TÍTULO: PERDA DE CARGA EM TÊ SAÍDA DE LADO COM PROLONGAMENTOS DE UMA UNIDADE PILOTO PARA TRANSPORTE PNEUMÁTICO DE MILHO EM FASE DILUÍDA

CATEGORIA: CONCLUÍDO

ÁREA: ENGENHARIAS E ARQUITETURA

SUBÁREA: ENGENHARIAS

INSTITUIÇÃO: UNIVERSIDADE SANTA CECÍLIA

AUTOR(ES): KAREN PERES SILVA, ANDRÉA APARECIDA DE SOUZA SANTOS, DANIELA DA SILVA RENDEIRO, ELENA KALININ TOSS, MARCELO SIQUEIRA ROCHA

ORIENTADOR(ES): DEOVALDO DE MORAES JUNIOR, MARLENE SILVA DE MORAES

1. RESUMO

Na sociedade moderna é de suma importância o transporte de sólidos como: milho, café, soja, feijão, cimento, cal areia, fertilizantes, trigo, café, soja, feijão, metais, alumina e polímeros em geral.

Esse transporte pode ser feito através de correia, esteira, transporte hidráulico, pneumático, entre outros dependendo da distância, do tempo disponível e das propriedades do produto. No transporte pneumático os sólidos são deslocados em um duto por meio de fluxo de ar ou gás gerado por ventilador, soprador ou compressor por diferença de pressão. As vantagens deste equipamento são: não expõe o material às intempéries por ser um sistema fechado, o deslocamento do produto pode ser feito em qualquer inclinação, não há perda do material para o meio ambiente e é de fácil distribuição para vários pontos da indústria. Já as desvantagens são: a geração de eletricidade estática e a abrasão causada pelo atrito do material com o equipamento, principalmente, nas curvas. O uso do tê saída de lado forma uma almofada (pseudo curva) que ameniza o impacto e o desgaste da curva.

O presente trabalho teve como obtivo operar um transporte pneumático para determinar, em fase diluída, as perdas de carga do tê saída de lado e com prolongamentos de 30,60 e 90 mm para milho, cereal de grande importância nas indústrias alimentícias.

O transporte pneumático utilizado para esse estudo constituiu basicamente de um ventilador centrífugo, com pás semi abertas de 210 mm de diâmetro, acoplado a um motor de 1cv, uma válvula rotativa acionada por motor de rotação variável na base de um silo de alimentação, dutos de acrílico estrudado de 117 mm de diâmetro instalados na horizontal e na vertical e um ciclone.

Os resultados indicaram que para a maior vazão e maior velocidade do ar no duto estudadas, condições de interesse pelas indústrias, as variações de perda de carga foram desprezíveis. Portanto, a melhor singularidade foi selecionada por meio do maior acumulo e consequentemente maior amortecimento do material, sendo esta o tê com prolongamento de 90 mm.

