



# INFLUÊNCIA DE PARÂMETROS DE OPERAÇÃO NA FORMAÇÃO DE FILME LÍQUIDO EM LAVADOR VENTURI DE SEÇÃO CIRCULAR

L. P. BORGES<sup>1</sup>, V. G. G. BÉTTEGA<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal de São Carlos, Departamento de Engenharia Química  
E-mail para contato: borgeslaira@hotmail.com

**RESUMO** – Lavadores Venturi são equipamentos amplamente utilizados em escala industrial na limpeza de gases. O equipamento utiliza um líquido na lavagem do gás, comumente água, inserido na região da garganta. O fluido atomiza-se, formando gotas, capazes de incorporar o elemento a ser removido da corrente gasosa. Durante o processo, parte dessas gotas depositam-se na parede do lavador, formando um filme, sem participação efetiva na limpeza do gás. Esse estudo teve como objetivo quantificar a fração de filme de um lavador Venturi de seção circular com diâmetro de garganta de 20 mm, variando velocidade do gás de limpeza e número de orifícios de injeção de líquido. Observou-se maior influência do número de orifícios de injeção sobre a formação de filme. Posteriormente os dados obtidos foram comparados ao modelo empírico de Viswanathan *et al.* (1997). O modelo proposto não foi capaz de reproduzir os dados experimentais e um ajuste foi realizado, resultando em um novo equacionamento capaz de reproduzir os dados.

## 1. INTRODUÇÃO

Lavadores Venturi são equipamentos utilizados na escala industrial em operações de limpeza de gases e controle de poluentes, oferecendo eficiência de coleta de partículas na faixa respirável (0,5 a 5,0  $\mu\text{m}$ ) superior à 90%. O equipamento consiste em um tubo, normalmente, de seção transversal circular, composto por três partes básicas: seção convergente, por onde entra o ar; garganta, onde é injetado o líquido de lavagem; e a seção divergente, por onde saem o ar limpo e o líquido (Guerra, 2010).

Quando um líquido é injetado perpendicularmente a uma corrente gasosa em um Venturi, ele percorre uma distância no sentido radial do equipamento antes de ser atomizado. A máxima distância percorrida é chamada de penetração máxima de jato, e é expressa pela equação 1, onde  $l^{**}$  é a penetração máxima;  $d_0$  é o diâmetro do orifício de injeção;  $\rho_l$  é a densidade do líquido;  $\rho_g$  é a densidade do gás e  $V_{g,th}$  é a velocidade do gás na garganta;  $Q_l$  é a vazão total de líquido inserida no lavador;  $d_0$  é o diâmetro do orifício de injeção e  $N_0$  o número de orifícios de injeção de líquido. A penetração do jato influencia a dispersão do líquido no interior do equipamento. O choque do líquido com o gás em alta velocidade provoca a sua atomização, formando inúmeras gotas. O material particulado colide com as gotas, e devido a interação entre os dois acaba sendo carregado pelo líquido. Entretanto, uma parte dessas gotas depositam-se nas paredes do lavador, formando um filme, que não atua



efetivamente na limpeza do gás. Logo, esse líquido é descartado da mesma forma como entrou, sendo necessário a injeção de mais líquido para compensar o perdido (Guerra, 2009). Dessa forma, a análise da fração de filme permite identificar configurações com menor perda de líquido, podendo proporcionar o aumento da eficiência de coleta.

$$\frac{l^{**}}{d_0} = 0,1145 * \frac{\rho_l}{\rho_g * V_{g,th}} * \frac{4 * Q_l}{\pi * d_0^2 * N_0} \quad (1)$$

Em 1997, Viswanathan *et al.* propuseram uma correlação empírica para o cálculo da fração de filme de um lavador Venturi retangular, com dimensões da garganta de 6" por 3", expressa pela Equação 2, onde  $\frac{L}{G}$  é a razão entre as vazões volumétricas de líquido e gás, em L/m<sup>3</sup>;  $R_0$  é a metade da distância entre a parede pela qual o líquido está sendo injetado e a parede oposta, em m;  $d_0$  é o diâmetro do orifícios de injeção de líquido, em m;  $MW_g$  é o peso molecular do gás, em g/mol;  $\rho_g$  é a densidade do gás, em kg/m<sup>3</sup>; e  $V_{g,th}$  é a velocidade do gás na garganta, em m/s.

