



PRECOATING: INFLUÊNCIA DA UMIDADE E ESPESSURA NA EFICIÊNCIA DE COLETA DE MICROPARTÍCULAS

BÁRBARA K. S. A. ANDRADE^{1*}, RAFAEL SARTIM^{2,3}, MÔNICA L. AGUIAR¹

¹Universidade Federal de São Carlos, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química
Departamento de Engenharia Química

²Global R&D, ArcelorMittal

³Universidade Federal do Espírito Santo, Departamento Engenharia

*e-mail: chataide@ufu.br

RESUMO - O *precoating* consiste em cobrir o meio filtrante com material particulado formando uma camada inicial de pó que é responsável por atingir o ponto de colmatação. Conseqüentemente, aumenta a eficiência da coleta de pó no início da filtração, garante a passagem do fluxo de ar livremente pela bolsa, promovendo melhor descolamento da torta e prolongando sua vida útil. Para analisar a influência da umidade e da espessura da camada de *precoating* na eficiência de coleta de partículas micrométricas, foram realizadas filtrações. Foi avaliada a eficiência do *precoating* na coleta de pó de sinterização primária variando a umidade (0, 5 e 10 %) e a queda de pressão limite (150, e 200Pa). Os melhores valores de eficiência de coleta são obtidos quando a queda de pressão limite do é superior a 200 Pa, pois a torta já está formada. Juntos, a umidade e a queda de pressão limite têm melhor eficiência de coleta quando os valores foram de 5% de umidade e 200 Pa de espessura.

INTRODUÇÃO

O *precoating* consiste em revestir o meio filtrante com material particulado para atingir o ponto de colmatação, que é o ponto de formação da torta. Desta forma, a filtração do material particulado é mais eficiente desde o início, pois a torta, já formada pelo *precoating*, passa a atuar como um elemento filtrante realizando a filtração superficial desde o início. O que faz com que o *precoating* seja eficiente na remoção de partículas submicrônicas. Além de ser mais eficiente, é um processo mais econômico tanto na economia de energia, uma vez que a queda de pressão cresce de maneira mais lenta quanto no fato de aumentar a vida útil das mangas reduzindo a necessidade de trocas (LI; HESS; HÖFLINGER, 2003; SCHILLER; SCHMID, 2014).

A formação da torta através do *precoating* ocorre pela saturação do meio filtrante ao se coletar partículas nas fibras e no material particulado já presente em sua superfície, formando assim os dendritos. Estes se unem para formar a torta que aumenta a espessura ao longo do tempo, elevando assim a área de filtração. Isso causa um aumento linear da massa retida com a máxima queda de pressão (AL-OTOOM, 2005).

Existem muitas variáveis que podem afetar a filtração, a umidade é uma delas. O aumento da umidade provoca uma diminuição na queda de pressão, pois altera a agregação das partículas, criando arranjos de partículas mais compactos dentro do filtro à medida que as partículas aderem mais fortemente às superfícies ou outras partículas até um ponto limite onde a espessura da torta é forçada a ser comprimida e quando o rearranjo da estrutura é concluído (MIGUEL, 2003).

O efeito da umidade é mais significativo com partículas finas e ultrafinas. À medida que o teor de líquido aumenta, a porosidade aumenta até um valor máximo (GUPTA et al., 1993; JOUBERT et al., 2010; MIGUEL, 2003).

Em relação à espessura, à medida que o meio filtrante satura e novas partículas acumulam-se em sua superfície, formando dendritos. Ao passar do tempo, esses dendritos se unem formando uma torta cuja espessura aumenta com o tempo. À medida que a torta cresce em espessura, a área de filtração aumenta, elevando as chances das novas partículas serem coletadas, ocorrendo um aumento linear da massa retida com a queda de pressão máxima (AL-OTOOM, 2005).

