

## **GRADIENTE DE PRESSÃO ESTÁTICA DO AR FORÇADO EM CAMADAS DE RESÍDUOS ORGÂNICOS MISTURADOS COM DIFERENTES PROPORÇÕES DE CAMA DE FRANGO**

**DENIS LEOCÁDIO TEIXEIRA<sup>1</sup>, ANTONIO TEIXEIRA DE MATOS<sup>2</sup>, EVANDRO DE CASTRO MELO<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Engenheiro Agrícola, Doutorando em Recursos Hídricos e Ambientais, Universidade Federal de Viçosa, (31) 9654-8055, e-mail: denis.teixeira@ufv.br

<sup>2</sup> Engenheiro Agrícola, Professor (Engenharia Agrícola), Universidade Federal de Viçosa, e-mail: atmatos@ufv.br

<sup>3</sup> Engenheiro Agrícola, Professor (Engenharia Agrícola), Universidade Federal de Viçosa, e-mail: evandro@ufv.br

Apresentado no  
XLIV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2015  
13 a 17 de setembro de 2015- São Pedro – SP, Brasil

**RESUMO:** Neste trabalho, teve-se como objetivo o ajuste de equações que possibilitassem a estimativa do gradiente de pressão estática do ar, quando insuflado em camadas de resíduos orgânicos misturados com diferentes proporções de cama de frango. As medições do gradiente de pressão estática do ar foram realizadas em um protótipo, submetido a vazões específicas que variaram de 0,02 a 0,13 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> m<sup>-2</sup>, em camadas de bagaço de cana-de-açúcar, palha de café e serragem de madeira, misturadas com cama de frango, nas proporções de 0; 10; 20; 30 e 40% (base volumétrica). Os dados de gradiente de pressão estática do ar e vazão específica ajustaram-se bem aos modelos de Shedd (1953), Hukill & Ives (1955) e Hunter (1983), podendo ser utilizados para prever o gradiente de pressão estática do ar ao ser insuflado em camadas de resíduos orgânicos. Menores valores de gradientes de pressão estática do ar foram obtidos em camadas sem adição de cama de frango e os maiores gradientes obtidos nas camadas constituídas pela mistura com cama de frango na proporção de 40%.

**PALAVRAS-CHAVE:** compostagem, leiras estáticas aeradas, queda de pressão estática do ar.

### **STATIC PRESSURE GRADIENT OF THE AIR FORCED IN LAYERS OF ORGANIC WASTE MIXED WITH DIFFERENT PROPORTION OF CHICKEN LITTER**

**ABSTRACT:** This study aimed to fit equations, which enable the estimation of static pressure gradient of the air, when insufflated in layers of organic waste mixed with different proportions of chicken litter. The measurements of the air static pressure gradient were performed on a prototype, submitted to airflow rates ranging from 0.02 to 0.13 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> m<sup>-2</sup>, in layers of sugar cane bagasse, coffee straw and sawdust, mixed with chicken litter in proportions of 0; 10; 20; 30 and 40% (volumetric basis). Data from air static pressure gradient and airflow rates fitted well in the models of Shedd (1953), Hukill & Ives (1955) e Hunter (1983) and can be used to predict the static pressure gradient of the air when insufflated in layers of organic waste. Lower values of air static pressure gradient were obtained in layers without addition of chicken litter and higher gradients obtained in layers composed of the mixture with chicken litter in proportion of 40%.

**KEYWORDS:** composting, aerated static piles, air pressure drop.

**INTRODUÇÃO:** No Brasil, a compostagem vem sendo muito utilizada como forma de tratamento dos resíduos agrícolas e de agroindústrias. Dentre os métodos utilizados para compostagem, o sistema em leiras estáticas aeradas é recomendado para processamento em grande escala, sendo o adequado dimensionamento do sistema de aeração indispensável para que se obtenha eficiência do processo e baixo consumo de energia (ALMEIDA et al., 2012). O gradiente de pressão estática do ar ao atravessar uma camada de material é estimado, convencionalmente, com a utilização de equações ou gráficos que relacionem a queda na pressão estática do ar por unidade de espessura da camada de material (gradiente de pressão) com a vazão de ar por unidade de área (vazão específica), sendo

representado por modelos potenciais: Shedd (1953), logarítmicos: Hukill & Ives (1955) e quadráticos: Hunter (1983), conforme apresentados nas Equações 1, 2 e 3 respectivamente (McGUCKIN et al., 1999; MATOS et al., 2012; TEIXEIRA et al., 2015).