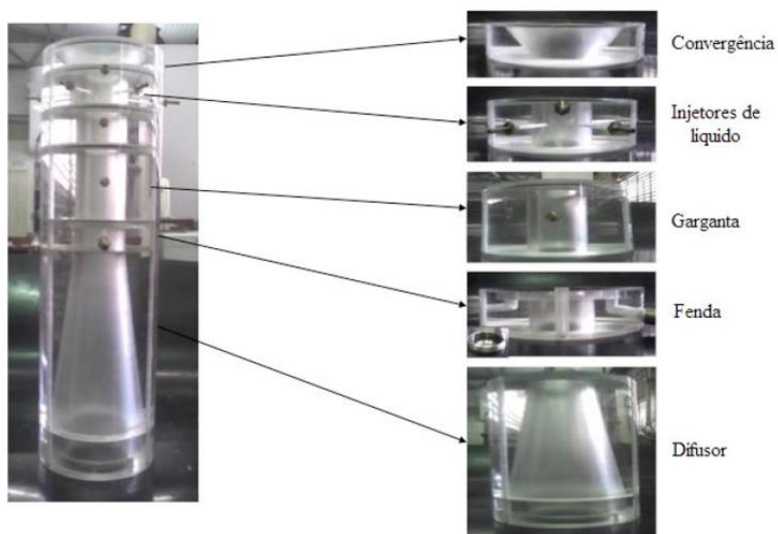
$$F_f = 3,92 * 10^5 * \left( \frac{L}{G} * \frac{R_0}{d_0} * \frac{MW_g}{\rho_g} \right)^{-1,7} * (V_{g,th})^{-1,29} \quad (2)$$

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1. Equipamento

Foi utilizado um lavador Venturi de escala laboratorial, de seção transversal circular, com diâmetro da garganta de 20 mm, diâmetro de entrada e saída de 35 mm, comprimento da seção convergente de 11 mm e seção divergente de 86 mm. Os lavadores foram construídos a partir de um cilindro maciço de resina acrílica e posteriormente dividido em cinco pesas usinadas de modo que, quando encaixados foram o lavador, como pode ser visto na **Figura 1**.

Figura 1 - Estrutura do lavador utilizado.



Fonte: Guerra, 2010.

## 2.2 Condições experimentais

Ar foi utilizado como gás e água como líquido de injeção. Tendo em vista que o foco era a hidrodinâmica do equipamento, ar sem adição de material particulado foi utilizado nos testes. Para obtenção dos dados experimentais foram utilizadas as velocidades do ar na garganta de 55 m/s e 85 m/s. A vazão de água, distribuída entre 4 e 6 bicos injetores, foi determinada de tal forma a manter a razão entre vazão volumétrica de líquido e gás (L/G) entre os valores de 0,5 L/m<sup>3</sup>, 0,7 L/m<sup>3</sup> e 0,9 L/m<sup>3</sup>. A coleta de filme em cada configuração foi realizada em triplicata.

## 2.3 Fração de filme e penetração máxima

A fração de filme representa a fração da vazão total de líquido que segue para as paredes, ou seja, caracterizando a divisão entre líquido e gotas. Embora seja um aspecto importante, poucos autores se dedicaram a estudar a fração de filme de lavadores Venturi (Costa, 2002). A fração de filme experimental foi calculada segunda a Equação 3, onde  $F_f$  é a fração de filme formado, adimensional;  $Q_v$  é vazão de filme coletado, g/s;  $Q_l$  é vazão volumétrica de líquido injetado, L/h e  $\rho$  é densidade do líquido injetado, g/L.

