

Transporte pneumático de grãos de soja: determinação experimental do multiplicador da carga cinética em tê

Jordan Souza Higa, Maurício Andrade Nunes, Yago R. de Castro, Marlene S. de Moraes, Deovaldo de Moraes Júnior

Unisanta – Universidade Santa Cecília – Programa de Mestrado em Engenharia Mecânica -PPGEMec
Rua Oswaldo Cruz, 266- Santos-SP, Brasil
E-mail: yago.reitz@hotmail.com
Received January, 2015

Resumo: O desenvolvimento do transporte pneumático facilitou o deslocamento de materiais sólidos, pois fornece boa segurança e baixo custo de instalação e manutenção. Uma vez que o transporte é realizado por meio de tubulações, a perda de carga e o desgaste das paredes dos tubos e dos acessórios se tornam problemas inevitáveis. O uso de têns pode reduzir esse desgaste, porém, não são disponíveis na literatura dados da perda de carga deste acessório. Esse trabalho teve como objetivo analisar o perfil da perda de carga e o multiplicador da carga cinética de um tê utilizado no transporte de soja para diferentes condições de processo. O equipamento experimental consistiu de uma unidade piloto de transporte pneumático composta de dutos de acrílico com 117 mm de diâmetro interno e com tomadas piezométricas em vários pontos da tubulação. Foram construídas as curvas da perda de carga em função da velocidade de descarga para o ar e 4 vazões de soja (0,144, 0,201, 0,339 e 0,380 t/h). O valor de K encontrado nos ensaios variou entre 0,141 e 0,248 para as vazões de soja utilizadas. Com apenas ar no sistema a faixa foi de 0,136 a 0,144. A variação do K com a velocidade pode ser prevista pela equação $K=0,0059 \cdot v^2 - 0,219 \cdot v + 2,1961$ com um R^2 de 0,9026.

Palavras chave: Transporte pneumático, soja, perda de carga, tê.

Soybean grain pneumatic transport: experimental determination of the kinetic energy multiplier in a tee

Abstract: The development of the pneumatic conveyor facilitated the displacement of solid materials, because it provides a good security and low maintenance and installation costs. But since the transport is made through pipes, the pressure loss and the erosion wear of the pipes and bends are problems that can't be avoided. Using tees can reduce this wear, but the pressure drop information for this fitting isn't available on the literature. This work aimed the analysis of the pressure loss profile and the kinetic energy multiplier for a tee utilized on soybean pneumatic conveying for different process variables. The experimental unit consisted of a pilot scale pneumatic conveyor with 117 mm internal diameter acrylic ducts and piezometric taps in different points on the main pipeline. The curves for the head loss as a function of outlet speed were made for the air and 4 soybean flows (0.144, 0.201, 0.339 e 0.380 t/h). The K value found in the experiments varied between 0.141 and 0.248 for the soybean mass flows used. With only air on the system the range was 0.136 to 0.144. The K variation with the velocity can be predicted by the equation $K=0.0059 \cdot v^2 - 0.219 \cdot v + 2.1961$ with a R^2 of 0.9026.

Keywords: Pneumatic conveying, soybean, pressure loss, tee.

1. Introdução

O transporte de materiais particulados em indústrias e portos vem ganhando grande importância ao longo

dos anos, normalmente sendo feito por correias transportadoras, elevador de canecas ou por tubulações, utilizando transportadores hidráulicos, helicoidais ou pneumáti-

cos, com esse último ganhando cada vez mais destaque por ser capaz de transportar quase todos os materiais particulados em diversas situações industriais (MORAES, 2012; ARAKAKI, 2009). O transporte pneumático pode ser classificado em fase diluída, onde se tem altas velocidades de ar que suspendem os sólidos, e fase densa, onde não há suspensão do material particulado. A desvantagem do transporte em fase densa está no seu alto custo inicial e elevada perda de carga, que o obriga a ser utilizado com altas pressões, além de ter um fluxo instável com velocidades baixas (RINOSHIKA, 2010).

