

Nova tecnologia em processo de filtração de particulados de polietileno usando filtro cartucho de poli-imida aromática

New process technology in polyethylene particulate filtration using filter cartridge aromatic polyimide

Luciano Peske Ceron

Doutor, Professor da Faculdade de Engenharia Química da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUC-RS)

Sandra Mara Oliveira Einloft

Pós-doutorado, Diretora na Faculdade de Química e Professora no Programa de Pós-Graduação de Engenharia e Tecnologia de Materiais na PUC-RS

Rosane Angélica Ligabue

Pós-doutorado, Professora na Faculdade de Química e Programa de Pós-Graduação de Engenharia e Tecnologia de Materiais na PUC-RS

Resumo

Para cada fonte de poluição deve ser estudada a melhor solução de produção mais limpa, tanto do ponto de vista de gestão ambiental como de custo. As tecnologias disponíveis para o controle de poluição do ar permitem a retenção de material particulado em até 99,9% utilizando-se de não tecidos em cartuchos plissados, inseridos em coletores mecânicos inerciais e gravitacionais. Neste trabalho avaliou-se por simulação laboratorial o desenvolvimento de filtro cartucho de poli-imida aromática para filtração de particulados de polietileno e posteriormente em petroquímica de PET na Argentina para processos de filtração até 240°C. Os resultados obtidos demonstram boa *performance* de filtração pelos controles de temperatura, emissão de particulados e perda de carga, caracterizando o filtro cartucho à base de poli-imida aromática como uma nova tecnologia limpa de não tecido funcional.

Palavras-chave: Filtração. Filtro Cartucho. Não Tecido. Particulados. Poli-imida Aromática.

Abstract

For each source of pollution should be considered the best solution for cleaner production, both in terms of environmental management and cost. The available technologies for air pollution control permit the retention of particulate matter by up to 99.9% using non-woven pleated cartridge, inserted into mechanical inertial and gravitational collectors. In this work it was evaluated by simulation laboratory the

development of aromatic polyimide filter cartridge for filtration of particulate polyethylene and later in petrochemical PET in Argentina for filtration processes up to 240°C. The results demonstrate good performance of the filtration by temperature controls, emission of particulates and pressure loss, which characterizes the filter cartridge made of aromatic polyimide as a clean technology is not new functional tissue.

Keywords: *Filtration. Filter Cartridge. Non-Woven. Particulates. Aromatic Polyimide.*

INTRODUÇÃO

As exigências cada vez mais crescentes quanto ao controle dos particulados e a necessidade de manter a competitividade numa economia globalizada vêm fazendo com que as indústrias procurem formas mais racionais de controle dos resíduos. No panorama atual do mercado esses fatores se tornam aspectos principais de diferenciação para competitividade. Assim sendo, uma ferramenta muito favorável para reduzir o impacto ambiental e o consumo de recursos naturais é o desenvolvimento da Produção mais Limpa (P+L), prática disseminada, a partir de 1994, pela *United Nations Industrial Development Organization* (UNIDO) e pelo *United Nations Environment Programme* (UNEP). Tal prática propõe a revisão da rotina de produção, em busca de evitar desperdícios, minimizar poluição, associado à redução de custos e à otimização de ações.

Segundo a NBR 10004:2004 - Resíduos Sólidos (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004) são compostos nos estados sólido e semissólido que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os particulados provenientes de processos industriais, gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, ou que exijam solução técnica economicamente viável, em face à melhor tecnologia disponível. A legislação brasileira atual estabelece os limites máximos de emissão de particulados em 70mg/Nm³ para processos petroquímicos, descrita na resolução CONAMA 382/2006 (BRASIL, 2006), anexo VI.

De acordo com especialistas, o tipo de poluição limitada pelo CONAMA afeta a todos igualmente, pois provoca danos à saúde mesmo as pessoas que residem distante das regiões industriais. Porém, no sentido de periculosidade, as partículas

finas (MP_{2,5}) ou respiráveis são as que requerem o maior controle, sendo que quanto menores os particulados, maiores os efeitos provocados à saúde (CERON, 2012).

Os cartuchos plissados têm sido largamente utilizados para a captação de particulados com diâmetros de 0,1 a 10 µm, visando o combate à poluição atmosférica originada dos mais diversos processos industriais e de extração, tais como: mineração, carvão, cimenteiras, cerâmicas, madeiras, siderurgias e petroquímicas. Os principais motivos para a aplicação de cartuchos em filtros industriais são: (1) o custo relativamente baixo de implantação, (2) a recuperação de filtros subdimensionados, (3) a facilidade de operação e (4) a alta eficiência na remoção de particulados (RENNER TÊXTIL, 2009).

1 OBJETIVOS

O presente trabalho teve como objetivo principal mostrar os testes de aplicação de filtro cartucho plissado com não tecido de poli-imida aromática, para a retenção de particulados finos de polietileno em alta temperatura nos processos petroquímicos na DAK América.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Segundo Furieri e Castilho (2009) atualmente existem diversos equipamentos industriais que são destinados a efetuar a coleta e retenção dos materiais particulados, evitando que sejam liberados diretamente na atmosfera sem tratamento adequado, os quais são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Principais equipamentos industriais e princípios de captura para filtração de particulados

| Equipamento Industrial | Princípio de Captura |
|-------------------------------|--|
| Ciclone | Ação por força centrífuga |
| Filtro cartucho | Ação por impacto |
| Filtro de mangas | Ação da força de gravidade e impacto |
| Filtro eletrostático | Ação de ionização e atração eletrostática |
| Lavador centrífugo | Ação por força centrífuga e tangencial usando água |
| Lavador de gases | Ação por lavagem com água |
| Lavador tipo venturi | Ação por lavagem com água |

Fonte: Furieri; Castilho, 2009.

2.1 Cartucho

O elemento filtrante tipo cartucho é um cilindro poroso permeável que pode ter diversas dimensões. Geralmente são cilíndricos, lisos, ranhurados, bobinados, plissados, sinterizados, com lâminas, fundidos e lenticulares. São compostos de uma carcaça de metal onde se fixa o meio filtrante, um não tecido plissado, colado normalmente por uma resina à base inferior e tampão superior, ambos de metal (Figura 1). Os painéis são construídos em chapas de aço, com reforços para assegurar uma rigidez do conjunto, bem como resistir a uma pressão de aproximadamente 5-kPa. Desta forma, a construção fica vedada a intempéries e ao pó, mesmo sob as mais severas condições. Normalmente o cartucho é fixado no furo da chapa do espelho do filtro (DIAS, 2006).

