

CONTROLE DE MATERIAL PARTICULADO ORIGINADO DA QUEIMA DE PALHA E BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR EM LAVADOR VENTURI

B. M. SILVA¹, S. G. COELHO¹, G. M. DONATO¹, K. J. DUSSÁN¹, M. A. M. COSTA¹,

¹ Universidade Estadual Paulista, Instituto de Química – Departamento de Bioquímica e Tecnologia

RESUMO – O Brasil dispõe de uma vasta matriz energética, em que a biomassa vem ocupando o seu espaço com um crescimento nos últimos cinco anos. Porém, a principal utilização da biomassa compreende processos termoquímicos de combustão industrial, ocasionando emissão de poluentes como material particulado (MP), monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NO_x), entre outros que impactam a saúde ambiental e humana. O controle da emissão desses componentes na atmosfera se faz necessário e pode ser feita por equipamentos como ciclones, filtros de manga, precipitadores eletrostáticos e lavadores de gases. Este trabalho teve por objetivo monitorar o controle da taxa de emissão de material particulado num lavador Venturi, a partir da queima de 50% de palha e 50% de bagaço de cana-de-açúcar em um queimador de escala laboratorial. Foram posicionados amostradores isocinéticos antes e depois do Venturi com capacidade de amostragem em 3 faixas de diâmetro: MP maior que 2,5 µm; entre 1,0 e 2,5 µm; e menor que 1,0 µm. Os testes evidenciaram que a concentração de MP antes do fluxo gasoso atingir o lavador Venturi foi maior para partículas com diâmetros menores que 1,0 µm e menor para partículas maiores que 2,5 µm; e que as taxas de concentração de MP foram menores após o lavador Venturi para as três faixas de diâmetro. Obteve-se uma eficiência de coleta de MP de 96,6% para partículas maiores que 2,5 µm; de 85,5% para partículas entre 1,0 µm e 2,5 µm; e de 66,9% para partículas menores que 1,0 µm.

1. INTRODUÇÃO

A busca por fontes renováveis vem crescendo à medida que se aumenta a demanda por energia, juntamente com o aumento populacional no mundo. Dentro desse panorama, a biomassa ocupou um grande espaço no setor energético mundial e se tornou um forte representante na geração de energia renovável, principalmente em países com enorme potencial agrícola como o Brasil (Shikida, 2014).

A cana-de-açúcar é a modalidade de biomassa mais utilizada no Brasil (Goldemberg, 2017) devido à grande disponibilidade agrícola desse produto e à geração de etanol (sacarose), calor e eletricidade (bagaço de cana). Para a produção de energia através da biomassa, o material passa por um processo de queima industrial onde o vapor quente liberado é utilizado para movimentar turbinas geradoras de energia. De acordo com Sharma

(2017), o vapor resultante da combustão contém uma enorme quantidade de íons inorgânicos (NO_3^- , SO_4^{2-} , NH_4^+ , K^+), material particulado (MP), compostos orgânicos voláteis (benzeno, levoglucosano), entre outros, que eventualmente são emitidos para a atmosfera ou se concentram nos espaços fechados onde são gerados, causando um impacto tanto na saúde ambiental como daqueles que operam equipamentos para queima.

Desta forma, é de grande importância o controle das taxas de emissão de material particulado nos equipamentos queimadores de biomassa. Esse controle pode ser realizado por equipamentos como ciclones, torres de nebulização, *scrubbers*, precipitadores e lavadores de gases. Dentre esses, o lavador do tipo Venturi foi utilizado neste trabalho para avaliar a capacidade de captura do material particulado gerado na queima. Lora (2002) explica que o lavador Venturi coleta o material particulado misturado com os gases da combustão, ou ambos, a partir da injeção de um jato de líquido na garganta do equipamento, de forma que o líquido, geralmente água, seja nebulizado pelo choque com o gás em alta velocidade. Assim, há a formação de gotículas de líquido que coletam o material particulado contido no gás, como mostrado na Figura 1. Segundo Natale *et al.* (2018), a eficiência de um lavador Venturi depende da relação líquido/gás, comprimento da garganta e velocidade do gás no interior do equipamento, mas ela pode chegar a valores maiores que 90% para partículas maiores que $0,45 \mu\text{m}$.

Figura 1 – Fluxo de gás em um lavador de Venturi.



