

## DESENVOLVIMENTO DE NÃO TECIDO DE POLIAMIDA AROMÁTICA PARA A FILTRAÇÃO DE PARTICULADOS FINOS

### **Autores:**

Ceron, Luciano Peske<sup>1</sup>; Einloft, Sandra Mara Oliveira<sup>1,2</sup>; Ligabue, Rosane Angélica<sup>1,2</sup>; Lopes, Natália Feijó<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Tecnologia de Materiais (PGETEMA), Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUCRS)  
Porto Alegre - RS (Brasil)  
e-mail: luciano@rennertextil.com.br

<sup>2</sup>Faculdade de Química, PUCRS  
Porto Alegre - RS

### **Revisão Técnica:**

Dimas Novaes

O estudo comparou o desempenho de um novo têxtil - não tecido composto de microfibrilada de para-aramida e fibra de meta-aramida - com o da poliamida aromática atual do mercado, a chamada meta-aramida pura

### **RESUMO**

Não há nenhuma fibra natural que pode ser usada para fabricar material filtrante apropriada para todas as situações. Em termos de propriedades químicas, físicas e mecânicas, um meio filtrante de sucesso deve ser adaptado para atender aos requisitos específicos de um determinado sistema de filtragem. Em outras palavras, o meio filtrante ideal deve ser determinado para cada caso, sendo cada aplicação escolhida individualmente.

Como resultado, as atividades de investigação e desenvolvimento de novos têxteis para atender à área de filtração de gases quentes têm sido focadas na prestação de uma vasta seleção de produtos de filtração de forma a satisfazer às necessidades das plantas industriais e os protetores do meio ambiente. Em aplicações que exijam resistência à chama, a estabilidade dimensional da poliamida aromática em condições de calor e chama ajuda a manter a integridade do elemento filtrante e a resistir às rachaduras no não tecido.

Ostestesdesempenhodonovonãotecidofooramacompanhados em laboratório pelos seguintes métodos: microscopia, determinação da massa por área, espessura, permeabilidade, resistência à tração,

emissão de particulados e inflamabilidade, seguindo a NBR 13098, de preparação de corpos de prova para ensaios em laboratório.

Os resultados de desempenho mostram uma retenção de filtração de particulados com menos de 2,5 micros, estabilidade de alta dimensão com durabilidade de longo prazo e maior resistência à chama com redução de rachaduras.

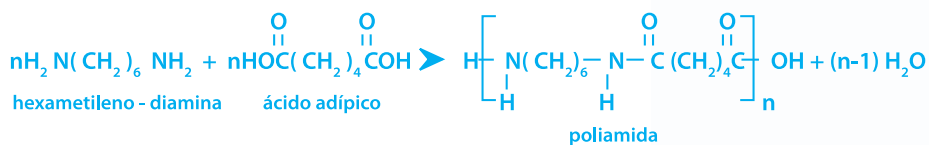
As fibras precisam ter propriedades que ajudam a maximizar a duração de um não tecido como elemento filtrante. Isso inclui o nível adequado de temperatura e resistência mecânica e química, além da estabilidade dimensional.

Todas essas avaliações foram aprovadas nesse novo têxtil, testado em condições extremas, obtendo uma eficiência superior comparada com outra meta-aramida pura.

### **1. INTRODUÇÃO**

O avanço da ciência e da tecnologia têxtil para a produção de sofisticadas estruturas de fibras, fios e tecidos tem sido a força motriz no desenvolvimento de metodologias que proporcionem determinadas qualidades dos materiais têxteis, para a aplicação na filtração de particulados, como a resistência à chama e retenção de finos. Dessa forma, a tecnologia pode ser considerada um fator importante na obtenção de vantagens competitivas, assim como os avanços das ciências de polímeros e de fibras que vieram satisfazer um mercado cada vez mais competitivo e inovador.

Figura 1 – Reação de obtenção da poliamida



A poliamida é fabricada a partir da reação da hexametilenodiamina e do ácido adípico, conforme pode ser observado na figura 1.

Esses compostos são dissolvidos em metanol e sofrem aquecimento, formando um “sal nylon” que tem sua policondensação terminada a 280 °C. Essa massa fundida é fiada e se solidifica ao ar frio. À saída da fiação, as cadeias de polímeros apresentam uma disposição caótica, conferindo ao fio baixa resistência. Depois, são submetidos a um processo de estiramento, com o objetivo de paralelizar os fios e aumentar a resistência da fibra<sup>[1]</sup>. A estrutura química dessa fibra apresenta grupos amida, os quais formam, através do hidrogênio, ligações cruzadas entre as cadeias metilênicas. As macromoléculas de poliamidas contêm, em pequeno número, grupos funcionais ativos (amino e carboxi) nas terminações das cadeias<sup>[2]</sup>.