A espessura da torta é fortemente afetada pelo número de partículas e pelo diâmetro médio da massa das partículas. A espessura aumenta com o tamanho da partícula, bem como com o número líquido de partículas depositadas. À medida que a espessura aumenta, a porosidade média diminui. Isto poderia ser explicado pela cobertura da camada inicial com partículas maiores, o que impede as demais partículas de atingirem as camadas internas, as partículas menores não se acomodam nas regiões mais profundas. Acredita-se que em espessuras menores, as partículas são influenciadas por uma maior força de arrasto resultante das diferenças de queda de pressão entre os lados positivo e negativo do filtro. Isso significa que as partículas neste nível podem ser arrastadas para o meio filtrante com menos resistência de outras partículas depositadas (AL-OTOOM, 2005; SCHMIDT, 1995).

Em espessuras mais altas, essa resistência torna-se maior (devido ao maior número de partículas o que induz a compressões locais), e a suposição de que todas as partículas em colisão que aderem à superfície se tornam mais adequadas. É claramente visto que a queda de pressão através da torta de filtro aumenta com a diminuição do tamanho médio das partículas. Isso é esperado desde tamanhos de partícula menores tendem a formar porosidades médias mais baixas dentro da torta de filtro, aumentando assim a queda de pressão através dele (AL-OTOOM, 2005; SCHMIDT, 1995).

Com base nisso, o objetivo deste trabalho é avaliar a eficiência de coleta na filtração do *precoating* variando a espessura e o valor da umidade.

MATERIAIS E MÉTODOS

Os testes de filtração foram feitos na unidade de filtração de micropartículas APS (Sizer Aerodynamic Particle Spectrometer) veja a Figura 1.

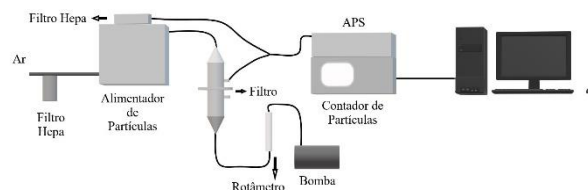


Figura 1: Vista esquemática da unidade APS.

O *precoating* foi feito com cal hidratada e o pó utilizado para filtração foi de sinterização (vide Figura 2).

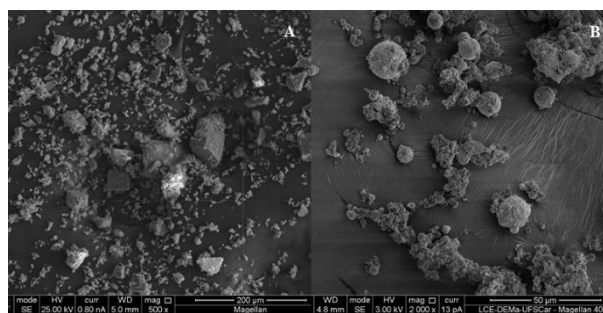


Figura 2: Imagens SEM dos pós: a) cal hidratada, b) pó de sinterização.

Ponto de colmatção

Afim de avaliar o crescimento da queda de pressão em função da massa depositada, com o objetivo de determinar o ponto de colmatção, foi alimentado ao APS da Figura 1 cal hidratada à 0% de umidade e utilizado como meio filtrante poliéster. À medida que a filtração ocorreu, foram aferidas a queda de pressão e a massa de cal depositada no filtro.

Espessura do *precoating*

A espessura do *precoating* foi controlada à partir da queda de pressão limite. Foram definidos dois valores de queda de pressão para os experimentos de filtração, 150 e 200Pa. Esses valores foram escolhidos por

serem a faixa de formação da torta segundo resultado do item acima. Os valores de espessura foram calculados através de Ergun.

Eficiência de coleta variando a umidade

Afim de avaliar a eficiência de coleta do meio filtrante de poliéster para partículas micrométricas, foram feitos testes de filtração no tecido limpo com cal hidratada variando a umidade em 0, 2,5, 5, 7,5, 10, 12,5, 15 e 17%.

Eficiência de coleta variando a umidade e espessura

Alguns desses valores de umidade (0, 5, e 10%) foram escolhidos para reproduzir os testes de eficiência, porém, a cal hidratada úmida é utilizada para o *precoating*, e material particulado filtrado é o pó de sinterização. Nestes testes de eficiência de filtração para micropartículas, variou-se a espessura do *precoating* utilizando como variável de controle a queda de pressão limite nos valores de 150 e 200Pa.