2. INTRODUÇÃO

As indústrias químicas e petroquímicas necessitam de unidades transportadoras de materiais particulados, sólidos na forma de britas e grãos. Entre os diversos tipos de transporte como: correia, helicoidal e caneca, o transporte pneumático mostra-se vantajoso pelo ganho econômico e ecológico por não perder material para o ambiente, ou seja, o material não é exposto às intempéries, sendo eficaz pela pouca contaminação ao meio ambiente e produto. Esta operação possibilita o deslocamento do material em qualquer inclinação com fácil distribuição para inúmeros pontos da indústria, além do pouco peso. (MORAES, 2012). O transporte pneumático permite o deslocamento de: algodão, areia, borracha em pó, areia em grãos, calcário moído, carvão fino, cereais em grãos, cimento, cortiça, lã, papel, poeiras metálicas, pó de chumbo, pó de fundição, raspas de metal, serragem seca, trigo, minérios de ferro e de alumínio, coque de petróleo, polímeros, milho, feijão, arroz, café, trigo, soja. Além disso, o transporte pneumático pode ser utilizado para diversas outras substâncias particuladas sólidas (GOMIDE, 1983; MORAES, 2012). O deslocamento desses materiais é classificado em duas fases: a densa, que apesar de possuir custo mais elevado causa menos danos aos sólidos com concentrações acima de 30% em volume, queda de pressão superior a 200 mmca/m, e velocidade do gás entre 1 e 5 m/s; e a fase diluída, sendo a mais empregada por não necessitar de mão de especializada na montagem, operação e manutenção, operando com concentrações de sólidos inferiores a 1% em volume, e queda de pressão inferior a 50 mmca/m, além de velocidade de gás maior que 10 m/s, a granulometria desde pó fino (acima de 100μ) até grãos de cerca de 1 cm e densidade do sólido desde 15kg/m^3 até máximo de 3 ton/m^3. O transporte pneumático se aplica para o deslocamento de materiais que seriam perdidos por arraste e para longas distâncias (centenas de metros), situação para o qual é recomendável (MORAES, 2012; GOMIDE, 1983).

3. OBJETIVOS

O presente trabalho teve como objetivo o estudo da perda de carga em uma unidade piloto de transporte pneumático utilizando tê saída de lado com três prolongamentos distintos de 30, 60 e 90 mm para o milho. O uso destas singularidades buscou como finalidade estudar a possibilidade de substituir curva por tê saída de lado a fim de diminuir os danos ao equipamento causados pelo impacto do material transportado.

4. METODOLOGIA

A unidade piloto de transporte pneumático em fase diluída está apresentado na Figura 1 e o esboço com os detalhes de construção do equipamento são fornecidos na Figura 2. O equipamento foi projetado e construído no Laboratório de Operações Unitárias da Universidade Santa Cecília. O cultivo de milho é um dos mais antigos do mundo, possuindo alto valor nutritivo e de grande importância nas indústrias alimentícias para fabricação de: pães, bolos, cervejas, óleo, biscoitos, entre outros produtos. Segundo a ABRAMILHO (Associação Brasileira dos Produtores de Milho), até o mês de Julho deste ano o Brasil exportou 5,93 milhões de toneladas de milho. O material transportado está representado na Figura 3 com singularidades de tê saída de lado e com os prolongamentos de 30, 60 e 90 mm.

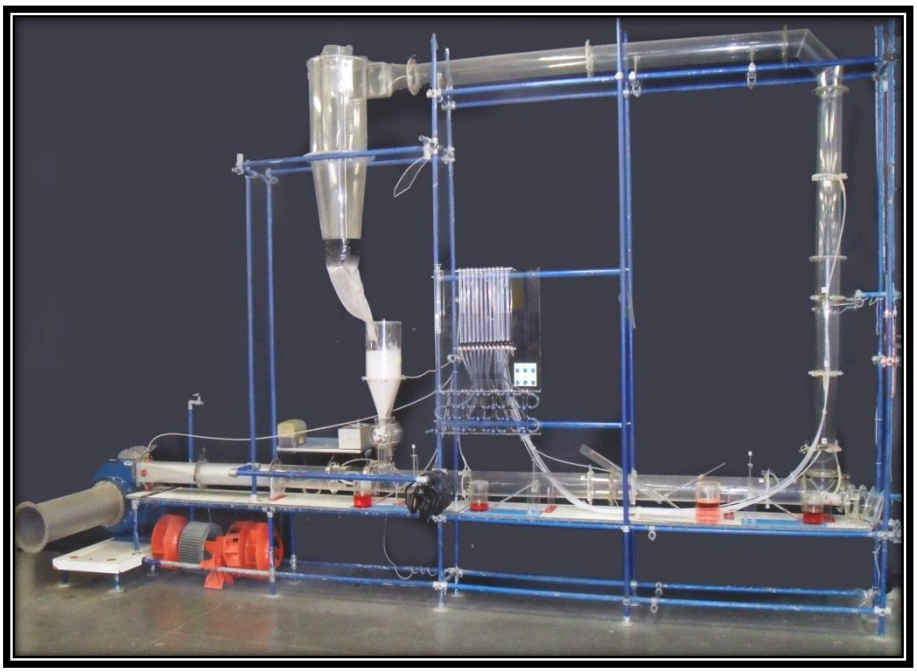


Figura 1 – Unidade piloto de transporte pneumático utilizado no experimento.