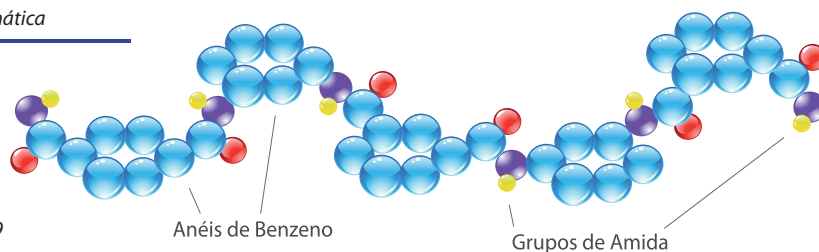
Em poliamidas aromáticas (figura 2), pelo menos 85% das ligações amida estão unidas diretamente a dois anéis aromáticos. Quando conjugados aos grupos amida, os anéis aromáticos de benzeno formam uma ligação forte e resistente ao ataque químico e adquirem elevado grau de resistência ao calor. Como resultado, a poliamida não derrete e pinga apenas quando é exposta por períodos prolongados à alta temperatura, próxima de 290 °C<sup>[3]</sup>.

Conforme a NBR 13370, um não tecido é formado por uma estrutura plana, flexível e porosa, constituído de um véu ou manta de fios ou filamentos orientados direcionalmente ou ao acaso e consolidados por vias mecânicas, químicas ou térmicas e, ainda, pela combinação destas<sup>[4]</sup>. Segundo Hardman<sup>[5]</sup> e Donovan<sup>[6]</sup>, na aplicação de não tecidos para filtração de pó, a formação da torta ocorre mais lentamente que em tecidos, tendo maior vida útil. Portanto, os não tecidos tornam-se ideais para a filtração de particulados finos, pois o espaço disponível para passagem do fluxo é constituído por caminhos preferenciais, que bloqueiam os particulados menores por impactação ou deposição inercial.

Os não tecidos como elementos filtrantes em filtros de mangas têm sido largamente utilizados no combate à 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<sup>[7]</sup>.

A fibra de poliamida como um não tecido para filtração de particulados tem resistência moderada a ácidos e álcalis, resistência fraca à hidrólise, resiste até 6% em volume de H<sub>2</sub>O e 20% em volume de O<sub>2</sub> e, acima deste valor, sofre oxidação.

Figura 2 – Poliamida aromática



Fonte: DuPont, 2009

Além disso, a fibra de poliamida propaga combustão ao ar atmosférico, pois tem LOI (índice limite de oxigênio) de 21% e possui resistência excepcional a fagulhas. Suporta temperaturas de 220 °C por cerca de 15 minutos e, na temperatura de operação normal, até 200 °C, apresenta um encolhimento máximo <1%<sup>[8]</sup> sobre as condições originais.

Um filtro de profundidade forma “torta” na superfície de entrada, assim, sua vida útil é comprometida, reduzindo significativamente a eficiência na captura de particulados finos. Entretanto, um filtro de superfície corretamente projetado deve remover e impedir a migração de partículas finas pelo não tecido, evitando a emissão ao meio ambiente.

Este artigo aborda as principais propriedades de uma nova formulação de fibras de poliamida aromática, utilizada como não tecido em filtro de mangas, para filtração de gases quentes sujos em

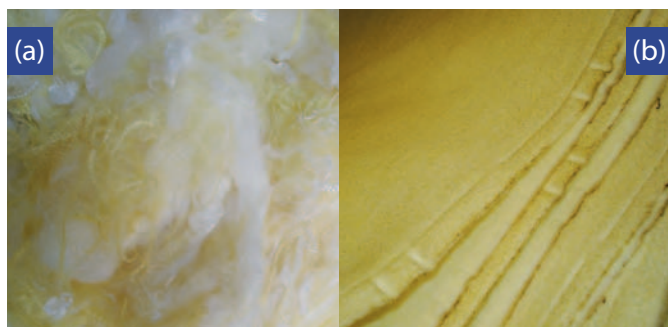
fábricas de asfalto, cimento clínquer, forno elétrico a arco para ferro e metais não ferrosos, ferros-liga, fundições, indústrias de brita, alumínio, coque, química, siderúrgica, cerâmica, cal, gesso e outras.