As vantagens do transportador pneumático incluem a redução de acidentes e perda ou contaminação de material, baixo custo de instalação e manutenção, não requer a alteração das partículas (adição de água, cominuição, etc) e as distribui facilmente para qualquer lugar de uma instalação (SETIA, 2014). Como desvantagens apresenta elevado desgaste do equipamento, alto consumo de energia e geração de eletricidade estática (MONTEIRO, 2005).

Por ser usado para distribuir os sólidos para diversas partes de uma planta, normalmente se tem um grande número de curvas na tubulação para direcionar o fluxo de material. Porém essas curvas geram quatro grandes problemas: desgaste do material pelo impacto com a tubulação, desgaste da tubulação, forma-

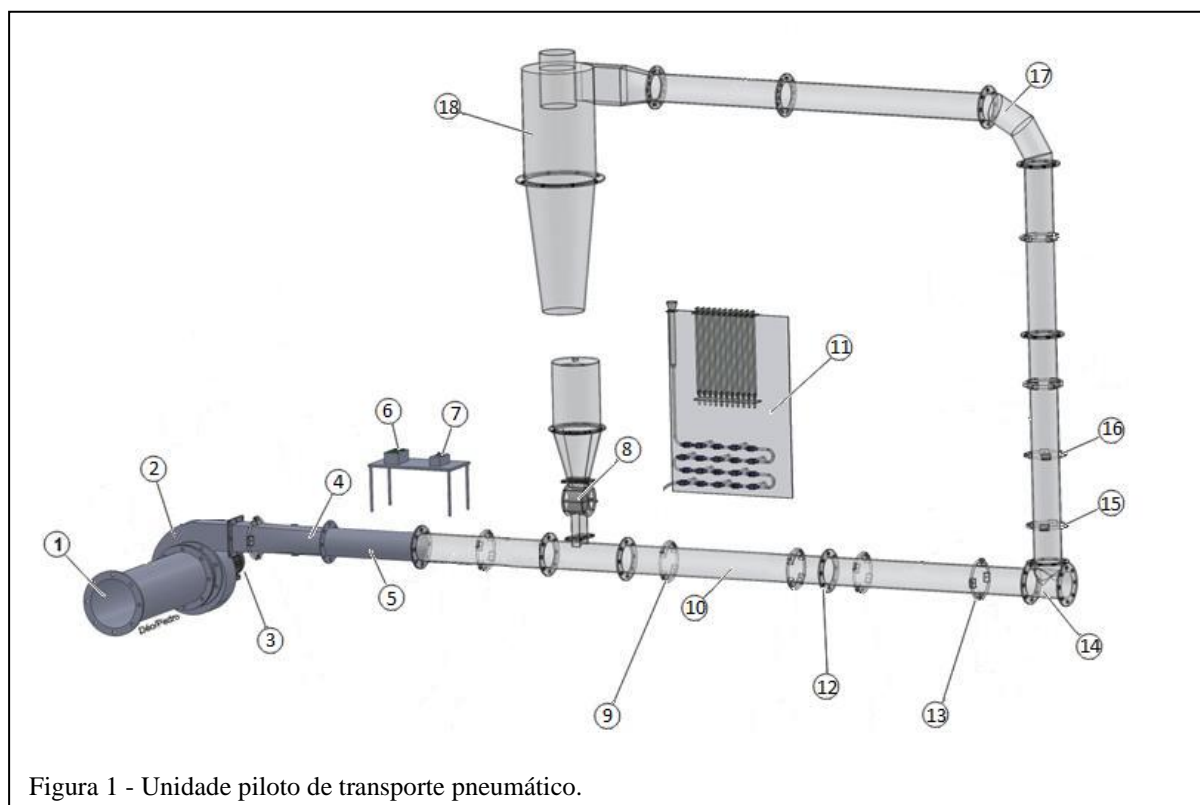
ção de um fluxo irregular após o acessório e uma elevada perda de carga localizada (KRUGGEL-EMDEN, 2014).