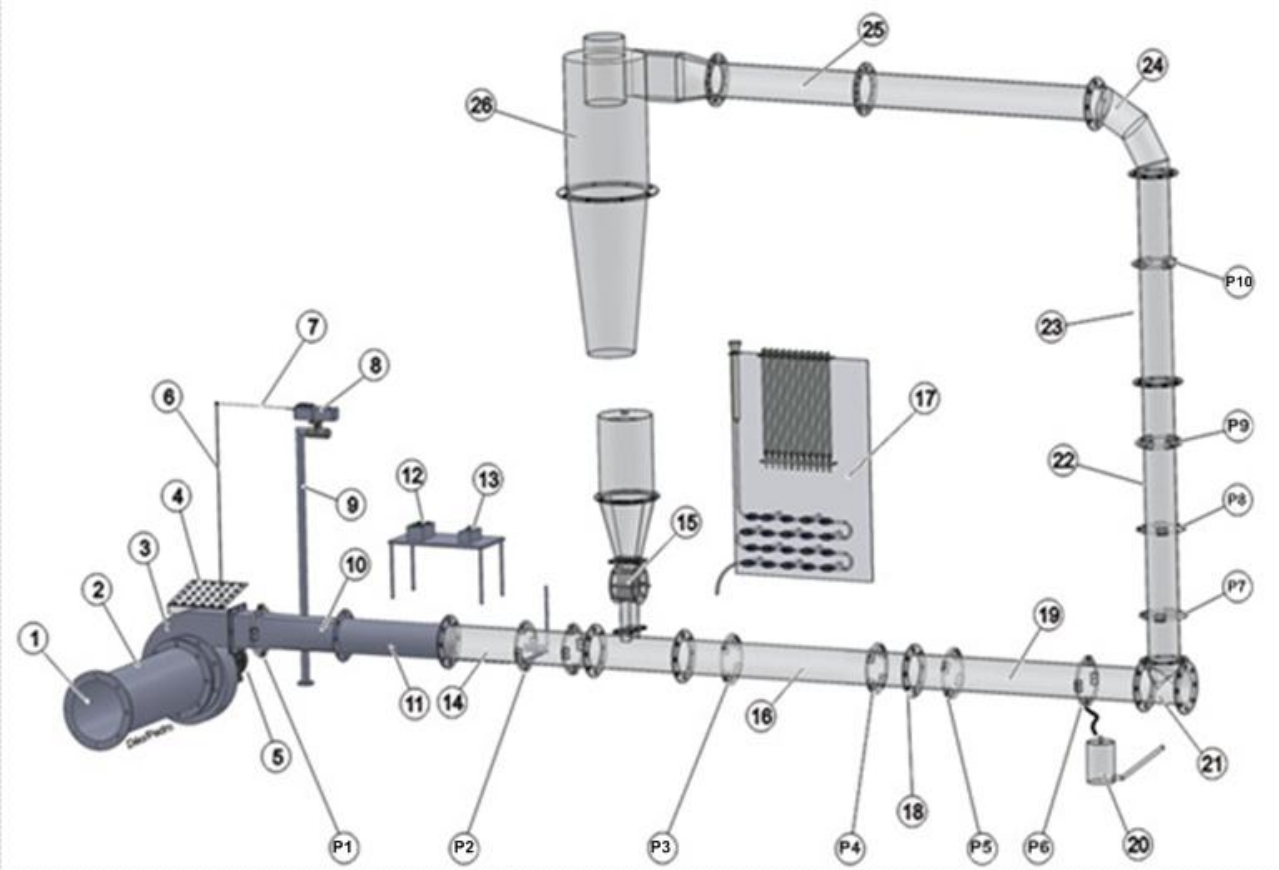


Figura 2 - Esboço da unidade piloto de transporte pneumático em fase diluída: 1) Tubulação de entrada do ar de alimentação da unidade experimental; 2) duto de sucção do ventilador; 3) ventilador centrífugo; 4) “cooler” do motor; 5) motor elétrico síncrono em balanço; 6) haste fixa ao motor para determinação da potência; 7) linha de conexão da haste ao dinamômetro; 8) dinamômetro; 9) suporte do dinamômetro; 10) tubo adaptador de seção retangular para seção circular com a tomada P_1; 11) tubo de aço carbono de 117 mm de diâmetro interno com colmeia para direcionar o escoamento; 12) inversor de frequência do motor do ventilador; 13) controlador de velocidade da válvula rotativa; 14) duto de acrílico de 117 mm de diâmetro interno com tubo de Pitot horizontal e vertical e dois anéis piezométricos (P_2 e P_3); 15) válvula rotativa com silo acoplado; 16) tubo de acrílico de 1000 mm de comprimento com tomadas P_4 e P_5; 17) banco de tubos em U para medida da pressão estática; 18) flange; 19) duto de acrílico de 1000 mm de comprimento com tomadas P_6 e P_7; 20) manômetro inclinado; 21) tê saída de lado; 22) tubo vertical de 1000 mm de comprimento com três tomadas piezométricas P_8, P_9 e P_{10}; 23) tubo vertical de 760 mm de comprimento; 24) curva em gomos; 25) duto de retorno para o ciclone e 26) ciclone.



Figura 3 - Singularidades: 1) tê saída de lado; 2) tê com prolongamento de 30 mm; 3) tê com prolongamento de 60 mm; 4) tê com prolongamento de 90 mm

A análise da perda de carga nos trechos selecionados (P_1 à P_{10}) permitiu determinar a melhor singularidade para as frequências de 30; 32,5 e 35Hz operando com vazões de 0,056; 0,097 e 0,137 kg/s de milho.