$$\Delta P = A_1 \dot{Q}_a^{B_1} \quad (1)$$

$$\Delta P = \frac{A_2 \dot{Q}_a^2}{\ln(1 + B_2 \dot{Q}_a)} \quad (2)$$

$$\Delta P = A_3 \dot{Q}_a + B_3 \dot{Q}_a^2 \quad (3)$$

em que,

$\Delta P$  – gradiente de pressão estática do ar ( $M T^{-2} L^{-2}$ );

$\dot{Q}_a$  – vazão específica do ar ( $L^3 T^{-1} L^{-2}$ );

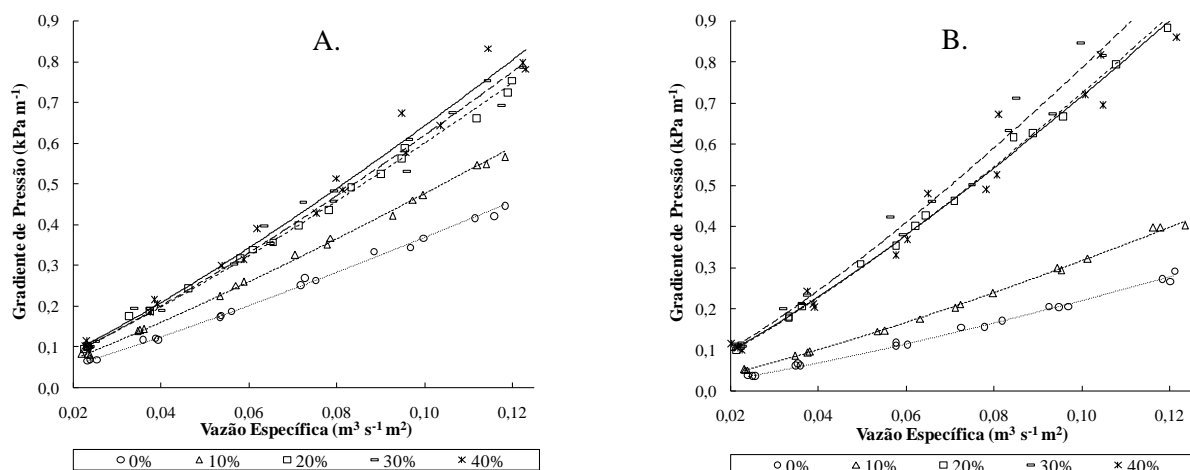
$A_1, B_1, A_2, B_2, A_3, B_3$  – parâmetros obtidos no ajuste dos dados experimentais ao modelo.

Portanto, objetivou-se com a realização deste trabalho utilizar os modelos de Shedd (1953), Hukill & Ives (1955) e Hunter (1983) para descrever matematicamente o gradiente de pressão estática em função da vazão específica do ar, quando insuflado em camadas com diferentes proporções de cama de frango misturada à serragem de madeira, bagaço de cana-de-açúcar picado e casca de frutos do cafeeiro.

**MATERIAL E MÉTODOS:** Este trabalho foi desenvolvido na Área Experimental de Hidráulica, Irrigação e Drenagem da Universidade Federal de Viçosa. Os resíduos utilizados foram a cama de frango, e como agentes estruturantes e fontes de carbono, o bagaço de cana-de-açúcar picado, a serragem de madeira e a casca de frutos do cafeeiro ou palha de café.

As medições do gradiente de pressão estática do ar foram realizadas em misturas nas proporções de 0; 10; 20; 30 e 40% (base volumétrica) de cama de frango em relação aos agentes estruturantes e fontes de carbono. Após os resíduos serem misturados, realizou-se a correção no conteúdo de água do material para  $60 \text{ dag kg}^{-1}$  (base úmida), em seguida, as misturas foram acondicionadas em um protótipo onde eram efetuadas as medições do gradiente de pressão estática do ar ao ser forçado a atravessar a camada de material, sendo, adotada a mesma metodologia utilizada por TEIXEIRA et al. (2015). As medições do gradiente de pressão foram realizadas em três posições da câmara *plenum*, realizando-se 3 repetições para cada material. As repetições consistiram em encher a coluna, realizar as medições, esvaziá-la, misturar o resíduo e enchê-la, novamente. Depois de realizados os ensaios, os dados de gradiente de pressão e vazão específica do ar foram utilizados para ajuste dos modelos de Shedd, Hukill & Ives e Hunter, por meio de análise de regressão. Para ajuste dos modelos foi utilizado o programa *STATISTICA 7.0*. A escolha do melhor modelo baseou-se nos parâmetros estatísticos: coeficiente de determinação ( $R^2$ ), erro médio relativo (P), e desvio padrão da estimativa ( $S_y$ ).