A utilização de têes ao invés de curvas e joelhos causa a formação de um bolsão de produto na face oposta ao fluxo, que diminui o desgaste do tubo e do material por evitar o choque direto entre eles. A literatura é carente de dados da perda de carga desse sistema para o transporte de soja, pois depende exclusivamente do comportamento do produto acumulado no acessório, podendo ser alterado por características como densidade, tamanho da partícula e esfericidade.

O presente trabalho teve como objetivo estudar a perda de carga em um tê instalado em uma unidade piloto de transporte pneumático operando em fase diluída com soja em grãos coma construção das curvas de perda de carga em função da velocidade do ar para diferentes vazões mássicas de soja.

2. Material e Método

Os ensaios foram realizados no equipamento esboçado na Figura 1, projetada e instalada no Laboratório de Operações Unitárias da Universidade Santa Cecília em Santos. O material utilizado no estudo do transporte pneumático foi a soja Tipo 1 – Classe amarela.



Na figura 1 a Unidade piloto de transporte pneumático é composta por:

- 1) Duto de sucção de ar atmosférico;
- 2) Ventilador centrífugo de pás semiabertas;
- 3) Motor elétrico de corrente alternada;
- 4) Adaptador de seção retangular para seção circular;
- 5) Tubo de aço carbono de 117 mm de diâmetro interno com colmeia para melhor distribuição do ar;
- 6) Inversor de frequência do motor elétrico;
- 7) Controlador da rotação da válvula rotativa;
- 8) Alimentação de sólido (silo e válvula rotativa);
- 9) Anel piezométrico para tomada da pressão P1 a jusante da alimentação de sólido;
- 10) Tubos de acrílico de 117 mm de diâmetro interno;
- 11) Banco de manômetros de tubo em U com água, conectados aos pontos 9, 13, 15 e 16 relativos às pressões P1, P2, P3 e P4, respectivamente;
- 12) Flanges de acrílico com 117 mm de diâmetro interno;
- 13) Anel piezométrico para tomada da pressão P2 a montante do tê;
- 14) Tê saída de lado;
- 15 e 16) Anéis piezométricos para tomada da pressão P3 e P4 a jusante do tê para estudo da vena contracta;
- 17) curva 90° em gomos;
- 18) Ciclone comum para captação do material transportado.



Figura 2 – Tê saída de lado com diâmetro de 117mm.

Com a calibração da válvula rotativa pelo método da massa por tempo foram obtidas as vazões de massa.

Utilizando essas vazões foi ligado o motor do ventilador, controlado por um inversor de frequência, e foi verificada a estanqueidade nas conexões da singularidade estudada com o sistema em operação. As perdas de carga foram obtidas com o uso do Balanço de Energia

Mecânica (Equação 1) entre os pontos 1 e 2 da Figura 1.

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + z_1 + W = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + z_2 + \ell w_{1-2} \quad (1)$$

Sendo:

P_1 e P_2 a pressão absoluta, em kgf/m^2 .

γ o peso específico do fluido, em kgf/m^3 .

v_1 e v_2 a velocidade média na tubulação, em m/s.

g a aceleração da gravidade, em m/s^2 .

z_1 e z_2 o desnível ou altura em relação a um plano de referência, em m.

W o trabalho de eixo, em m.

ℓw_{1-2} a perda de carga do sistema entre os pontos analisados (1 e 2), em m.

Entre os pontos estudados não há trabalho de eixo e variação de diâmetro interno, então os termos de trabalho e velocidade são anulados. Para o desnível o seu valor é irrisório em relação às pressões medidas pelo manômetro. Conclui-se que a perda de carga nesse sistema é igual à diferença de pressão entre os pontos analisados.

Quatro frequências no inversor foram escolhidas e para cada uma delas foram realizadas as medições das velocidades na tubulação de descarga e das pressões antes e depois do tê. Com esses dados foram construídas 5 curvas (uma para cada vazão de soja e outra para apenas ar) da perda de carga em função da velocidade.