O objetivo deste trabalho é o estudo do desempenho do não tecido formado pela mistura de microfibras fibriladas de para-aramida e fibra de meta-aramida, comparado com a poliamida aromática atual do mercado, a meta-aramida pura.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Os testes foram desenvolvidos nos laboratórios das empresas DuPont do Brasil e Renner Têxtil, respectivamente responsáveis pela fabricação da fibra (figura 3-a) e produção do não tecido (figura 3-b).

**Figura 3** – (a) Fibra de m-aramida + p-aramida;  
(b) Não tecido de m-aramida + p-aramida



### 2.1 MORFOLOGIA DAS FIBRAS

As microfotografias das fibras em não tecidos foram realizadas em microscópio PZO Poland, para observar as diferenças de áreas superficiais entre as misturas.

### 2.2 GRAMATURA E ESPESSURA

O controle da variabilidade da gramatura e espessura está associada ao desempenho do não tecido, pois a filtração com microfibras fibriladas deve ser melhorada. A determinação de massa por área foi realizada segundo a NBR 12984 em balança semianalítica PB1502 Mettler Toledo. A medida da espessura foi realizada em espessímetro seguindo a NBR 13371.

### 2.3 PERMEABILIDADE

O método consiste em medir o fluxo de ar que atravessa o não tecido em função do tempo, ajustado a uma condição constante de pressão, seguindo a NBR 13706. A amostra do têxtil é colocada no orifício do permeabilímetro Karl Schröder KG (figura 4) e medida durante 30 seg. ajustada com pressão constante de 20 mm de coluna d'água. O resultado é expresso na unidade de L/min.dm<sup>2</sup>.

### 2.4 RESISTÊNCIA À TRAÇÃO

O ensaio tem por objetivo verificar a tensão máxima necessária para romper um corpo-de-prova no momento da ruptura, conforme a NBR 13041. O aparelho utilizado foi uma máquina universal de ensaios Frank, modelo 81565 IV.

**Figura 4** – Permeabilímetro



### 2.5 EMISSÃO DE PARTICULADOS

Os ensaios em laboratório para teste de desempenho foram realizados no aparelho simulador de filtração ETS (figura 5), seguindo a norma ASTM D6830-02. O equipamento controla a emissão de particulados, massa total, pressão residual inicial e média, tempo de ciclo de filtração média e número de ciclos de filtração. Um sensor de imagem óptico acompanha a opacidade da poeira e do ar, para verificar se o sistema é estável durante todo o período do teste<sup>[9]</sup>. A filtração e as condições de limpeza foram adaptadas a partir do método alemão VDI 3926, para simular as condições que prevalecem nas operações reais de filtração.

O procedimento do teste foi constituído de três etapas distintas: 1) carregamento contínuo de pó, seguidos de 10.000 ciclos de limpeza, com pulsos rápidos a cada 3 segundos; 2) rápido acondicionamento, que consistiu de 30 ciclos de filtração normal com carga de poeira contínua, formando um bolo de poeira para adequar o têxtil, até atingir uma diferença de pressão de 1000 Pa; 3) teste de performance, realizado em 6 horas de duração, com ciclos de limpeza e carregamento de poeira feitos constantemente e gravados. As concentrações de poeira expelidas são medidas até 2,5 µm (PM 2.5), assim como o ganho de peso de cada substrato.

As condições fixas do teste foram realizadas com:

- Teste do pó: Alumina ( $1,5 \pm 1,0 \mu$  de diâmetro médio de massa);
- Taxa de alimentação:  $100 \pm 20$  g/h;
- Temperatura do gás:  $25 \pm 2^\circ$  C;
- Pressão do pulso de limpeza: 1000 Pa.