Só é possível calcular a perda de carga por meio da equação de balanço de energia mecânica se o fluido utilizado for incompressível, o que é determinado pelo número de Mach menor que 0,3. A velocidade do ar na sucção foi obtida por meio de um anemômetro inserido no centro da tubulação de entrada de ar (Trecho P1) e a velocidade no duto foi obtida por meio da equação da continuidade simplificada (Equação 1):

$$v_e A_e = v_d A_d \quad (1)$$

Sendo:

v_e → a velocidade de entrada em m/s;

A_e → a área da seção transversal da tubulação de entrada em m²;

v_d → a velocidade do duto em m/s;

A_d → a área da seção transversal do duto em m²;

Para cálculo da velocidade do duto adotou-se regime permanente e fluido incompressível.

Cálculo da velocidade do ar no duto (Equação 2):

v_e = 3,4 m/s; A_e = 0,03698 m² e A_d = 0,01075 m²

$$v_d = \frac{v_e\, A_e}{A_d} \rightarrow v_d = \frac{3{,}4\ \frac{m}{s}\ 0{,}03698\ m^2}{0{,}01075\ mm^2} \rightarrow v_d = 11{,}7\ m/s \quad (2)$$

Cálculo do número de Mach:

Para temperatura de 20ºC e pressão atmosférica de 1atm a velocidade do som é de 343,4 m /s.

Para frequência de 35 Hz a velocidade de escoamento do ar no duto é de 11,7 m/s

Ou seja: Mach = $\frac{11{,}7\ \frac{m}{s}}{343{,}4\ \frac{m}{s}}$ = 0,03 < 0,3 → fluido incompressível

5. DESENVOLVIMENTO

A dificuldade do produto em vencer a força oposta ao seu deslocamento denomina-se perda de carga, sendo esta a soma de todas as perdas por atrito (por aceleração e equipamentos do sistema tais como silos, ciclones, filtros, venture, entradas e saídas de ar, entre outros).