Primeiramente, alimentou-se a cal hidratada no APS da Figura 1 até a queda de pressão determinada. Após atingir esse valor, iniciou-se a filtração. Para tal, era iniciada a alimentação de material particulado de sinterização primária e eram feitas as amostragens isocinéticas antes e após o filtro com *precoating*.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Ponto de colmatação

Avaliando a queda de pressão, à medida que pó é alimentado, a torta cresce em espessura e eleva a queda de pressão. É possível avaliar esse comportamento de forma mais detalhada ao observar o crescimento da queda de pressão em função da massa depositada na Figura 3 e através da determinação do ponto de colmatação.

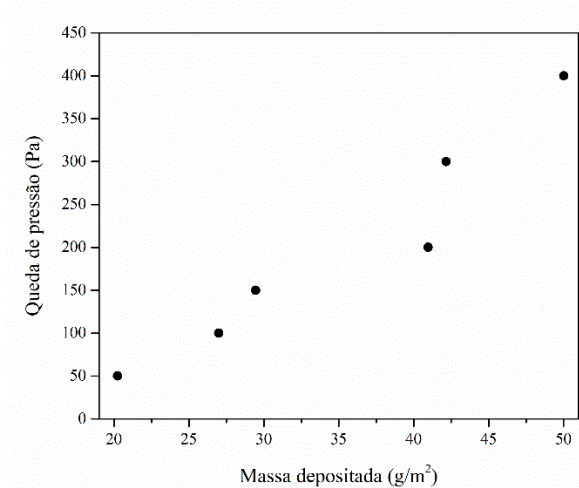


Figura 3: Queda de pressão em função da massa depositada

A previsão do momento exato de formação da torta, ponto de colmatação, é difícil de se obter fisicamente porque os tecidos não são materiais uniformes. O ponto de colmatação é caracterizado na curva de massa depositada por uma rápida aceleração na queda de pressão (WALSH; STENHOUSE, 1997b).

A partir desse ponto, a eficiência de coleta aumenta porque a filtração passa a ser de superfície (BOURROUS *et al.*, 2016). A partir da Figura 5, foi possível obter o ponto de colmatação aproximado pois, após a formação da torta a queda de pressão tem o aumento mais acelerado ocorrendo aproximadamente ao atingir 200 Pa.

Espessura do *precoating*

A espessura do *precoating* variando o limite de queda de pressão pode ser vista na Tabela 1. Como esperado, a espessura aumenta uma vez que mais pó foi alimentado ao sistema.

Tabela 1: Espessura de *precoating* variando o limite de queda de pressão

Queda de pressão (Pa)	Espessura (mm)
150	0.302
200	0.383

À medida que o material particulado é alimentado, o meio filtrante satura e novas partículas acumulam-se em sua superfície, formando dendritos. Ao passar do tempo, esses dendritos se unem formando uma torta cuja

espessura aumenta com o tempo, causando a diminuição da porosidade (AL-OTOOM, 2005; SCHMIDT, 1995).

Eficiência de coleta variando a umidade

Os resultados de eficiência de coleta variando a umidade da cal hidratada de 0 à 17% pode ser visto na Figura 4. É possível observar que os maiores valores de eficiência de coleta são obtidos para menores umidade. Porém, para as umidades de 12,5 e 15%, a eficiência de coleta foi superior à valores de umidade menores. Isso ocorre porque com a umidade há um acréscimo no diâmetro de partícula devido à formação de grânulos que ocorrem através forças das pontes líquidas. Esse aumento no diâmetro das partículas facilita a coleta para a faixa de 0,523 à 5 μ m.

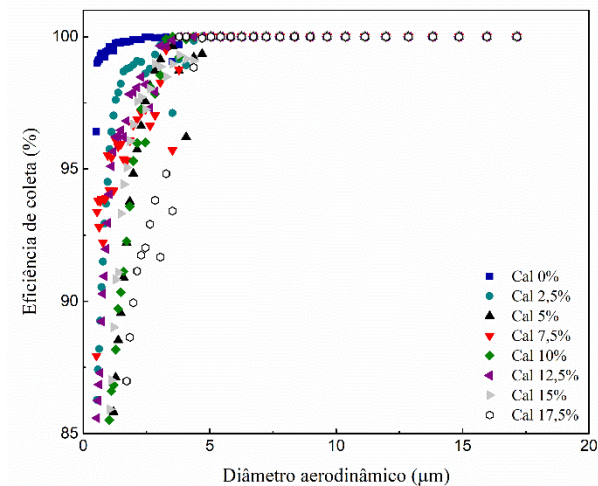


Figura 4: Eficiência de coleta do poliéster variando a umidade da cal hidratada.