*Precisando de  
soluções?*



*Fale conosco.*



**Colorzen<sup>®</sup>**  
soluções têxteis

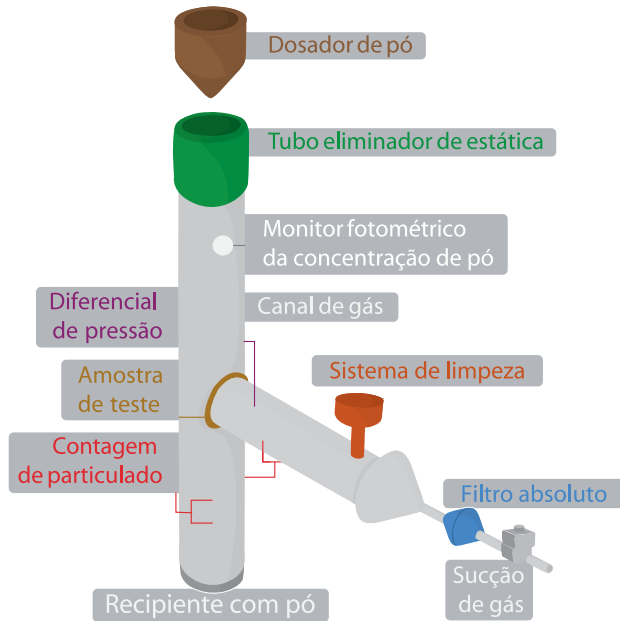
☎ 55 11 4693-4103 / 4693-4107

Email: [colorzen@colorzen.com.br](mailto:colorzen@colorzen.com.br) Est. Franco, 170 - Parateí - Guararema - SP



Figura 5 – Esquema do equipamento ETS de simulação laboratorial

Fonte: Renner Têxtil, 2001



### 2.6 INFLAMABILIDADE

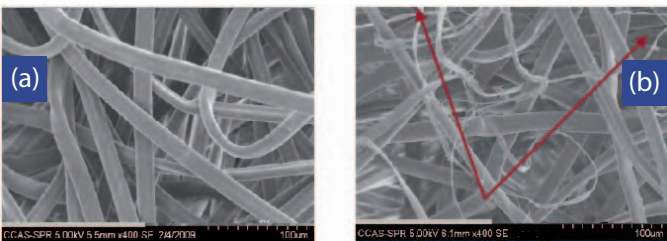
O ensaio de inflamabilidade é um método comparativo de determinação dos efeitos de um pequeno foco de incêndio sobre a superfície de têxteis, também conhecido como *hot metal nut*, que simula o impacto de partículas superaquecidas. Esse ensaio foi realizado em câmara confinada com temperatura em 290 °C para o cilindro metálico central, controlando o tempo e a queima da área afetada, seguindo a norma britânica BS 4790:1987.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1 PROPRIEDADES MORFOLÓGICAS

As morfologias das fibras como um não tecido foram examinadas em corte transversal, como mostra a figura 6.

Figura 6 – (a) *m*-aramida pura; (b) *m*-aramida + *p*-aramida



A figura 6 mostra que houve uma incorporação homogênea das microfibras fibriladas de *p*-aramida (figura 6-b) na malha da *m*-aramida (figura 6-a).

De forma geral, a filtração se dá primeiramente pela captura de particulados no interior do meio filtrante, na superfície das fibras.

A essa etapa, segue-se a impregnação do têxtil e a formação de uma camada superficial de material particulado, denominado de torta de filtração<sup>[10]</sup>. Com o transcorrer da filtração e consequente coleta das partículas, inicia-se uma fase de transição, com a formação de dendritos<sup>[11]</sup>. Esses dendritos são estruturas formadas

pela aglomeração de partículas no interior do meio, que passam a agir como novos elementos coletores, melhorando a captura de finos<sup>[12]</sup>. A maior captura de finos inicialmente proporciona uma menor emissão de particulados, o que, em certos processos, é uma condição necessária, devido à localização destes sistemas dentro de cidades.

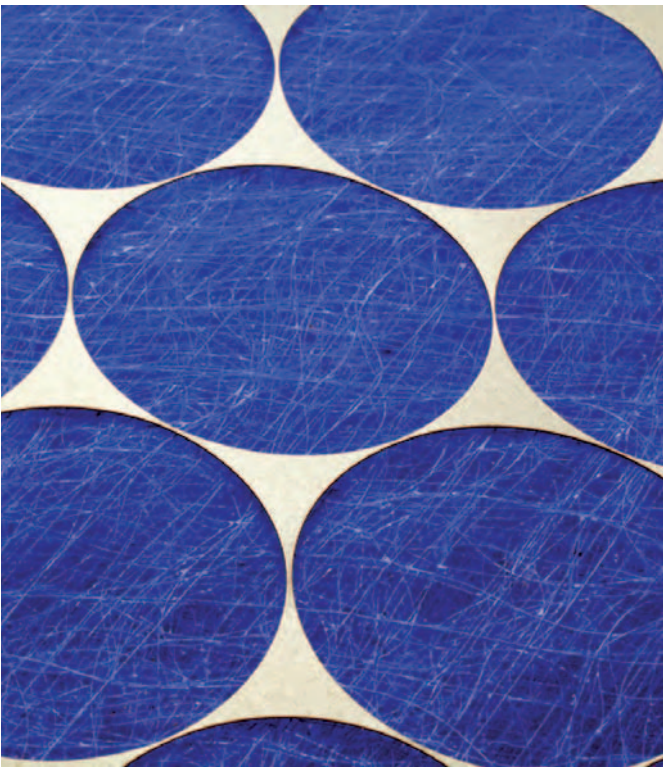
### 3.2 PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS