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** O gradiente de pressão estática em função da vazão específica do ar, para as proporções de 0; 10; 20; 30 e 40% (base volumétrica) de cama de frango em relação ao bagaço de cana-de-açúcar, serragem de madeira e palha de café, estão apresentados na Figura 1.



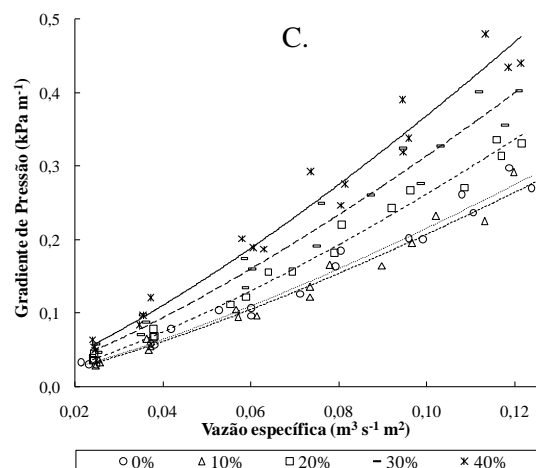


FIGURA 1. Gradiente de pressão estática do ar em camadas de cama de frango, em diferentes proporções, com: (A) bagaço de cana-de-açúcar; (B) serragem de madeira; e (C) palha de café, em função da vazão específica de ar.

Os menores gradientes de pressão estática do ar foram obtidos em camadas de agentes estruturantes sem adição de cama de frango (0% proporção) e os maiores obtidos nas camadas formadas pela mistura com cama de frango na proporção de 40%. Inicialmente, esperava-se acréscimo gradual no gradiente de pressão estática do ar com o aumento na quantidade de cama de frango adicionada, no entanto, apesar de ter sido observado maior decréscimo na pressão estática do ar em camadas contendo maiores proporções de cama de frango, o gradiente de pressão não aumentou de forma linear à proporção de cama de frango na mistura.

Os dados de gradiente de pressão e vazão específica do ar, para as diferentes proporções de cama de frango adicionadas aos agentes estruturantes, foram ajustados aos modelos de Shedd (1953), Hukill & Ives (1955) e Hunter (1983), para os quais foram calculados os respectivos coeficientes de determinação ( $R^2$ ), erro médio relativo (P) e desvio padrão da estimativa ( $S_y$ ). Os valores de  $R^2$ , P e  $S_y$  obtidos para o modelo de Shedd variaram de 0,97 a 0,99; 1,73 a 9,78% e 5,4 a 50 Pa m<sup>-1</sup>, respectivamente, para as diversas proporções. Para modelo de Hukill & Ives, esses valores variaram de 0,97 a 0,99; 2,19 a 10,76% e 5,8 a 51 Pa m<sup>-1</sup>, enquanto para o modelo de Hunter os valores variaram de, 0,97 a 0,99; 2,59 a 11,17% e 6 a 51 Pa m<sup>-1</sup>, respectivamente.

De acordo com os resultados obtidos, pode-se afirmar que embora todos os três modelos possam ser utilizados para descrever o gradiente de pressão estática do ar ao ser insuflado em camadas de resíduos orgânicos, o modelo de Shedd foi o que apresentou os maiores valores para o coeficiente de determinação e menores valores para o erro médio relativo e desvio padrão da estimativa. Assim, pode ser considerado o melhor modelo para estimativa do gradiente de pressão estática do ar quando insuflado em camadas de resíduos orgânicos, para todas as proporções de cama de frango utilizadas. Na Tabela 1 estão apresentados os parâmetros do modelo de Shedd, obtidos com dados de gradientes de pressão estática e vazão específica do ar.