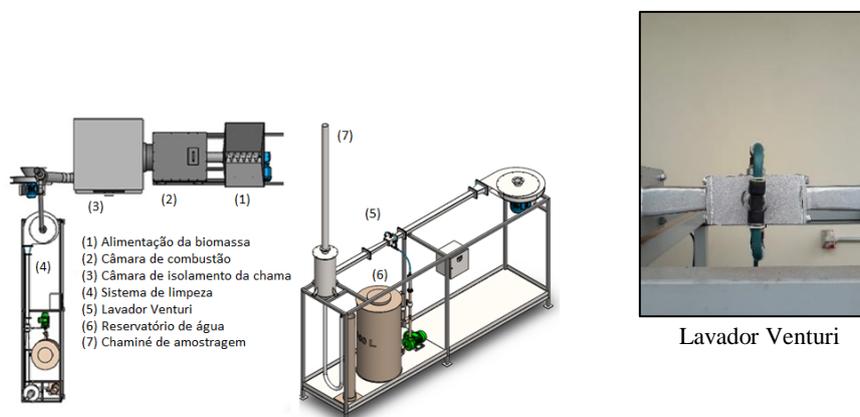
Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar o controle na emissão de material particulado provindo da queima de biomassa e, conseqüentemente, verificar a eficiência do lavador Venturi nesse controle, por meio de amostragens isocinéticas simultâneas, antes e após o lavador.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para os testes foram utilizados a palha de madeira e o bagaço de cana-de-açúcar, numa proporção de 1:1. Todo o material de queima foi previamente moído e seco naturalmente ao ar livre para a retirada de água, tendo uma umidade final em torno de 7%.

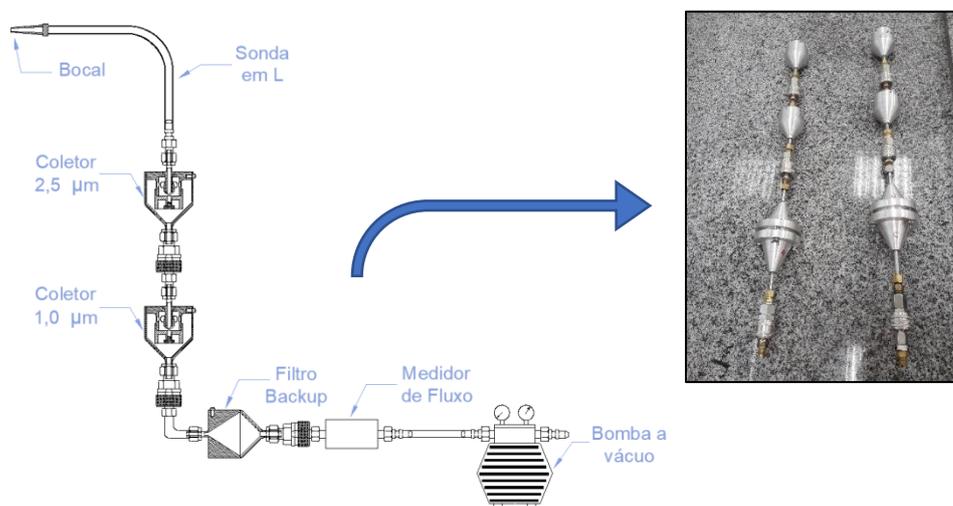
Utilizou-se um queimador em escala piloto de 13 m de comprimento e 4 m de largura, que possui funções automatizadas e é composto basicamente por um alimentador rotativo, um queimador de biomassa, sopradores, ventiladores e um ciclone, conforme a Figura 2. Tubos de Pitot e termo-anemômetros foram utilizados para a caracterização dos fluxos no interior do queimador. O lavador Venturi, localizado entre o queimador e o ciclone, possui geometria retangular, com garganta de 11,7 cm de comprimento, 2,4 cm de largura e 3,5 cm de altura.

Figura 2 – Esquema do queimador em escala piloto utilizado para os testes.



As amostragens foram feitas posicionando-se amostradores isocinéticos antes e depois do Venturi, simultaneamente. Os amostradores isocinéticos coletam material particulado em três faixas de diâmetro: MP maior que 2,5 μm ; MP entre 1,0 e 2,5 μm ; e MP menor que 1,0 μm . Este sistema de amostragem consiste de sondas e bocais isocinéticos, bombas de sucção, válvulas agulha e medidores de vazão para a captura do material particulado nas tubulações do equipamento de forma isocinética, como ilustrado na Figura 3.

Figura 3 – Amostradores isocinéticos de três estágios.



O teste ocorreu em velocidade constante de gás na garganta de 70,2 m/s e razão líquido-gás de 1,0 l/m³, com injeção de líquido, no caso água, através de 4 orifícios de diâmetro de 2,05 cm e vazão de líquido de 3,5 L/min. A duração da amostragem foi de 20 minutos. Todos os filtros utilizados para o teste foram previamente secos e pesados. Após o teste os filtros foram resfriados e posteriormente pesados.

A taxa de emissão de material particulado é calculada a partir da concentração de MP e a vazão volumétrica de gás no ponto amostrado, de acordo com a Equação 1.

$$T_E = C \times Q_G \quad (1)$$

T_E : taxa de emissão (kg/h⁻¹)

C : concentração de material de particulado ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)
 Q_G : vazão volumétrica do fluxo gasoso ($\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$)

A eficiência fracionária na coleta de material particulado pelo Venturi é calculada com base nas concentrações de MP nas diferentes faixas de tamanho que haviam antes e depois dos gases de exaustão proveniente da queima passar pelo lavador, como mostra a Equação 2.