Os resultados das propriedades como gramatura, espessura, permeabilidade e tensão de ruptura da *m*-aramida+*p*-aramida e a sua comparação com a *m*-aramida pura são mostrados na tabela 1. Cada resultado representa a média de dez amostras realizadas, com seu respectivo desvio padrão.

Como já era esperado, com a adição de microfibras fibriladas de *p*-aramida conseguiu-se preencher melhor os espaços vazios, compactando as fibras com outra configuração interna no não tecido.

Tabela 1 – Resultados gramatura, espessura, permeabilidade e tensão de ruptura para a *m*-aramida pura e *m*-aramida + *p*-aramida

| Fibra                                   | Gramatura [g/m <sup>2</sup> ] | Espessura [m/m] | Permeabilidade [L/(mm.dm <sup>2</sup> ) a 20 mm CA] | Tensão [MPa] |
|---|-------------------------------|-----------------|---|--------------|
| <i>m</i> -aramida pura                  | 465 ± 7                       | 2,2 ± 0,1       | 228 ± 4   | 10 ± 1       |
|   | 505 ± 7                       | 2,4 ± 0,2       | 200 ± 5   | 11 ± 1       |
|   | 524 ± 6                       | 2,6 ± 0,2       | 160 ± 7   | 12 ± 1       |
| <i>m</i> -aramida+<br><i>p</i> -aramida | 452 ± 6                       | 2,0 ± 0,1       | 171 ± 5   | 11 ± 1       |
|   | 512 ± 8                       | 2,2 ± 0,1       | 143 ± 6   | 13 ± 1       |
|   | 568 ± 6                       | 2,5 ± 0,2       | 105 ± 7   | 15 ± 2       |





# Manfix CA

Nunca foi tão fácil ser campeão de qualidade.

**KHEMEIA**  
Indústria Química S.A.  
A química na sua verdadeira essência

10

Manfix CA é um excelente fixador para microfibras de poliamida, poliamida 6, 6.6 e suas misturas. Foi especialmente desenvolvido para se obter altos níveis de solidez a úmido, principalmente em artigos esportivos, onde normalmente combina-se cores intensas e claras. Com Manfix CA é possível obter excelente solidez à lavagem e migração, desta forma, agregando valor ao produto acabado.



Atuação Responsável  
Compromisso com a sustentabilidade

Certificada  
**ISO 9001:2008**

Criciúma/SC | Fone/Fax: 055 | 48 | 3431 3344

**K** 0800 642 3033

**KHEMEIA**  
Indústria Química S.A.  
A química na sua verdadeira essência

[www.khemeia.com.br](http://www.khemeia.com.br)