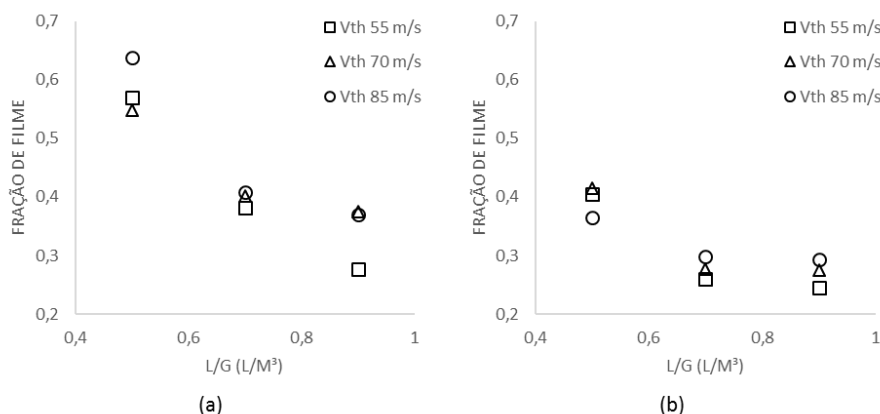
$$F_f = \frac{Q_v}{Q_l} * \frac{3600}{\rho} \quad (3)$$

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1. Influência da velocidade do gás

Na Figura 2 são apresentados os resultados de fração de filme em função da razão L/G (L/m<sup>3</sup>) para as três velocidades, considerando as configurações com 6 e com 4 orifícios de injeção. Pode-se notar que para o mesmo número de orifícios de injeção de líquido o comportamento foi semelhante, com valores de fração de filme próximas com o aumento da velocidade do gás. Assim, a velocidade do gás ( $V_{th}$ ) apresentou baixa influência na formação de filme para uma mesma configuração de injeção de líquido.

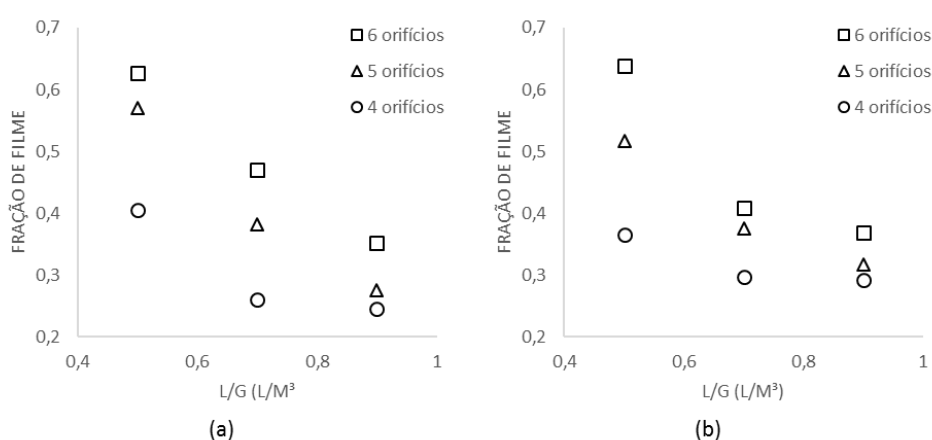
Figura 2 - Fração de filme em função da razão L/G para os números de orifícios mínimo e máximo. (a) 6 orifícios (b) 4 orifícios.



### 3.2. Influência do número de orifícios

A Figura 3 mostra o comportamento da fração de filme em função da razão  $L/G$  ( $L/m^3$ ) para as três configurações de orifícios, considerando as velocidades de gás de 55 m/s e 85 m/s. Nota-se semelhança no comportamento da fração de filme, isto é, a fração decresce com o aumento da razão  $L/G$ . Observa-se que a menor fração de filme foi coletada para a configuração com 4 orifícios, esse comportamento está associado a dispersão do líquido no interior do equipamento, como será discutido a seguir.