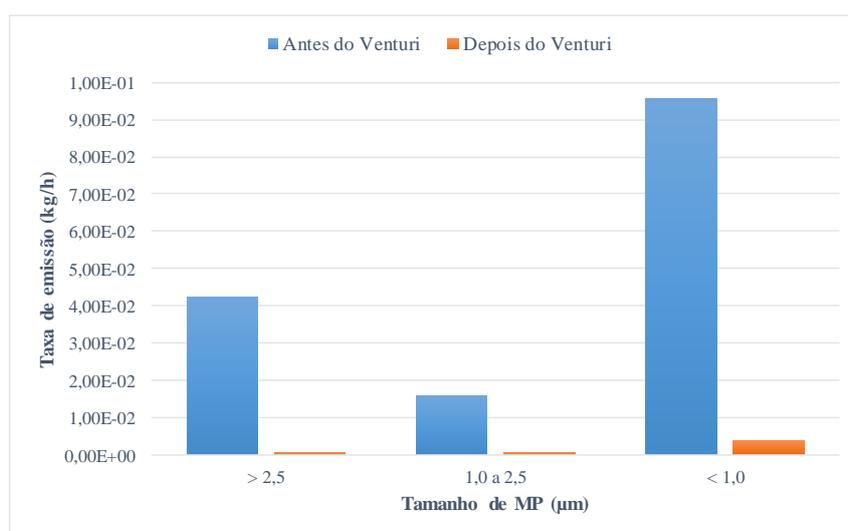
$$E = \frac{C_i - C_f}{C_i} \times 100 \quad (2)$$

E : eficiência fracionária de coleta (adimensional)
 C_i : concentração inicial de material particulado ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)
 C_f : concentração final de material particulado ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 4 mostra as taxas de emissão de material particulado de acordo com o tamanho de MP coletado antes e depois do lavador Venturi, respectivamente.

Figura 4 – Taxa de emissão segundo o tamanho de MP antes do Venturi.



Pela figura acima, nota-se a grande quantidade de material particulado fino que é removida da corrente gasosa, o que reflete nas eficiências de coleta mostradas na Tabela 1.

Tabela 1 – Eficiência fracionária de coleta segundo o tamanho de MP.

Tamanho de MP (µm)	Eficiência de coleta (%)
> 2,5	96,6
1,0 a 2,5	85,5
< 1,0	66,9
Particulado total	77,0

A partir dos dados, observa-se que a queima gerou uma grande quantidade de MP, principalmente aquelas de tamanho menor que $1,0 \mu\text{m}$, as mais danosas a saúde. Isso reitera a

capacidade do Venturi de capturar partículas maiores que as ultrafinas, que desviam do jato líquido com mais facilidade, dificultando a sua captura e a sua posterior separação no ciclone.

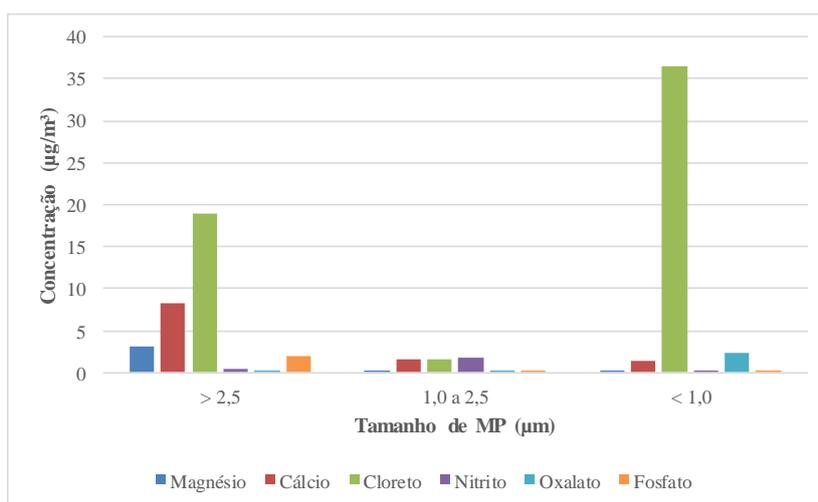
É possível observar que o lavador Venturi foi bem eficiente na coleta de MP maior que $2,5\ \mu\text{m}$ e entre $1,0$ e $2,5\ \mu\text{m}$, porém há uma quantidade considerável de MP menor que $1,0\ \mu\text{m}$. Isso também é observado nos testes de Mi e Yu (2012), em que a eficiência de remoção das partículas de $10\ \mu\text{m}$ e $45\ \mu\text{m}$ foi de 95,1% e 92,7%, respectivamente.