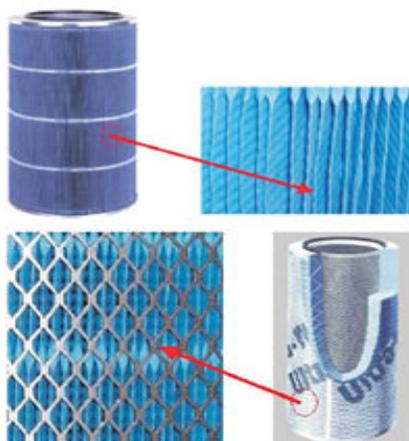


Figura 1 - Filtro cartucho plissado

Fonte: Dias, 2006

O filtro de cartucho é uma concepção mais moderna que substitui em um grande número de casos o filtro de mangas. Sua principal característica é a elevada área filtrante disponível em cada cartucho, que torna o equipamento muito mais compacto, permitindo instalá-lo próximo às fontes geradoras e tornando-o ideal para aplicações em locais com espaço reduzido. São montados em vasos de pressão de diversos tamanhos e matérias-primas, usualmente destinados a separar material particulado, em processos de purificação de fluidos em geral (DIAS, 2006). O aumento da área filtrante nos cartuchos, devido às plissas, reduz a relação ar-pano na filtração, ou seja, diminui a velocidade de filtração, melhorando o desempenho da filtração de particulados (RENNER TEXTIL, 2009).

O gás sujo que entra pelo coletor na parte inferior do corpo do filtro é dirigido para a moega, onde o particulado mais pesado é separado em rosca transportadora (Figura 2). O material menos denso é carregado junto com o gás para a parte intermediária do filtro, sendo forçado a passar através dos cartuchos filtrantes, onde o particulado é coletado. O gás limpo é, então, conduzido à parte superior e, em seguida, ao exaustor e à chaminé de descarga na atmosfera (TOMAZZONI, 2007).

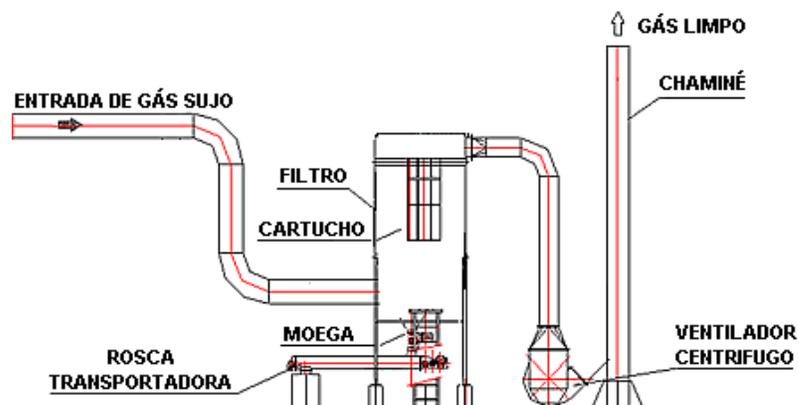


Figura 2 - Sistema de despoeiramento
Fonte: Tomazzoni, 2007

A filtração em cartuchos é feita de fora para dentro, com sentido radial, isto é, o fluido tem que atravessar a parede porosa do meio filtrante, que irá reter as partículas maiores que o tamanho dos poros (Figura 3). Uma vez formada uma camada uniforme de material particulado sobre os cartuchos, estes são removidos por um sistema de limpeza por jato de ar comprimido no sentido contrário ao da filtração. O pulso de ar comprimido é proporcionado em uma válvula diafragma pilotada por solenoide e controlada por um programador eletrônico, que poderá ser acionado por tempo ou por diferença de pressão no interior do filtro (CERON; EINFLOFT; LIGABUE, 2010).

A filtração de gás-sólido por cartucho é feita de fora para dentro, com sentido radial, isto é, o fluido tem que atravessar a parede porosa do meio filtrante, que irá reter as partículas maiores que o tamanho dos poros (Figura 3). Uma vez formada uma camada uniforme de material particulado sobre os cartuchos, estes são removidos por um sistema de limpeza por jato de ar comprimido no sentido contrário ao da filtração. O pulso de ar comprimido é proporcionado em uma válvula diafragma pilotada por solenoide e controlada por um programador eletrônico, que poderá ser acionado por tempo ou por diferença de pressão no interior do filtro (LO et al., 2010).

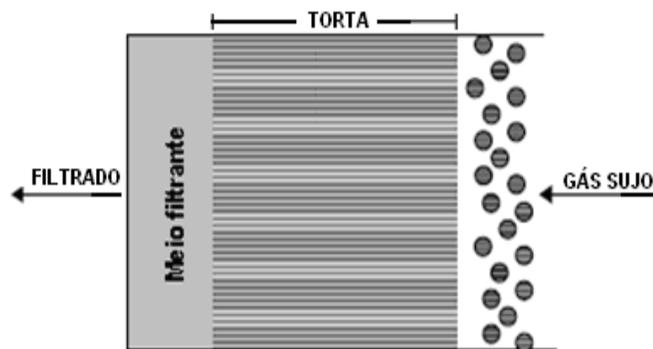


Figura 3 - Filtração de particulados

Fonte: Ceron; Einloft; Ligabue, 2010

2.2 Perda de Carga

O aumento da perda de carga do sistema ocorre à proporção que as partículas são depositadas, determinando a frequência de limpeza no filtro cartucho. Portanto, afeta o tempo de vida do tecido (RODRIGUES, 2006).

Conforme Mello (2007), na maioria dos filtros coletores de pó a perda de carga do tecido limpo (ΔP_o) apresenta um comportamento não linear com o tempo. Esse comportamento é resultante da compressibilidade da torta, com valores entre 60 a 200Pa e a pressão máxima de operação (ΔP_{max}) tende a linearizar após a formação da torta, entre 500 a 2500 Pa, conforme mostra a Figura 4.