Eficiência de coleta variando a umidade e espessura

Os resultados de eficiência de coleta dos testes de filtrações variando a umidade e queda de pressão podem ser vistos na Figura 5. As espessuras de *precoating* de 150 e 200 Pa não apresentaram diferença significativa na eficiência de coleta.

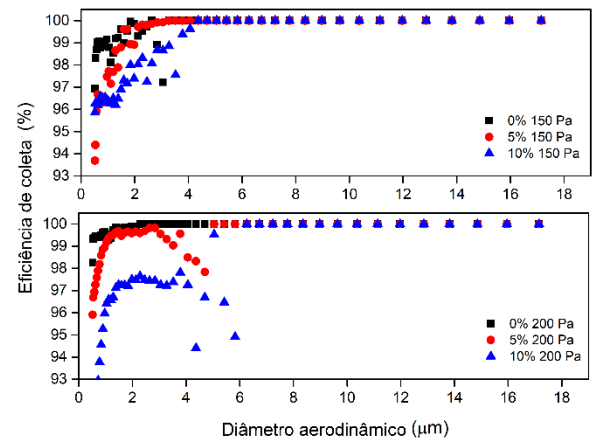


Figura 5: Eficiência de coleta variando a umidade e o limite de queda de pressão do *precoating* (espessura)

A eficiência de coleta é maior à 0% de umidade, como esperado, pois, a presença de umidade aumenta a porosidade na camada de *precoating*. Pela mesma razão, à medida que os valores de umidade aumentam, a eficiência de coleta diminui. E este efeito é mais significativo uma vez que a espessura da camada de *precoating* é maior (200 Pa).

Isso ocorre porque o tamanho da partícula de cal hidratada foi aumentado pela umidade, a força de adesão é aumentada pelas pontes capilares, favorecendo a formação de dendritos; e as cargas eletrostáticas entre as fibras e as partículas são reduzidas. A explicação mais provável para esses fenômenos é a influência da alta umidade nas propriedades elétricas das partículas que influenciam a estrutura da torta, influenciando dessa forma, a eficiência de coleta. (LI; LI; ZHOU, 2016; MORRIS; ALLEN, 1996).

Em ambos os casos, 0 e 5% de umidade apresentaram maiores eficiências de coleta e, 10% apresentou menores valores de eficiência. Esse decaimento na eficiência de coleta ao aumentar a umidade ocorre pela formação de grânulos durante o *precoating*, quanto maior a umidade mais grânulos são formados. Isso ocorre devido ao aumento da porosidade da torta causada por uma ponte líquida entre partículas vizinhas cujas formas se aproximavam de uma forma esférica através da absorção conforme a umidade aumenta. Se a umidade relativa for alta, as forças capilares causadas pela tensão superficial entre as

camadas moleculares adsorvidas de água também são importantes (MORRIS; ALLEN, 1996; PARK; YOO; SEUNG, 2007).

O *precoating* com 10% de umidade apresentou os menores valores de eficiência de coleta até 7 μ m. E, avaliando a queda de pressão limite de 200Pa, a eficiência de coleta foi menor para 5 e 10%. Isso ocorre, pois a umidade apresentou maior efeito que a espessura no *precoating*.

Entretanto, ao analisar a eficiência de coleta para o material particulado com 0% de umidade, é possível notar que a eficiência de coleta aumentou com o aumento da queda de pressão limite do *precoating*.

CONCLUSÕES

Ao realizar o *precoating*, quanto maior a massa alimentada, maior a espessura obtida, o que ocasiona em uma maior compactação aumentando, assim, a queda de pressão. A maior compactação, devido ao aumento da espessura, causou uma diminuição da porosidade.