Já as eficiências de coleta de material particulado total, para diferentes velocidades de gases, obtidas por Ali *et al.* (2013) foram de mais de 93,5%, chegando a um máximo de 99,5%. Na menor velocidade de gás na garganta utilizada por Ali *et al.* (2013), equivalente a 130 m/s, a uma vazão de líquido de $0,3\ \text{m}^3/\text{h}$ (5 L/min), obteve-se uma eficiência de quase 94%. Neste trabalho, utilizou-se velocidade de gás na garganta e vazão de líquido menores do que a de Ali *et al.* (2013), de 70,2 m/s e 3,5 L/min, respectivamente, mostrando que possivelmente houve a formação de filmes líquidos com material particulado nas paredes do duto ao invés de formar gotículas com aglomerados de poluentes, diminuindo a eficiência de coleta.

Foi obtida penetração máxima de jato de 1,3 cm e fração de filme líquido de 0,32 pelo modelo de Viswanathan (1997), o que evidencia uma formação considerável de filme líquido na garganta do Venturi devido à penetração máxima do jato estar abaixo da metade da altura da garganta (1,7 cm), no qual seria o ponto ideal para a melhor formação de aglomerados de MP.

A Figura 5 fornece os resultados da análise química dos filtros que coletaram o material particulado vindo da queima da biomassa.

Figura 5 – Composição iônica do material particulado antes do Venturi.



A queima de biomassa gera uma quantidade considerável de íons como cálcio, magnésio e cloreto, como observado na figura. Cálcio e magnésio se aglomeram em partículas de maiores diâmetros e por isso estão mais presentes nos MP de $2,5\ \mu\text{m}$ (Oliveira, 2007). É esperado também que o cloreto se apresente em maior quantidade nas partículas de



menor diâmetro, por se aglomerarem melhor nessa faixa em emissão de processos de combustão (Freitas e Solci, 2009).

4. CONCLUSÕES

O teste com a queima de biomassa retificou a eficiência de coleta do lavador Venturi no controle da emissão de MP para partículas maiores que $2,5 \mu\text{m}$ e entre $1,0$ e $2,5 \mu\text{m}$. Assim, a eficiência de coleta dessas partículas foi satisfatória, porém ela pode ser melhorada a partir de valores mais adequados da razão líquido/gás no Venturi ou maiores velocidades de gás no duto. É interessante ressaltar a importância dos estudos acerca de mecanismos de coleta como o lavador Venturi em equipamentos industriais, pois a liberação do material particulado na queima, principalmente o ultrafino, é muito alta e implica na diminuição da qualidade tanto do ar quanto humana.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALI, M.; YAN, C.; SUN, Z.; GU, H.; MEHBOOB, K.; *Dust particle removal efficiency of a venturi scrubber*. Annals of Nuclear Energy, v. 54, p. 178-183, 2013.
- FREITAS, A. M.; SOLCI, M. C.; *Caracterização do MP_{10} e $MP_{2,5}$ e distribuição por tamanho de cloreto, nitrato e sulfato em atmosfera urbana e rural de Londrina*. Química Nova, v. 32, nº 7, p. 1750 – 1754, 2009.
- GOLDEMBERG, J.; *Atualidade e Perspectivas no Uso de Biomassa para Geração de Energia*, Revista Virtual de Química, v. 9, nº 1, p. 15 – 28, 2017.
- LORA, E. E. S.; *Prevenção e Controle da Poluição nos Setores Energético, Industrial e de Transporte*, 2 ed., Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2002.
- MI, T. e YU, X. M. *Dust removal and desulphurization in a novel venturi scrubber*. Chemical Engineering and Processing: Process Intensification, v. 62, p. 159-167, 2012.
- NATALE, F. D.; MOTTA, F. L.; CAROTENUTO, C.; TAMMARO, M.; LANCIA, A.; *Condensational growth assisted Venturi scrubber for soot particles emissions control*, Fuel Processing Technology, v. 175, p. 76 – 89, 2018.
- OLIVEIRA, M. G. L.; *Evolução das distribuições de tamanho em massa e número do aerosol atmosférico em São Paulo*. Dissertação de mestrado, USP, 2007.
- SHARMA, S. K.; MANDAL, T. K.; *Chemical composition of fine mode particulate matter ($PM_{2,5}$) in an urban area of Delhi, India and its source apportionment*, Urban Climate, 2017.
- SHIKIDA, P. F. A.; *Evolução e fases da agroindústria canavieira no Brasil*, Revista de Política Agrícola, v. 23, nº 4, 2014.
- VISWANATHAN, S; *Modeling of Venturi scrubber performance*. Industrial and Engineering Chemistry Research, v. 36, nº 10, p. 4308 – 4317, 1997.