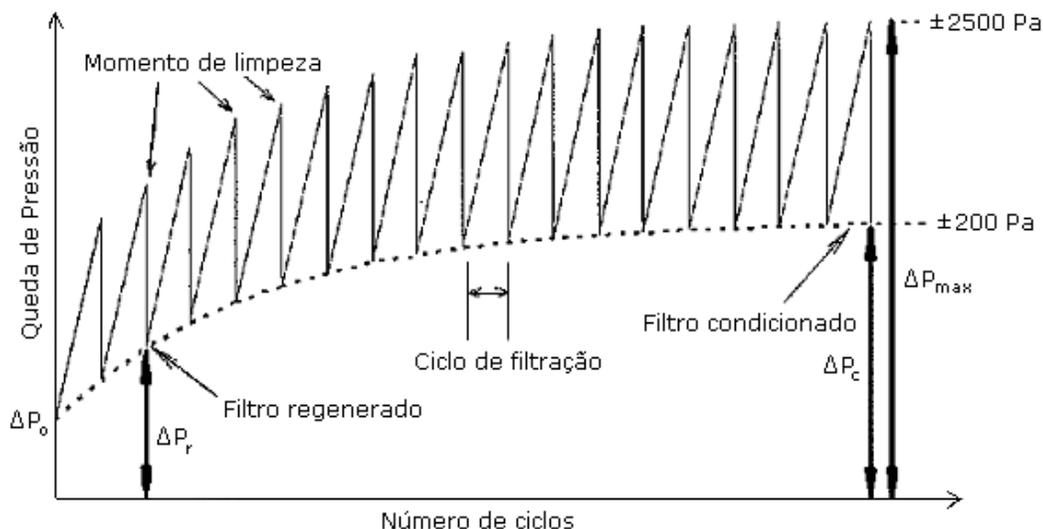


Figura 4 - Perda de carga e ciclos de limpeza

Fonte: Rocha, 2010

2.3 Não tecidos

O meio filtrante mais utilizado para sistemas de particulados é um feltro permeável, também conhecido por não tecido, que tem como função reter as partículas sólidas no início da operação, deixando passar o gás filtrado. O não tecido é um têxtil sem um entrelaçamento ordenado e homogêneo dos fios, mas sim com uma distribuição aleatória das fibras, diferente de um tecido trançado em que o conjunto de fios é formado por ângulo próximo de 90°, em forma de lâmina flexível (MORONI, 2005).

Os tecidos não trançados ou feltros são mais apropriados para filtros com sistema de limpeza por jato pulsante, devido à alta energia para limpeza e alto fluxo operacional de gás (TANABE, 2008).

2.4 Poli-imida Aromática

As poli-imidas representam uma importante classe de fibra, por apresentarem vantagens como: excelente estabilidade térmica, resistência a solventes, boa resistência mecânica, boa tenacidade, excelente estabilidade dimensional, baixo coeficiente de atrito, baixa emissão de gases e resistência à fluência e ao desgaste (NOHARA et al., 2005).

As fibras de poli-imidas são classificadas como termorresistentes, devido a se comportarem satisfatoriamente sob a ação da chama, por ação prolongada do calor, bem como na ação conjunta do calor e de determinados produtos durante longos tempos. Este comportamento é atribuído à estrutura química dos polímeros componentes (BARBARINI, 2010).

As poli-imidas possibilitam o uso como matriz polimérica em compósitos reforçados com fibras e, mais recentemente, como um material formador de interface em compósitos (PALINI, 2011).

3 METODOLOGIA

A metodologia foi realizada por testes em laboratório na Renner Têxtil e após, por acompanhamento da aplicação em industrial petroquímica DAK América, localizada na Argentina.

3.1 Unidade Experimental Laboratorial

O teste em protótipo de cartucho foi realizado seguindo a norma NBR 12019:1990 - Efluentes gasosos em dutos e chaminés de fontes estacionárias - Determinação de materiais particulados (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1990). Foi monitorada a emissão de particulados e a perda de carga residual em 100 ciclos de limpeza avaliada nas velocidades de filtração em 5, 10 e 15 cm/s. Os tipos de não tecidos utilizados em cartuchos plissados foram à base de poli-imida aromática, poliéster e acrilonitrila copolímero, todos com 350g/m². O material particulado usado foi o polietileno com diâmetro médio de 1,5±1,0 µm e densidade de 0,93g/cm³, fornecido pela Braskem, Polo Petroquímico de Triunfo.

O equipamento de filtração, mostrado na Figura 5, é uma estrutura metálica de ferro fundido constituído das seguintes partes: entrada de gases e particulados, câmara de filtração, sistema de limpeza, conjunto de exaustão e controle de dados.