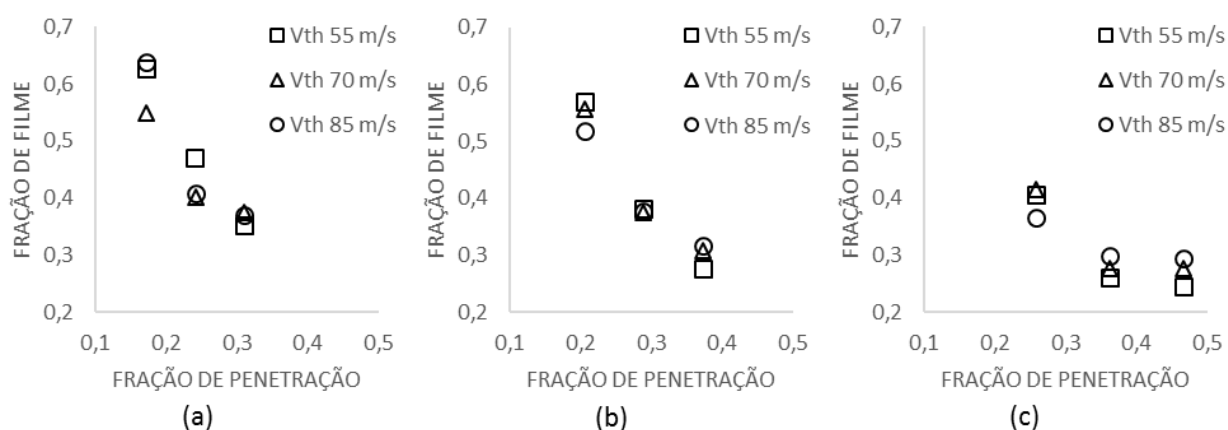
Figura 3 - Fração de filme em função da razão  $L/G$  para as velocidades mínima e máxima. (a)  $V_{th} = 55$  m/s (b)  $V_{th} = 85$  m/s.



### 3.3 Influência da penetração do jato

Na Figura 4 é apresentado o comportamento da fração de filme com o aumento da fração de penetração do jato, que é a razão entre penetração máxima do jato, expressa pela Equação 1 e o diâmetro da garganta. São apresentados os dados das configurações com extremos, ou seja, com as velocidades de 55 m/s e 85 m/s e número de orifícios de 4, 5 e 6.

Figura 4 - Fração de filme em função da fração de penetração. (a) 6 orifícios (b) 5 orifícios (c) 4 orifícios

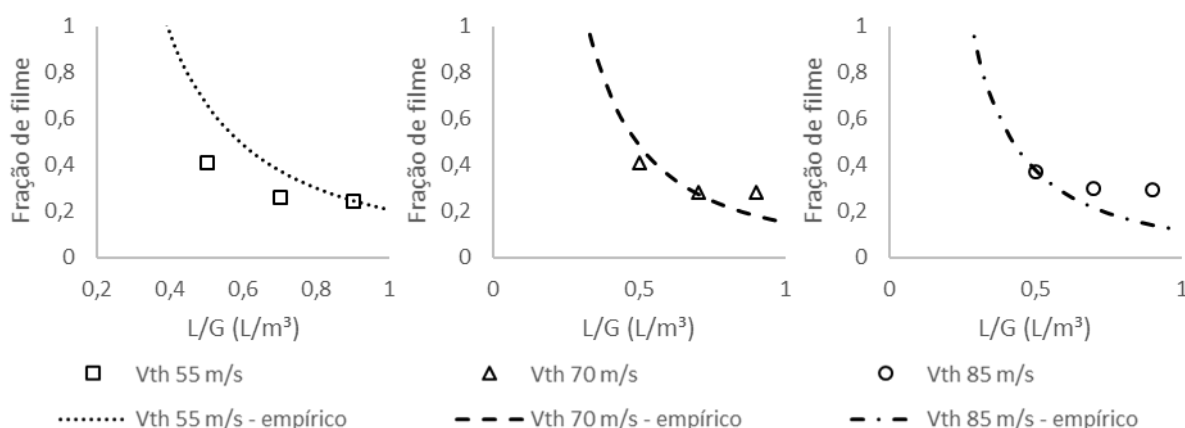


À medida que as penetrações aumentam, atingindo as regiões mais próximas ao centro da garganta, as frações de filme diminuem. Tal comportamento pode ser explicado pelo fato de que em condições de baixa penetração o líquido fique próximo a parede de injeção aumentando a fração de filme. No entanto, com a aumento da penetração do jato o líquido fica melhor distribuído na região central, dispersando melhor as gotas e ocasionando a menor fração de filme.

### 3.4 Comparação com modelo teórico

A Figura 5 ilustra as curvas geradas pela equação empírica de fração de filme de Viswanathan *et al.* (Equação 2) e os valores experimentais, de acordo com a velocidade do gás na garganta do lavador.

Figura 5 - Fração de filme experimental de obtida pelo modelo empírico.