De forma geral, o *precoating* aumentou a eficiência de coleta de micropartículas. Quanto menor a umidade, maior a eficiência de coleta para toda a faixa de diâmetro. Com o aumento da umidade da cal hidratada, há um aumento do diâmetro aerodinâmico e da área superficial devido à penetração das moléculas de água nos poros e à formação de grânulos. Quanto maior a umidade, mais grânulos são formados. Isso ocasiona um aumento na porosidade da camada de *precoating*, que reduz a eficiência e causa um crescimento lento da queda de pressão.

A eficiência de coleta não apresentou diferença significativa variando a queda de pressão. Juntos, a umidade e a queda de pressão limite têm melhor eficiência de coleta quando os valores foram de 0% de umidade e 200 Pa ou 0,383mm de espessura.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi apoiado pela Global P&D Brasil, ArcelorMittal, Conselho Nacional

de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) número grande (2016/20500-6), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da Universidade Federal de São Carlos pelo apoio financeiro e Laboratório de Controle da Poluição do Ar (LCA - UFSCar) pelas valiosas orientações.

REFERÊNCIAS

- AL-OTOOM, A. Y. Prediction of the collection efficiency, the porosity, and the pressure drop across filter cakes in particulate air filtration. **Atmospheric Environment**, [S. l.], v. 39, n. 1, p. 51–57, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2004.09.057>
- BOURROUS, S. *et al.* Measurement and modeling of pressure drop of HEPA filters clogged with ultrafine particles. **Powder Technology**, [S. l.], v. 289, p. 109–117, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2015.11.020>
- GUPTA, A. *et al.* Effect of humidity and particle hygroscopicity on the mass loading capacity of high efficiency particulate air (hepa) filters. **Aerosol Science and Technology**, [S. l.], v. 19, n. 1, p. 94–107, 1993. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/02786829308959624>
- JOUBERT, A. *et al.* Modelling the pressure drop across HEPA filters during cake filtration in the presence of humidity. **Chemical Engineering Journal**, [S. l.], v. 166, n. 2, p. 616–623, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2010.11.033>
- LI, J.; LI, S.; ZHOU, F. Effect of moisture content in coal dust on filtration and cleaning performance of filters. **Physicochemical Problems of Mineral Processing**, [S. l.], v. 52, n. 1, p. 365–379, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.5277/ppmp160131>

- LI, X.Z., H. Hess, W. Höflinger, Influence of operating parameters on precoat layers built up under crossflow condition, *Sep. Purif. Technol.* 31 (2003) 269–280. doi:10.1016/S1383-5866(02)00204-6.
- MIGUEL, A. F. Effect of air humidity on the evolution of permeability and performance of a fibrous filter during loading with hygroscopic and non-hygroscopic particles. [*S. l.*], v. 34, p. 783–799, 2003. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0021-8502\(03\)00027-2](https://doi.org/10.1016/S0021-8502(03)00027-2)
- MORRIS, K.; ALLEN, R. W. K. The influence of dust and gas properties on cake adhesion in fabric filters. **Filtration and Separation**, [*S. l.*], v. 33, n. 4, p. 339–343, 1996. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0015-1882\(97\)84224-3](https://doi.org/10.1016/S0015-1882(97)84224-3)
- PARK, O. H.; YOO, G. J.; SEUNG, B. J. A lab-scale study on the humidity conditioning of flue gas for improving fabric filter performance. **Korean Journal of Chemical Engineering**, [*S. l.*], v. 24, n. 5, p. 717–722, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11814-007-0032-8>
- SCHILLER, S.; H.J. Schmid, Ultrafine dust filtration using precoat materials considering the influence of filter media, *Chem. Eng. Technol.* 37 (2014) 1009–1020. doi:10.1002/ceat.201300856.
- SCHMIDT, S. Experimental Investigations into the Compression of Dust Cakes Deposited on Filter Media. **Filtration & Separation**, [*S. l.*], n. September, p. 789–793, 1995.
- WALSH, D. C.; STENHOUSE, J. I. T. The effect of particle size, charge, and composition on the loading characteristics of an electrically active fibrous filter material. **Journal of Aerosol Science**, [*S. l.*], v. 28, n. 2, p. 307–321, 1997 a. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0021-8502\(96\)00434-X](https://doi.org/10.1016/S0021-8502(96)00434-X)