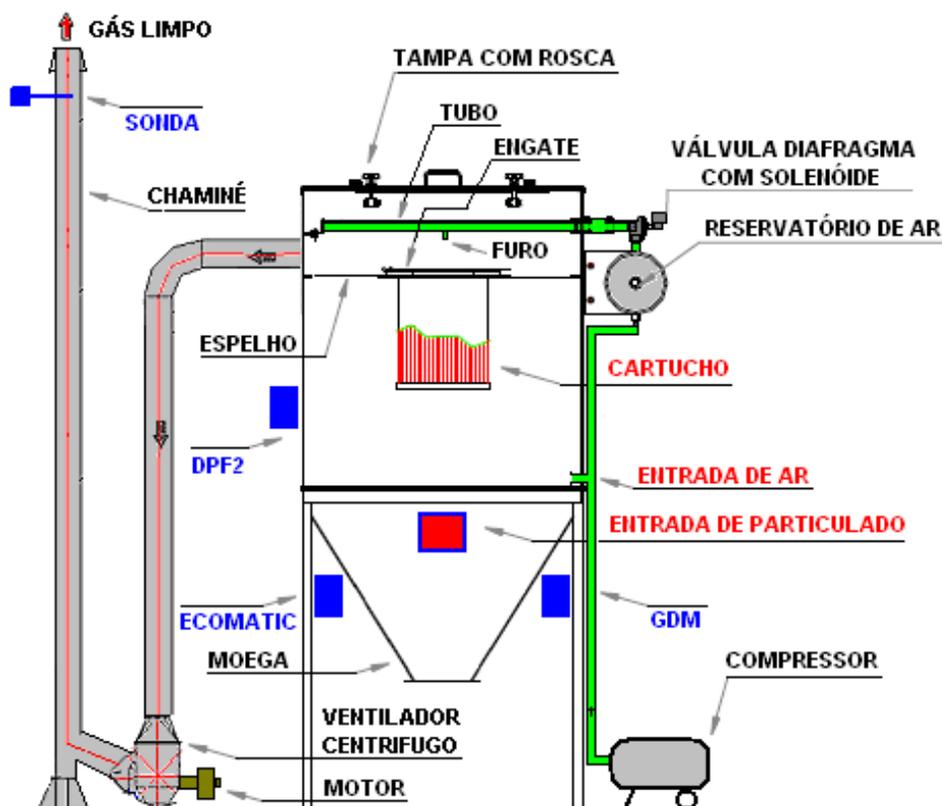


Figura 5 - Esquema geral do equipamento de filtração

Fonte: Dos Autores.

3.1.1 Entrada de Gases e Particulados

O sistema de alimentação dos particulados é constituído por um funil central, localizado na parte superior da moega, por onde é colocado o pó com a moega fechada. A tubulação interna da alimentação possui um defletor, placa inclinada, para evitar a saída de particulados do filtro, quando uma nova alimentação de pó é realizada com o filtro em funcionamento. A alimentação foi realizada após cada ciclo de limpeza, com duas entradas de 12,5g de pó. Uma logo após o ciclo de limpeza e a outra depois de 60 segundos.

Para simular a condição de filtração de gases sujos, que transportam os particulados para a câmara do filtro, utilizou-se ar comprimido gerado por Compressor Portátil Mega Air, modelo Ferrari com 1,5CV e 115libras de pressão. O volume de ar comprimido foi transportado para a câmara de filtração, através de mangueira conectada na base do filtro (próximo à entrada dos particulados).

A filtração ocorreu com velocidade constante de ar, simulando a entrada permanente de gases na câmara, ajustada pela rotação no compressor. O controle da velocidade de filtração foi realizado por equipamento medidor de velocidade Autel, modelo MVP com base fixa de leitura digital. Utilizou-se outro aparelho medidor portátil, modelo PVF2, que serviu para checar à margem de resposta e exatidão dos resultados de velocidade.

3.1.2 Câmara de Filtração

A câmara de filtração suja é uma caixa retangular com 1000mm de altura e 520mm para as medidas de largura e profundidade. O cartucho foi fixado na parte superior da câmara por engate no espelho.

Devido às dimensões reduzidas da câmara de filtração, foi utilizado um cartucho com medidas inferiores ao protótipo original, mostradas na Tabela 2, mas com as mesmas 220 plissas.

Tabela 2: Medidas do cartucho para unidade experimental laboratorial

| Parte Componente | Dimensão (mm) |
|-----------------------------|----------------------|
| Diâmetro externo | 324 |
| Diâmetro interno | 220 |
| Altura da resina no suporte | 15 |
| Altura total do cartucho | 315 |

Fonte: Dos Autores.

3.1.3 Sistema de Limpeza

O sistema de limpeza contra fluxo é o responsável pela liberação de ar comprimido em forma de jatos pulsantes até o furo da tubulação, centrado no cartucho, para expelir os particulados retidos no não tecido. Utilizou-se um tanque pulmão de ar comprimido Autel alimentado por ar de instrumento em linha de serviço, ajustado com pressão em 4 bar. As válvulas são de uma polegada, modelo Autel, que contém solenoides que modulam a sua abertura em função do tempo programado ou variação de pressão na câmara, deixando sair o jato de ar pela tubulação. O tubo fica na parte interna da câmara limpa, acima do espelho. Após cada ciclo de limpeza a moega era aberta rapidamente por aproximadamente 5 segundos, para recolher os particulados.

3.1.4 Conjunto de Exaustão

O conjunto de exaustão é composto por uma tubulação externa fixada na câmara limpa, parte superior do filtro, para arrastar os gases filtrados. Foi usado um ventilador centrífugo com motor WEG, modelo B56 de 0,75CV para arraste dos gases limpos pela chaminé até a atmosfera.

3.1.5 Sistema de Controle de Dados

O controle das variáveis do processo de filtração foi realizado com três equipamentos eletrônicos, para monitorar as variáveis de pressão, pulso e tempo de limpeza e, ainda, a emissão de particulados.

Para o controle da pressão diferencial entre as câmaras limpa e suja do filtro utilizou-se um sensor em cada câmara interligado a um equipamento programador eletrônico diferencial de pressão Ecomatic, modelo ECO6. Foram ajustados no mesmo aparelho a duração do pulso de limpeza em 20 milissegundos e o período

dos ciclos de limpeza a cada 2 minutos, para observar a influência da velocidade de filtração na variação de pressão residual. Os dados foram coletados no sistema do aparelho.

Para monitorar a emissão de particulados foi usada uma Sonda Autel, modelo RP04, colocada na saída da chaminé. O monitoramento da sonda é por geração de corrente elétrica, pelo efeito triboelétrico de choque das partículas contra a haste. O medidor de particulado Autel, modelo GDM-1, registrou os resultados em mg/m^3 por apresentação gráfica na tela do equipamento.

3.2 Teste Industrial

Os testes em planta industrial do protótipo de filtro cartucho de poli-imida aromática, com resina DGEBA e agente de cura nas mesmas proporções com 50%, foi realizado na empresa DAK América, localizada em Zarate, Argentina. A colocação de 16 cartuchos em filtro de processo em planta de resina PET ocorreu em outubro de 2009, em substituição a mangas filtrantes de poliéster. A perspectiva inicial de durabilidade destes cartuchos era de um ano ou até quando houvesse problema de emissão de particulados.

3.2.1 Controle Térmico

Devido às características do processo de filtração de particulados em filtro de processo ocorrer entre 100°C a 220°C , foi realizado o acompanhamento térmico com equipamento indicador e transmissor de temperatura Autel, modelo TR1 colocado na entrada do filtro, que fornece as informações para o sistema de controle operacional. A metodologia seguiu a norma NBR 12827:1993 - Efluentes gasosos com o sistema filtrante no interior de duto ou chaminé de fontes estacionárias (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1993).