Para a obtenção do multiplicador da carga cinética (K) nas condições estudadas utilizou-se a fórmula geral das perdas localizadas (Equação 2), empregada para calcular perda de carga em acessórios, neste caso o tê saída de lado. A razão entre os pesos específicos do ar e da água foi utilizada para converter a perda de carga obtida em mca para metros de coluna de ar.

$$\ell w_{1-2} = K \cdot \frac{v^2}{2g} \cdot \frac{\gamma_{\text{ar}}}{\gamma_{\text{H}_2\text{O}}} \quad (2)$$

Sendo:

ℓw_{1-2} a perda de carga entre os pontos 1 e 2 (mca);

K o multiplicador da carga cinética (adimensional);

v a velocidade do ar (m/s);

g a aceleração da gravidade (m/s^2);

$\gamma_{\text{ar}}/\gamma_{\text{H}_2\text{O}}$ a razão entre o peso específico do ar e da água (adimensional).

3. Resultados e Discussões

As curvas das perdas de carga em função da velocidade de ar (Figura 3) demonstram que ao se aumentar a vazão mássica de soja, obtêm-se uma maior perda de carga no tê.

Também pode-se verificar que nas curvas para a soja houve uma inflexão enquanto na da vazão de ar sem soja ocorreu um aumento perda de carga de acordo com a velocidade. Nos ensaios notou-se que foi necessária uma velocidade maior do que aproximadamente 14,8 m/s para suspender a soja de maneira adequada para o transporte pneumático.

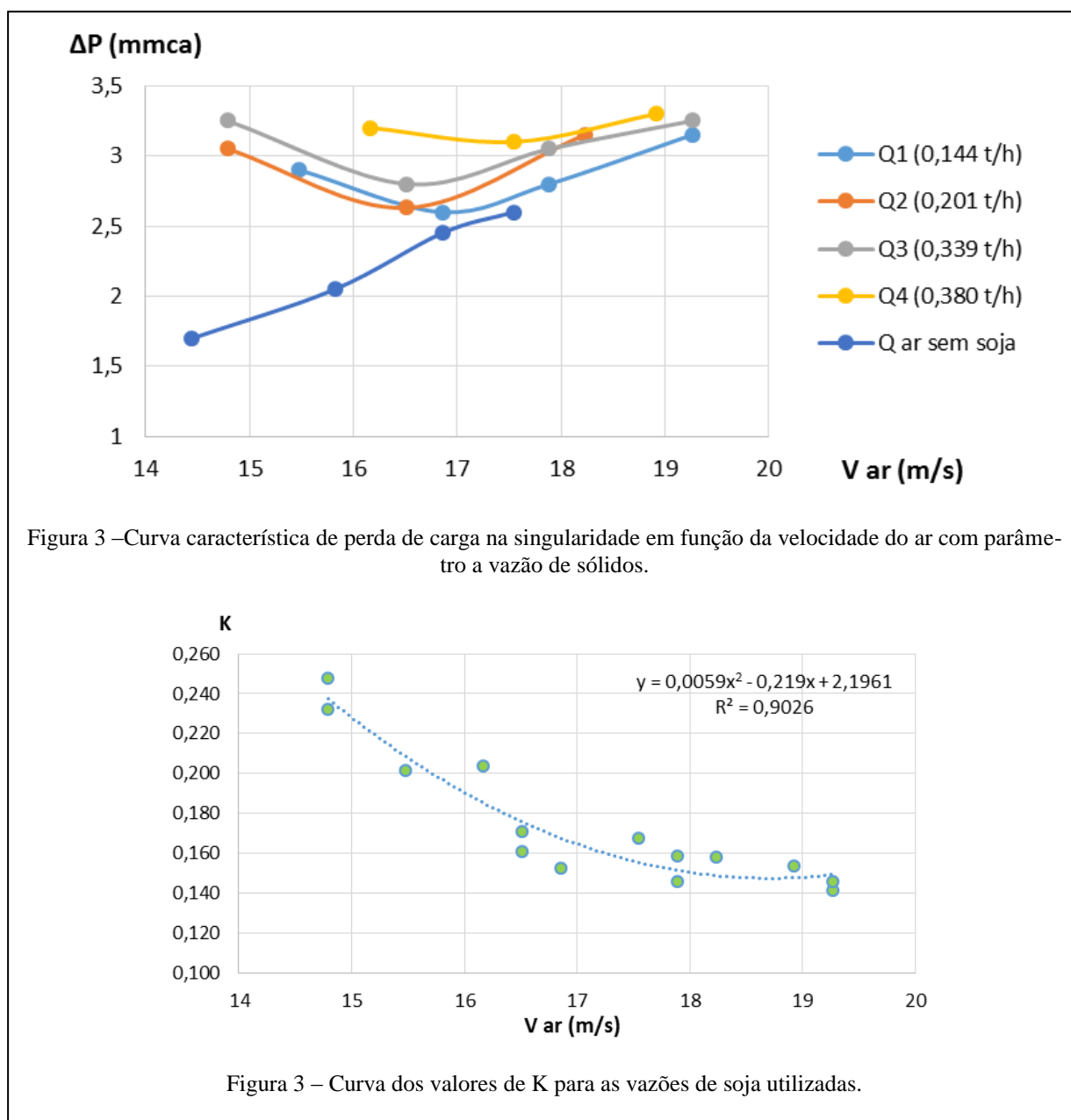
Os resultados do K obtido através das Equações 1 e 2 para todas as condições variaram entre 0,141 e 0,248, para as quatro vazões de soja enquanto para a vazão apenas de ar variou entre 0,136 e 0,144.