Pode-se observar o comportamento decrescente da fração de filme com o aumento da razão L/G para os resultados experimentais e para o modelo avaliado. Embora a curva obtida a partir do modelo tenha um comportamento próximo ao dos dados experimentais, ela não é capaz de representá-los.

Diante de tais resultados foi proposto um ajuste do modelo teórico aos dados experimentais. A partir do modelo empírico estabeleceu-se a correlação expressa pela Equação 3, onde são considerados a razão L/G e a velocidade do gás na garganta.

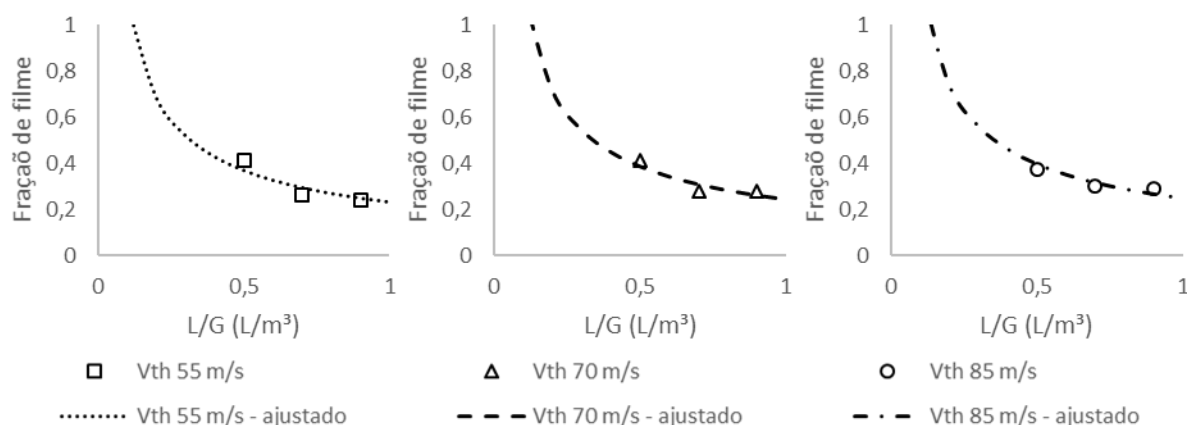
$$F = C * \left( \frac{L}{G} * \frac{R_0}{D_0} \right)^A * (V_{g,th})^B \quad (3)$$

Os termos A, B e C são os parâmetros a serem determinados de acordo com os dados experimentais. Para a obtenção desses valores utilizou-se o modelo de regressão linear múltipla associado ao método dos mínimos quadrados.

Os valores obtidos foram A igual a 0,529; B igual a -0,679; e C igual a 0,181. Na Figura 6 são apresentadas as curvas geradas pelo modelo ajustado e os pontos experimentais. Como

pode ser observado o modelo ajustou adequadamente os dados experimentais para todas as condições avaliadas.

Figura 6 - Fração de filme experimental e obtida a partir do modelo ajustado.



## 4. CONCLUSÕES

O número de orifícios de injeção apresenta influência mais significativa na formação de filme que a velocidade do gás. A fração de penetração também é influenciada de forma significativa pelo número de orifícios, a redução do número de orifícios leva à maior fração de penetração e, conseqüentemente, menor fração de filme.

Modelos empíricos tornam-se restritos às condições experimentais das quais foram obtidos. Embora o modelo empírico não tenha ajustado os dados experimentais, seu comportamento foi similar. Após a determinação de novos parâmetros para o modelo, o ajuste se tornou preciso.

## 5. REFERÊNCIAS

- COSTA, M. A. M. *Eficiência de coleta de partículas em lavadores Venturi*. 262 f. Tese de doutorado, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2002.
- GUERRA, V. G. *Investigação do efeito de injeção de líquido por orifícios múltiplos na formação de gotas em um lavador Venturi*. 154 f. Tese de doutorado, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2009.
- GUERRA, A. P. *Fração de filme em lavadores Venturi*. 204 f. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2010.
- VISWANATHAN, S. GYNP, A. W., ST. PIERRE, C. Estimating film rate in scrubber. *Particulate Science and Technology: An international Journal*. V15, p. 65-76, 1997.