3.2.2 Controle de Emissão

Por ser um novo equipamento de filtração, conforme recomenda a legislação CONAMA nº 382 de 2006 (BRASIL, 2006), os testes de amostragem de emissão de particulados foram realizados nas condições plenas de carga do filtro de forma direta

e contínua em duto de chaminé, de acordo com a norma NBR 12019:1990 - Efluentes gasosos em dutos e chaminés de fontes estacionárias - Determinação de materiais particulados (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1990). A sonda Autel, modelo RP-04 foi colocada na parte interna do duto da chaminé. A calibração inicial da sonda foi ajustada por parametrização em medidor de particulado Autel, modelo GDM-1, que monitorou o controle de emissão de forma contínua, com alarme de pico de emissão ajustado para 20mg/Nm³. Foi instalado o software de monitoramento ambiental FSC da Autel, via computador na sala de operações da empresa, para obter os dados de emissão por gráfico.

3.2.3 Controle de Pressão Diferencial

Para o controle da pressão diferencial entre as câmaras limpa e suja do filtro foi usado um equipamento programador eletrônico diferencial de pressão Ecomatic, modelo ECO20. O controle da limpeza dos cartuchos foi realizado por variação de pressão no sistema, que é mais econômica em função de minimizar ar comprimido e não afetar a resistência mecânica do não tecido nos cartuchos. A fase inicial de limpeza até obter a torta de filtração foi por variação de tempo. A metodologia seguiu a norma NBR 10701:1989 - Determinação de pontos de amostragem em dutos chaminés de fontes estacionárias (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1989).

4 ANÁLISE DOS DADOS E RESULTADOS

São apresentados os resultados laboratoriais na unidade experimental (perda de carga X número de ciclos em função da variação de velocidade de filtração e tipo de não tecido) e o teste industrial com os controles do processo (térmico, emissão e pressão diferencial).

4.1 Unidade Experimental Laboratorial

Os resultados da unidade experimental em filtros cartuchos de poli-imida aromática, poliéster e acrilonitrila copolímero são mostrados respectivamente nas Figuras 6, 7 e 8, apresentando os valores de perda de carga residual em função do número de

ciclos de limpeza, variando a velocidade de filtração em 5, 10 e 15cm/s para os três tipos de não tecidos plissados em cartucho. Paralelamente acompanhou-se o controle das emissões de particulados em função no número de ciclos e das velocidades de filtração.

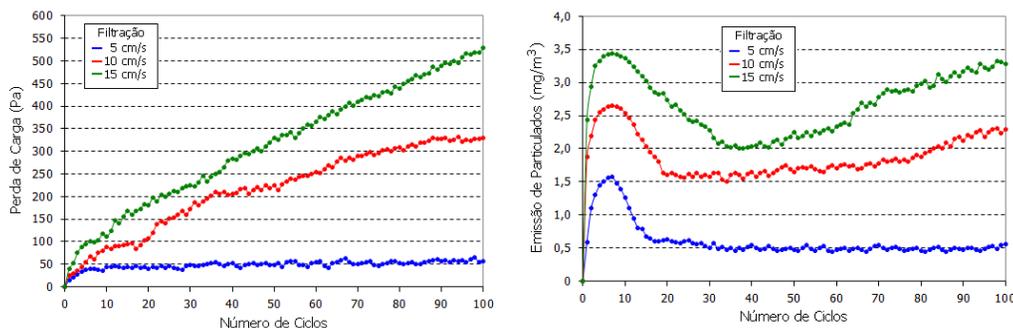


Figura 6 - Perda de carga e emissão de particulados em função dos ciclos de limpeza para a acrilonitrila copolímero
 Fonte: Dos Autores.

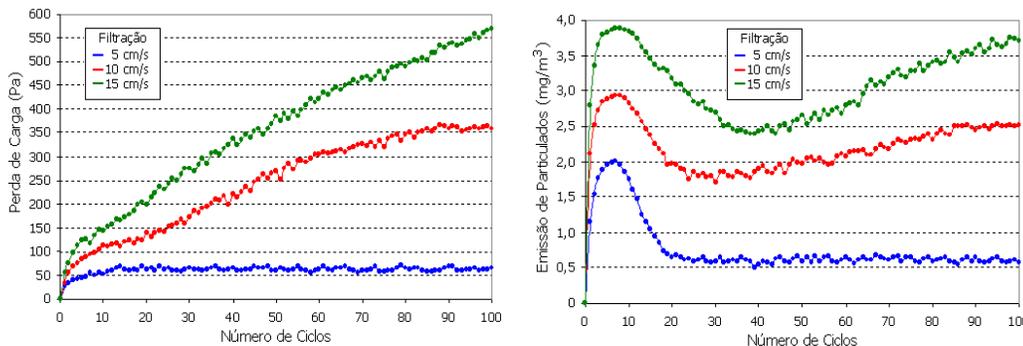


Figura 7 - Perda de carga e emissão de particulados em função dos ciclos de limpeza para o poliéster
 Fonte: Dos Autores.

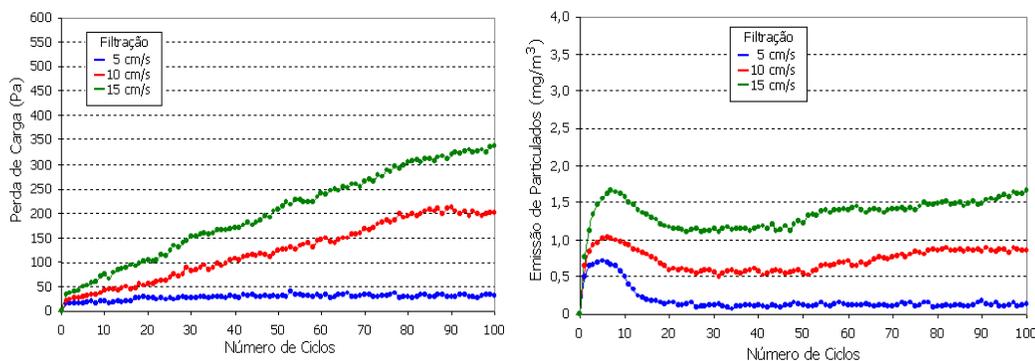


Figura 8 - Perda de carga e emissão de particulados em função dos ciclos de limpeza para a poli-imida aromática
 Fonte: Dos Autores.