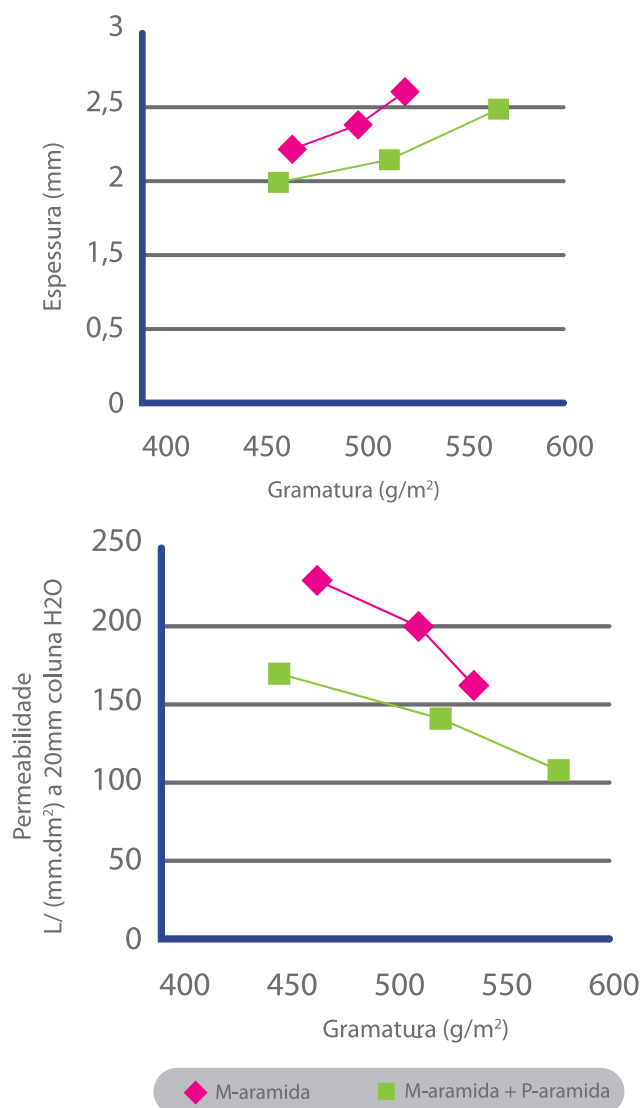
Consequentemente, conseguiu-se diminuir a espessura e permeabilidade quando comparado com a m-aramida pura (figura 7). Essas características modificadas no não tecido melhoram a performance de captura de particulados finos.

A propriedade de resistência à tração foi melhorada com o reforço híbrido de m-aramida + p-aramida, aumentando a vida útil do material em aplicações, pois a tensão de ruptura aumentou entre 10% e 25% de forma linear, comparados com a meta-aramida (figura 8).

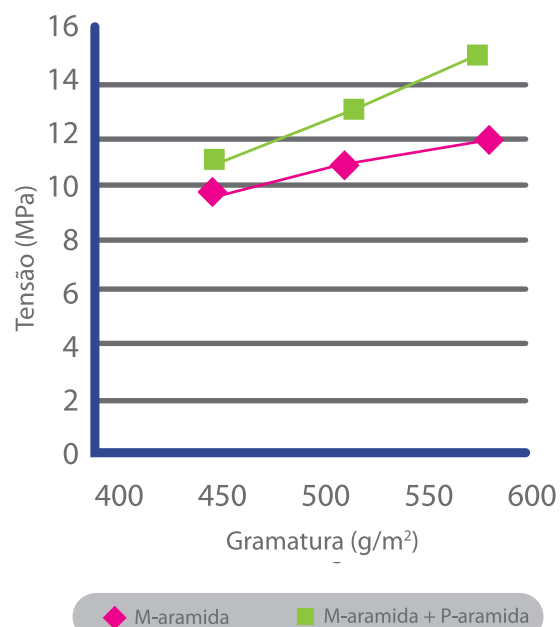
Para não tecidos de mesma gramatura, consegue-se aumentar a eficiência da filtração de pó com o decréscimo do diâmetro das fibras. De modo geral, mantendo-se a densidade do têxtil, têm-se, com a redução do diâmetro das fibras, um comprimento total maior da fibra, uma maior área superficial e a redução dos poros<sup>[13]</sup>.



**Figura 7 – Efeito da gramatura na espessura e permeabilidade do não tecido**



**Figura 8 – Efeito da gramatura na tensão de ruptura do não tecido**





### 3.3 PROPRIEDADES DE RETENÇÃO

A tabela 2 e a figura 9 apresentam os resultados do método VDI 3926, comparando as emissões por vazamentos conforme a gramatura dos não tecidos em teste. Cada resultado representa a média de quatro amostras realizadas, com seu respectivo desvio padrão. Os resultados comparativos entre as curvas revelam maior eficiência de filtração para o não tecido de m-aramida + p-aramida. Já para não tecidos mais leves com microfibras (452), mostram uma performance similar de emissão em relação às gramaturas superiores de m-aramida (524).

