Improving the performance of fabric filter dry dust collection equipment. *Filtration & Separation*, p. 28-32, mar. 2000.

BARROS, J. H; CAVALEIRO, J. R.; FORMOSINHO, S. J.; PIO, C. A. *Parecer relativo ao tratamento de resíduos industriais perigosos*. Aveiro: Comissão Científica Independente de Controlo e Fiscalização Ambiental da Co-Incineração, 2000, 329 p.

BWF. *PTFE membrane coated filter media in comparison with needlona mps concept*. 5. ed, Germany: BWF, 2007.

CERON, L. P. *Desenvolvimento do processo de secagem em rama na produção de palmilhas para calçados*. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais, PUCRS, Porto Alegre.

_____. Têxteis para a construção de mangas filtrantes. *Meio Filtrante*, Santo André, v. 40, p. 40-43, set. 2009.

_____. Filtração de particulados de chumbo usando mangas plissadas. *Meio Filtrante*, Santo André, v. 42, p. 38-42, jan. 2010.

CONAMA. *Resoluções do CONAMA*. 2. ed. Brasília: CONAMA, 2008, 928 p.

DIAS, T. Indústria de borracha livre de particulados. *Meio Filtrante*, São Bernando do Campo, v. 32, p. 32-36, mai. 2008.

DICKENSON, C. *Filters and Filtration Handbook*. Oxford: Elsevier Advanced Technology, ed. 3, 1994.

INTENSIV. *Manual de instruções de montagem, operações e manutenção*. 3. ed. São Paulo: Intensiv, p. 28, 2006.

KOCH, D.; SEVILLE, J.; CLIFT, R. Dust cake detachment from gas filters. *Powder Technology*. v. 86, p.22, 1996.

MARQUES, L. F. *Fitoextração de chumbo por girassol, vetiver, trigo mourisco, jureminha e mamona em áreas contaminadas*. 2009. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia, UFP, Areia. Disponível em: <<http://www.cca.ufpb.br/Ppqa/pdf/mestrado/Luciano%20Facanha-ms09.pdf>>. Acesso em: 15 set. 2009.

MORONI, L. G. et al. (Org.). *Manual de não-tecidos: classificação, identificação e aplicações*. 3. ed. São Paulo: ABINT, fev. 2005.

NAINENTI, H. R. D. *Correlação entre a exposição ao chumbo e a atividade da enzima ácido d-aminolevulínico desidratase (ala-d), paratormônio (pth) e fatores nutricionais em crianças*. 2006. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Programa de Pós-Graduação em Saúde Pública, ENSP, Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://bvssp.iciict.fiocruz.br/lildbi/docsonline/9/4/849-mainentihrdm.pdf>> Acesso em: 20 ago. 2009.

RENNER TÊXTIL. Disponível em: <<http://www.rennertextil.com.br/rennertextil/a-empresa.html>> Acesso em: 22 ago. 2009.

_____. *Projeto plissados para indústria de chumbo*. Cachoeirinha: Renner Têxtil, 2007.

_____. *Catálogo de produtos Renner*. [Cachoeirinha], 2006. p.8.

_____. *Filtração Seca 2000*. Cachoeirinha: Renner Têxtil, p.27-75, 2000.

_____. *A história da construção da Renner*. Cachoeirinha: Farina, 1999.

_____. O uso de elementos filtrantes na retenção de pós. *Boletim Técnico*, Cachoeirinha, 1997.

REWALD, F. G. *Tecnologia dos Não-tecidos: Matérias-primas, processos e aplicações finais*. São Paulo: LCTE, 2006. p.11.

PACHECO, T. A. Como obter o rendimento máximo dos filtros de mangas. *Química e Derivados*, São Paulo, ed. 407, p. 56-64, ago. 2002.

_____. O aspecto químico da filtração industrial retenção de particulados. *Química e Derivados*, São Paulo, ed. 438, p. 40-51, jun. 2005.

POWELL, J. Surface filtration: the way forward. *Filtration and Separation*, p.134-136, mar. 1998.

TANABE, E. H. *Estudo do comportamento da deposição das partículas em diferentes meios filtrantes*. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, UFSCar, São Carlos.

TEIXEIRA, D.; SILVA, T. A. L.; TIENE, E. F.; AGUIAR, M. L. Filtração de gases: Estudos do fenômeno da limpeza por blocos em um filtro de acrílico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA EM INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 6., 2005, Campinas. *Anais...* São Carlos: UFSCar, 2005. Disponível em: <<http://www.feq.unicamp.br/~cobegic/tPT23.pdf>> Acesso em: 15 jun. 2009.

TOCCHETTO, M. R. L. *Gerenciamento de resíduos sólidos industriais*. Santa Maria: UFSM, 2005, 97 p.

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. Graduação (Faculdade em Engenharia) – Departamento de Engenharia Química, PUCRS, Porto Alegre.

VIANA, F. L. E.; ROCHA, R. E. V. *Benchmarking Interno: aplicação na manufatura de uma organização do setor de transformação de plásticos*. Santa Maria, p.34-45, 2009. Disponível em: <<http://www.ingepro.com.br/index.php/ingepro/article/viewFile/114/100>> Acesso em: 20 ago. 2009.

WIMMER, A. PTFE yams and fibres in hot gás filtration. *Filtration and separation*, p.26-28, mar. 1999.