Os valores para a soja diminuíram em função da velocidade do ar passante como visto na Figura 3, o que indica que o K para o transporte pneumático pode ser representado por uma curva decrescente.

A equação do K para a faixa de velocidade estudada está descrita na Equação 3 com um R^2 de 0,9026:

$$K = 0,0059 \cdot v^2 \left(\frac{m}{s}\right) - 0,219 \cdot v \left(\frac{m}{s}\right) + 2,1961 \quad (3)$$

A redução da perda de carga se justifica pela diminuição da concentração de sólido no prolongamento do tê de maneira que o seu comportamento se assemelha ao do ar pela alta taxa de diluição do sólido.



4. Conclusões

O trabalho permitiu concluir que no transporte pneumático de soja o K para o tê saída de lado apresenta um comportamento que se assemelha à uma curva, cuja equação foi explicitada na Equação 3 com um R^2 de 0,9026 para uma faixa de velocidade entre 14,8 e 19,3 m/s e vazões de soja entre 0,144 e 0,380 t/h.

Referências

- ARAKAKI, C.; RATNAYAKE, C.; HALSTENSEN, M. Online prediction of mass flow rate of solids in dilute phase pneumatic conveying systems using multivariate calibration. *Powder Technology*, vol. 195, p 113-118, out 2009.
- KRUGGEL-EMDEN, H.; OSCHMANN, T. Numerical study of rope formation and dispersion of non-spherical particles during pneumatic conveying in a pipe bend. *Powder Technology*, vol. 268, p 219-236, dec 2014.
- RINOSHIKA, A.; SUZUKI, M. An experimental study of energy-saving pneumatic conveying system in a horizontal pipeline with dune model. *Powder Technology*, vol. 198, p 49-55, fev. 2010.
- SETIA, G.; MALLICK, S.S.; WYPYCH, P.W. On improving solid friction factor modeling for fluidized dense-phase pneumatic conveying systems. *Powder Technology*, vol. 257, p 88-103, maio 2014.
- MONTEIRO, R.N.B.B. Estudo do transporte pneumático vertical de rolhas de cortiça. Dissertação (Mestrado em Fundamentos e Aplicações de Mecânica dos Fluidos) – Universidade do Porto, 2005.
- MORAES, M. S.. Convecção forçada de partículas poliméricas em fase diluída: Curvas de pressão e distribuição de partículas. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Universidade Estadual de Campinas, SP, 2012