### 3.4 PROPRIEDADES TÉRMICAS

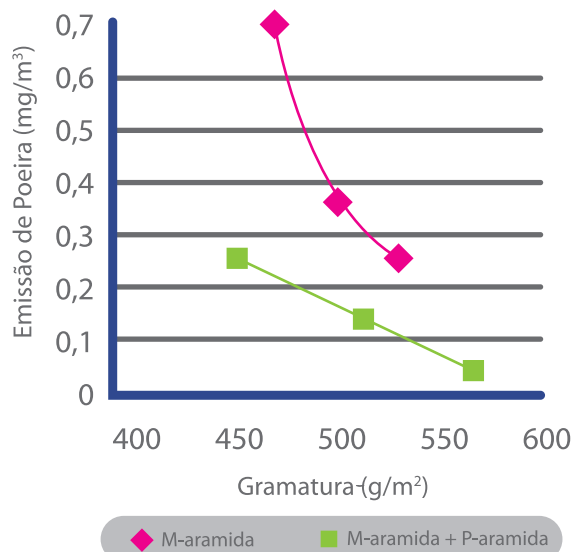
O comparativo térmico de fusão entre os dois materiais, submetidos a uma mesma temperatura de chama, ocorreu em tempos diferentes de exposição ao cilindro metálico central. Os resultados levam a caracterizar que as fibrilas de para-aramida aumentam o grau de resistência ao calor, retardando a fusão do não tecido por partículas aquecidas, conforme mostra a figura 10.

Tabela 2 - Resultados do método VDI 3926

| Fibra                 | Gramatura [g/m <sup>2</sup> ] | Emissão de pó [mg/m <sup>3</sup> ] |
|-----------------------|-------------------------------|------------------------------------|
| m-aramida pura        | 465 ± 7                       | 0,6931 ± 0,0082                    |
|                       | 505 ± 7                       | 0,3366 ± 0,0069                    |
|                       | 524 ± 6                       | 0,2642 ± 0,0064                    |
| m-aramida + p-aramida | 452 ± 6                       | 0,2537 ± 0,0067                    |
|                       | 512 ± 8                       | 0,1281 ± 0,0011                    |
|                       | 568 ± 6                       | 0,0853 ± 0,0009                    |

Os desvios padrões menores nas amostras de m-aramida + p-aramida caracterizam uma melhor compactação das microfibras pelas estruturas internas de não tecido (menor permeabilidade).

Figura 9 – Emissão de poeira conforme a gramatura



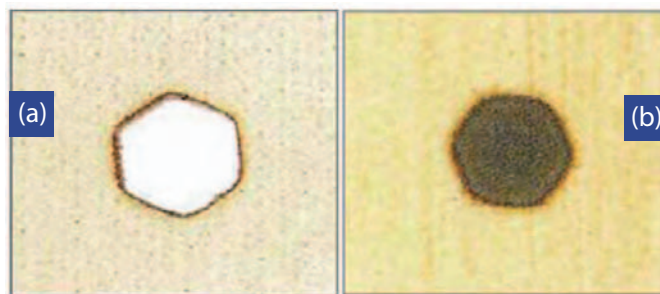
Os resultados comparativos entre as curvas revelam maior eficiência de filtração para o não tecido de m-aramida + p-aramida. Já para não tecidos mais leves com microfibras (452), mostram uma performance similar de emissão em relação às gramaturas superiores de m-aramida (524).

## 4. CONCLUSÕES

A vasta gama de tipos de agressões ao meio ambiente nas atividades industriais exige novas tecnologias para inovar materiais e processos, surgindo, assim, os têxteis técnicos que revolucionam a indústria têxtil.

Este trabalho descreve a fabricação de estruturas híbridas em não tecido com microfibras e a combinação das propriedades das estruturas de meta-aramida e para-aramida, fabricadas sob forma de composto. Obteve-se, dessa maneira, um efeito de sinergia de propriedades, em que cada uma das fibras contribuiu com as suas propriedades para a obtenção de um não tecido com propriedades melhoradas, para a filtração de particulados finos em aplicação para filtros de mangas.

Figura 10 – (a) m-aramida 465 g/m²: 5 seg;  
(b) m-aramida + p-aramida 452 g/m²: 30 seg



## 5. AUTOR

Luciano Peske Ceron é engenheiro químico; doutorando em Engenharia e Tecnologia de Materiais; mestre em Engenharia e Tecnologia de Materiais; especialista em Gestão Ambiental e em Gestão Empresarial. Atualmente, é engenheiro químico nas empresas Renner Têxtil (responsável técnico pela fabricação de não tecidos e confecção de mangas filtrantes) e Inbrape (responsável técnico pela fabricação de persianas de não tecido e plásticas). Participa do conselho editorial da revista *Meio Filtrante*.