Os modelos comparativos das curvas de filtração mostram a poli-imida aromática com melhor desempenho em relação ao poliéster e acrilonitrila copolímero, pois tem a menor perda de carga e emissão de particulados. Os gráficos do poliéster e acrilonitrila copolímero apresentam maiores oscilações entre ponto a ponto, característica de maior variabilidade.

Para as curvas com 10cm/s a perda de carga residual teve uma forte influência devido à deposição de partículas nas estruturas internas do meio filtrante, pois para o poliéster e acrilonitrila copolímero a estabilização da perda de carga ocorreu respectivamente em 358 e 328Pa com 85 e 88 ciclos, por conseguinte a formação da camada de pó e começo da filtração superficial. Já na poli-imida aromática a estabilização ocorreu com menor pressão, 202Pa, após 76 ciclos de limpeza. Segundo os estudos de Mauschitz, Rud e Höflinger (2007), o aumento da perda de carga residual com maior número de ciclos prejudica o desempenho do não tecido, diminuindo a vida útil do meio filtrante. Portanto, conclui-se que a menor pressão para a poli-imida aromática é uma vantagem em relação aos outros materiais, que deve elevar a vida útil do cartucho. Pode-se justificar esta diferença para a poli-imida aromática devido à fibra ter um formato multilobal, com maior superfície filtrante e menor volume de poros em comparação ao poliéster e acrilonitrila copolímero, que possuem formato cilíndrico de fibra e estruturas mais abertas dos meios filtrantes.

As curvas mais convexas com 15cm/s verificaram-se as maiores perdas de cargas residuais e até o número de ciclos estudados não foram suficientes para formar a torta de filtração, sendo necessário um número maior de 100 ciclos para ocorrer o saturamento superficial. Conforme Tanabe (2008) e Rodrigues (2006), as maiores velocidades apresentam um incremento na profundidade de deposição de partículas no interior do meio filtrante, bem como maior acúmulo de particulados. Desta forma, há razão do aumento na resistência do meio filtrante à passagem do ar, acarretando maiores valores de queda de pressão.

Para as curvas de menor velocidade de filtração, 5cm/s, a rápida saturação do meio filtrante é responsável pela coleta de menor quantidade de massa nos ciclos subsequentes, uma vez que as sucessivas limpezas de filtração levam a maior acomodação das partículas no interior das fibras. Os estudos de Tanabe (2008) com poliéster mostram que a deposição nos períodos iniciais de filtração, não implicou

nos entupimentos dos poros, mas numa distribuição mais homogênea das partículas no interior do não tecido. Os resultados são menores perdas de cargas residuais, tortas menos resistentes e uma maior eficiência de coleta de particulados com maiores tempos de vida útil do meio filtrante.

Quanto às emissões de particulados, avaliados comparativamente nos picos máximos das três curvas, a poli-imida aromática apresentou uma emissão praticamente três vezes menor que o poliéster e acrilonitrila copolímero. A curva crescente na emissão é devido a fase inicial de não retenção de pó pelas fibras do meio filtrante, ocorrendo uma rápida emissão até 5 ciclos de limpeza. Posteriormente, ocorreu a queda da curva, devido à impactação inercial dos particulados nas fibras internas do não tecido.

A formação da filtração superficial levou a estabilização das emissões nas curvas com 5 cm/s, embora com maiores oscilações no poliéster, devido à maior facilidade na quebra da torta de filtração. Na velocidade de 10cm/s a estabilização das emissões para os três materiais, coincide com a equalização da perda de carga residual. Já para as curvas de 15cm/s as emissões seguem a mesma tendência da perda de carga residual, com crescimento constante das emissões, pois não ocorre a formação da torta de filtração sobre o cartucho, facilitando a emissão pelo interior do meio filtrante.

4.2 Teste Industrial

Os resultados da aplicação industrial em filtros cartuchos de poli-imida aromática são mostrados para o controle térmico, controle de emissão e controle de pressão diferencial.

4.2.1 Controle Térmico

A Figura 9 mostra o acompanhamento térmico na entrada do filtro após a colocação dos filtros cartuchos de poli-imida aromática. A modulação das condições operacionais indica uma temperatura média entre 100°C e 150°C, com picos máximos próximos a 230°C. Nesta variabilidade térmica a aplicação do não tecido de poli-imida aromática ficou dentro do planejamento.

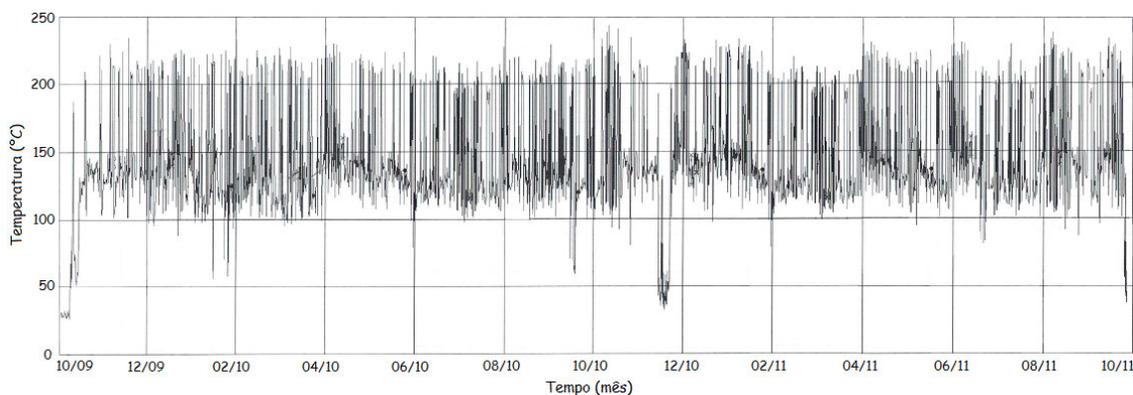


Figura 9 - Acompanhamento da variação térmica na entrada do filtro

Fonte: Dos Autores.