Levando-se em conta que o fluido é um gás, por meio do número de Mach é determinada a compressibilidade ou não do fluido (MORAES; MORAES, 2011) pela Equação 3:

$$Mch = \frac{v_{escoamento}}{v_{som}} \quad (3)$$

Sendo que para número de Mach menor que 0,3 o fluido é classificado como incompressível podendo-se utilizar o balanço de energia mecânica.

Por meio de manômetros do tipo “U” conectados a anéis piezométricos, realizou-se a leitura da pressão estática, dos 10 pontos da unidade, obtendo-se desta maneira a perda de carga pela equação do Balanço de Energia Mecânica conforme a Equação 4 entre os pontos 1 e 2 de análise.

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{{v_1}^2}{2g} + z_1 + H = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{{v_2}^2}{2g} + z_2 + \ell w_{1,2} \quad (4)$$

Em que:

P_1 e P_2 é a pressão absoluta, em $\frac{kgf}{m^2}$;

$\boldsymbol{\lambda}$ é o peso específico do fluido, em $\frac{kgf}{m^3}$;

v_1 e v_2 é a velocidade, em $\frac{m}{s}$;

g é a aceleração da gravidade, em m/s²;

z_1 e z_2 é a altura em relação ao plano de referência (desnível), em m;

H é o trabalho de eixo (se há máquina), em m;

$\ell w_{1,2}$ é a perda de carga do sistema entre os pontos analisados: entrada (1) e saída (2), em m;

Adotando-se nos pontos em análise as hipóteses simplificadoras:

a) Velocidades iguais: uma vez que o diâmetro não varia ao longo da tubulação pode-se escrever

$$v_1 = v_2 \text{ então } \frac{v_1^2}{2g} = \frac{v_2^2}{2g} = 0 \quad (5)$$

b) Tubo horizontal: Os termos referentes a carga potencial estão no mesmo plano horizontal de referência. Apesar dos trechos de 7 a 10 possuírem altura, a coluna de ar é desprezível em relação a coluna d'água nos piezômetros.

$$z_1 = z_2 = 0 \quad (6)$$

c) Trabalho de eixo é nulo entre os pontos analisados: entrada (1) e saída (2) devido a ausência de máquina (bomba ou turbina).

Assim, a Equação (2) modificada é representada na Equação (3):

$$\frac{P_1}{\gamma} = \frac{P_2}{\gamma} + \ell w_{1,2} \quad (7)$$

6. RESULTADOS

As Figuras 4, 5, 6 e 7 apresentam os resultados da perda de carga por trecho reto em função dos trechos analisados. As singularidades estudadas podem ser observadas com mais detalhes para os trechos 6, 7 e 8.