TABELA 1. Parâmetros médios estimados (A, B) para o modelo de Shedd, ajustado aos dados de gradiente de pressão estática (kPa m<sup>-1</sup>) em função da vazão específica de ar (m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> m<sup>-2</sup>).

Material	Proporção de Cama de Frango (%)	A	B	$R^2$
Bagaço de Cana + Cama de Frango	0	5,136	1,149	0,997
	10	6,753	1,155	0,999
	20	8,983	1,179	0,998
	30	9,096	1,172	0,987
	40	10,317	1,207	0,983

Material	Proporção de Cama de Frango (%)	A	B	R <sup>2</sup>
	0	4,698	1,335	0,979
Palha de Café + Cama de Frango	10	5,007	1,379	0,979
	20	5,513	1,324	0,988
	30	6,157	1,293	0,972
	40	6,621	1,257	0,968
	0	4,007	1,263	0,995
Serragem de Madeira + Cama de Frango	10	5,838	1,266	0,998
	20	12,523	1,241	0,998
	30	13,429	1,235	0,986
	40	11,841	1,218	0,973

Os resultados obtidos neste trabalho indicaram que, à medida que é aumentada as proporções de agente estruturante em uma massa em compostagem, menor a queda na pressão estática do ar ao atravessar a camada de material, em decorrência do aumento na porosidade e permeabilidade do material à passagem do ar, corroborando com LI et al. (2013) e McGUCKIN et al. (1999).

Observou-se uma variação considerável no gradiente de pressão estática do ar em relação ao tipo de resíduo utilizado como agente estruturante e fonte de carbono, principalmente quando se analisou a palha de café em relação ao bagaço de cana-de-açúcar e a serragem de madeira. O menor gradiente de pressão estática do ar, verificado quando utilizada à palha de café como agente estruturante, pode estar relacionado à forma esférica do resíduo, o que proporciona grandes espaços porosos entre as partículas do material, quando empilhado. Outro fator importante é o aspecto de concha do material, decorrente da sua condição de fruto aproximadamente esférico ou elipsoidal. As cavidades convexas, presentes na maioria das cascas, podem ser preenchidas com materiais finos, como a cama de frango, sem, contudo, obstruir, significativamente, os espaços porosos do material e, conseqüentemente, proporcionar resistência à passagem do ar.

**CONCLUSÕES:** O gradiente de pressão estática do ar aumentou com o acréscimo de cama de frango aos agentes estruturantes e fonte de carbono.

Todos os modelos matemáticos analisados podem ser utilizados para descrever o gradiente de pressão estática do ar, ao ser insuflado em camadas de resíduos orgânicos, no entanto, o de Shedd pode ser considerado, em termos estatísticos, o melhor para representar o fenômeno em estudo.

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, P.; SILVEIRA, A.; MIGUEL, A.F. Applicability of the Forchheimer equation for forced-aeration windrow composting: variation of airflow characteristics with humidity and volatile solids. *Fluid Mechanics Research*, v.39, p.149-159, 2012.
- HUKILL, W. V.; IVES N. C. Radial airflow resistance of grain. *Agricultural Engineering*, v. 36, p. 332-335, 1955.
- HUNTER, A. J. Pressure difference across an aerated seed bulk for some common duct and store cross-sections. *Journal of Agricultural Engineering Research*, London, v. 28, n. 5, p. 437-450, 1983.
- LI, Z.; LU, H.; REN, L.; HE, L. Experimental and modeling approaches for food waste composting: A review. *Chemosphere*, v.93, p.1247-1257, 2013.
- MATOS, A.T.; TEIXEIRA, D.L.; RIBEIRO, I.C.; PAIVA, E.C.R.; LACERDA FILHO, A.F. Demanda de potência do ventilador para aeração de material em compostagem. *Engenharia Agrícola*, v.32, n.3, p.542-551, 2012.
- McGUCKIN, R.L.; EITEMAN, M.A.; DAS, K. Pressure drop through raw food waste compost containing synthetic bulking agents. *Journal of Agricultural Engineering Research*, New York, v.72, n.4, p.375-384, 1999.
- SHEDD, C. K. Resistance of grains and seeds to air flow. *Agricultural Engineering*, St. Joseph, v. 34, n. 9, p. 616-619, 1953.
- TEIXEIRA, D.L.; MATOS, A.T.; MELO, E.C. Resistance to forced airflow through layers of composting organic material. *Waste Management*, v.36, p.57-62, 2015.