O período inicial em outubro/2009 foi de adaptação do filtro com cartuchos em temperatura ambiente, para verificar a eficácia da filtração sem o efeito térmico depois de formada a torta superficial. Após aprovação elevou-se a temperatura do filtro para as condições normais do processo, por um período contínuo até novembro/2010, quando ocorreu a parada do processo industrial. Após validação das condições dos 16 cartuchos de poli-imida aromática, que estavam em perfeitas condições de uso, elevou-se a temperatura do processo com os mesmos cartuchos em uso. Ao final de outubro/2011 foi terminado o teste industrial sem nenhum dano térmico nos elementos filtrantes.

4.2.2 Controle de Emissão

A Figura 10 mostra o acompanhamento da emissão de particulados pelo filtro. Os níveis de emissão mantiveram-se constantes entre 2 a 4mg/m³ por aproximadamente cinco meses (outubro/2009 a abril/2010). Após, começa uma evolução gradual de emissão até aproximadamente 14mg/m³ no final do período em janeiro/2011, mas abaixo dos padrões máximos de emissão de particulados em 70mg/Nm³, descrita na resolução CONAMA 382/2006 (BRASIL, 2006).

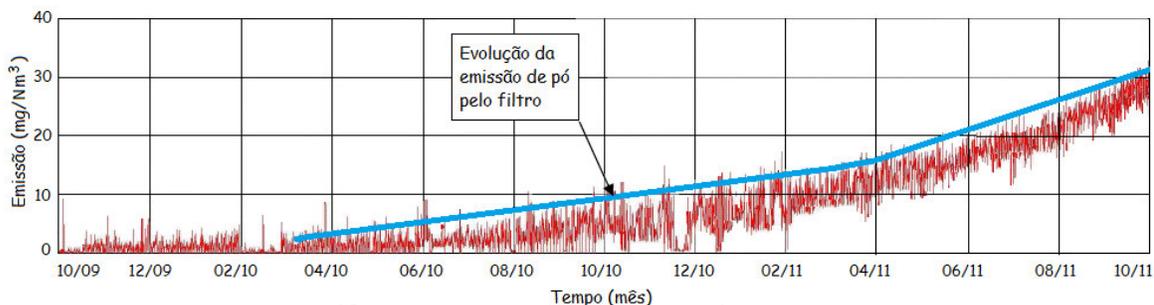


Figura 10 - Acompanhamento da emissão de particulados

Fonte: Dos Autores.

4.2.3 Controle de Pressão Diferencial

A Figura 11 mostra o acompanhamento da pressão diferencial entre as câmaras limpa e suja do filtro. A fase inicial de filtração em profundidade ocorreu em pressão próxima a 25 Pa, com limpeza ajustada em função de tempo no Ecomatic, até a formação da torta de filtração. Na filtração superficial a limpeza foi ajustada por demanda de pressão, com faixa de pressão diferencial entre 100 a 225 Pa. Condição excelente de limpeza para um filtro cartucho, justificada pela baixa velocidade de filtração em 7cm/s. Nos experimentos de Lupión et al. (2010), com PI em filtro de mangas a 220°C, chegou a uma variação da pressão diferencial entre 80 a 180 Pa. Portanto, muito próximas das encontradas para filtro cartucho de PI em teste industrial.

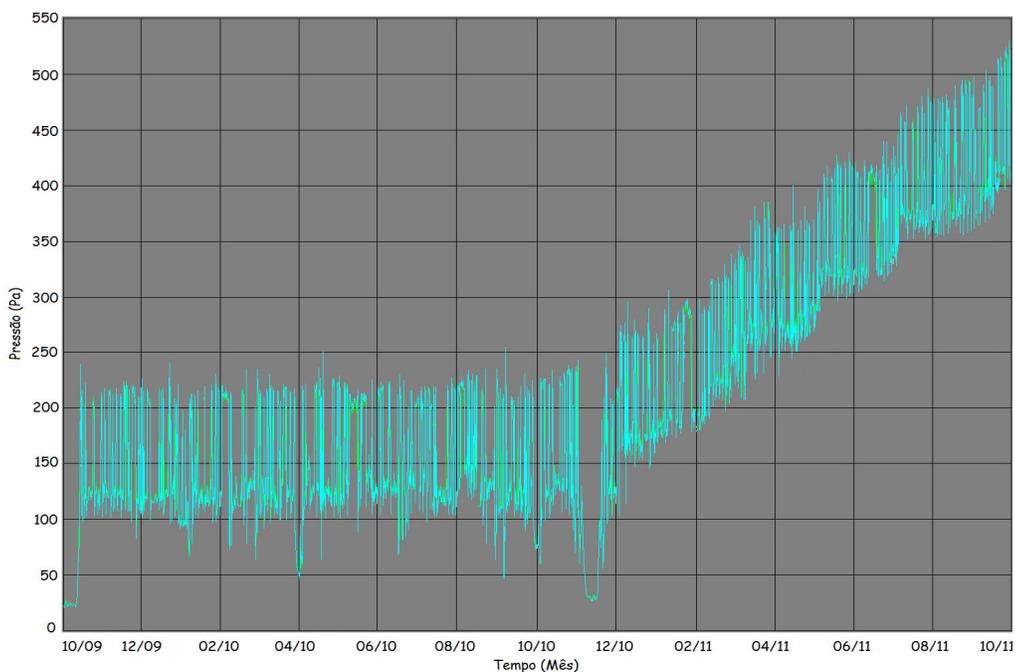


Figura 11 - Acompanhamento do controle de pressão diferencial

Fonte: Dos Autores.

CONCLUSÕES

Os resultados laboratoriais obtidos indicaram que a poli-imida aromática foi mais apropriada para a filtração de polietileno, por apresentar menores taxa de emissão de particulados e perda de carga, o que torna a operação economicamente mais vantajosa para a limpeza do meio filtrante e diminui o desgaste do não tecido. As menores velocidades de filtração em 5cm/s foram as mais adequadas, por apresentar menor perda de carga residual com rápida formação da torta de pó sobre as fibras, para proporcionar a filtração superficial.

O acompanhamento industrial da aplicação comprovou a boa *performance* de filtração para o cartucho de poli-imida aromática, com baixas taxas de emissão de particulados. É possível que as baixas perdas de carga tenham sido um dos principais fatores que contribuíram para o bom controle da emissão.

O presente trabalho proporcionou a mudança dos elementos filtrantes na indústria, substituindo os filtros de mangas de poliéster pela nova tecnologia com filtros cartuchos de poli-imida aromática, devido a Produção Mais Limpa (P+L).

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004**: Resíduos Sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, 2004.

_____. **NBR 10701**: Determinação de pontos de amostragem em dutos chaminés de fontes estacionárias. Rio de Janeiro, 1989.

_____. **NBR 12019**: Efluentes gasosos em dutos e chaminés de fonte estacionárias - Determinação de materiais particulados. Rio de Janeiro, 1990.

_____. **NBR 12827**: Efluentes gasosos com o sistema filtrante no interior de duto ou chaminé de fontes estacionárias. Rio de Janeiro, 1993.

BARBARINI, F. L. **Membranas de peneira molecular de carbono obtidas pela pirólise de poli-imidas ramificadas**. 2010. 73 f. Dissertação (Mestrado em Química)-Pós Graduação em Química, USP, São Carlos, 2010.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. CONAMA. **Resolução CONAMA nº 382, de 26 de dezembro de 2006. Limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas**. 2006.

CERON, L. P. **Desenvolvimento de filtro cartucho de poli-imida para altas temperaturas com resina epóxi DGEBA e novo agente de cura**. 2012. 144 f.

Tese (Doutorado em Engenharia de Materiais)-Pós-Graduação em Engenharia de Materiais, RS, Porto Alegre, 2012.

CERON, L. P.; EINLOFT, S. M. O.; LIGABUE, R. A. Uma nova tecnologia de filtração de particulados de chumbo usando mangas plissadas In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE QUALIDADE AMBIENTAL, 7., Porto Alegre, 2010. **Anais...** Porto Alegre, 2010.

DIAS, T. A eficiência do filtro cartucho. **Meio filtrante**, Santo André, v. 5, n. 23, p.23-26, 2006.

FURIERI, B.; CASTILHO, L. B. **Elaboração de projetos de aperfeiçoamento do sistema de controle de material particulado em uma unidade industrial: processamento final de cimento portland**. 2009. 146 f. Graduação (Monografia em Engenharia Ambiental)-Faculdade em Engenharia Ambiental, ES, Vitória, 2009.

LO, L. M.; HU, S. C.; CHEN, D. R.; PUI, D. Y. H. Numerical study of pleated fabric cartridges during pulse-jet cleaning. **Powder technology**, v. 198, p. 75-81, 2010.

LUPIÓN, M.; ORTIZ, F. J. G.; NAVARRETE, B.; CORTÉS, V. J. Assessment performance of high-temperature. **Fuel**, v. 89, p. 848-854, 2010.

MAUSCHITZ, G.; RUD, H.; HÖFLINGER, W. Particle deposition in the depth of nonwoven dust filter media and its effect on the clogging. In: FILTECH CONFERENCE, Wiesbaden, 2007. **Anais...** Wiesbaden, 2007.

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

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

NOHARA, L. B.; PETRACONI F., G.; NOHARA, E. L.; KLEINKE, M. U.; REZENDE, M. C. Evaluation of carbon fiber surface treated by chemical and cold plasma processes. **Materials Research**, v. 8, n. 3, p. 281-286, 2005.

PALINI, E. Performance & availability of P84/PTFE filter bags on waste to energy plants. In: 10 INTERNATIONAL CONFERENCE ON HIGH TEMPERATURE FILTRATION, 10., Leogang, 2011. **Anais...** Leogang, 2011.

RENNER TÊXTIL. **Manual técnico de fibras**. 3. ed. Cachoeirinha, 2009.

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

RODRIGUES, K. B. **Filtração de gás: estudo da decomposição de diferentes tortas de filtração em diferentes meios filtrantes.** 2006. 230 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química)-Pós-Graduação em Engenharia, UFSC, São Carlos, 2006.

TANABE, E. H. **Estudo do comportamento da deposição das partículas em diferentes meios filtrantes.** 2008. 152 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química)-Pós-Graduação em Engenharia Química, UFSCar, São Carlos, 2008.

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

Currículo Resumido dos Autores

Luciano Peske Ceron

Doutor na PUCRS, Doutorado em Engenharia e Tecnologia de Materiais na PUCRS (filtração de particulados), Mestre em Engenharia e Tecnologia de Materiais na PUCRS (não tecidos), Pós-graduado em Gestão Ambiental pela GAMA FILHO/RJ, Pós-graduado em Gestão Empresarial pela UFRGS, Engenheiro Químico graduado pela PUCRS. Atua como pesquisador na linha de P+L em materiais e processos para mitigação e controle de impactos ambientais.

E-mail: luciano.ceron@pucrs.br

Currículo Lattes: <http://lattes.cnpq.br/9903113583576396>

Sandra Mara Oliveira Einloft

Pós-doutorado na UFRGS e na UPMC-Paris VI, Doutorado em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais pela UFRGS, Mestrado em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais pela UFRGS, Química graduada pela UFSM. Atualmente é professora titular da PUCRS. Tem experiência na área de materiais, com ênfase em polímeros, aplicações, catálise e carbonatação. Atuando principalmente nos seguintes temas: reciclagem química de polímeros, síntese de biopolímeros, síntese de biocombustíveis, bem como em captura de CO₂, carbonatação de aquíferos, carbonatação mineral e de resíduos, visando o sequestro do CO₂ para mitigação de impactos ambientais.

E-mail: einloft@pucrs.br

Currículo Lattes: <http://lattes.cnpq.br/5153951650965699>

Rosane Angélica Ligabue

Pós-doutorado na Université de Bourgogne, Doutorado em Química pela UNESP, Mestrado em Química pela UFRGS, Química graduada pela UFRGS. Atualmente é professora da PUCRS e Coordenadora do Curso de Química Industrial da Faculdade de Química da PUCRS. Tem experiência na área de química e de materiais, com ênfase em compostos organometálicos, catálise e carbonatação com CO₂ supercrítico, atuando principalmente nos seguintes temas: reciclagem química de polímeros, síntese de biopolímeros, síntese de dispersões poliméricas, bem como em captura de CO₂, carbonatação de aquíferos, mineral e de resíduos.

E-mail: rligabue@pucrs.br

Currículo Lattes: <http://lattes.cnpq.br/3135883930320419>