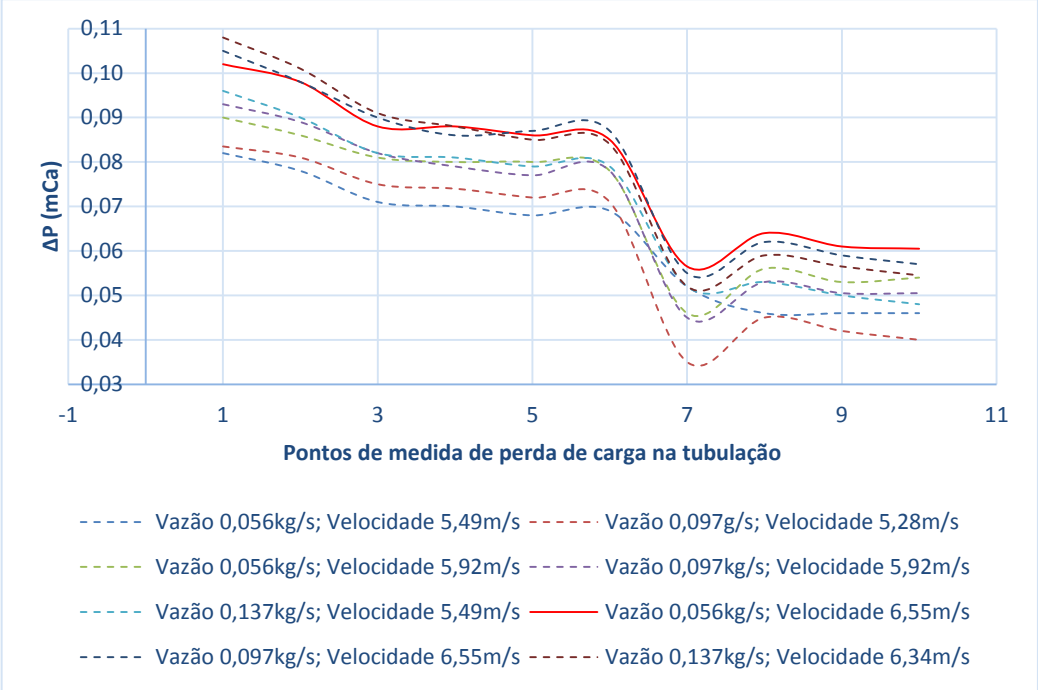


Figura 4 – Perda de carga em função dos pontos de análise sem prolongamento

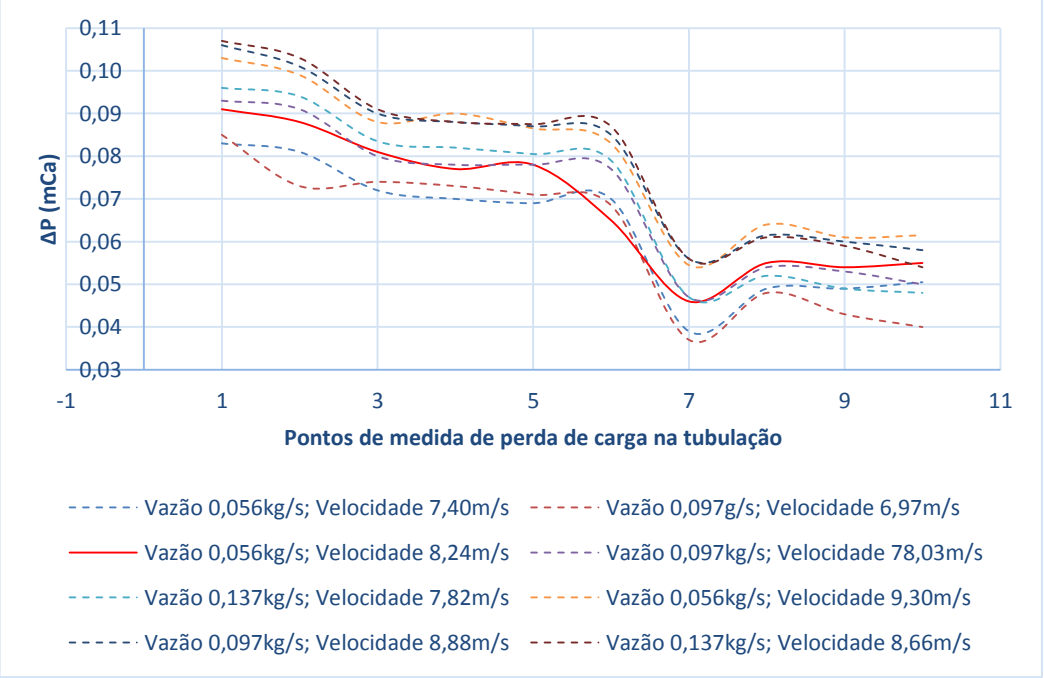


Figura 5 – Perda de carga em função dos pontos de análise com prolongamento de 30mm

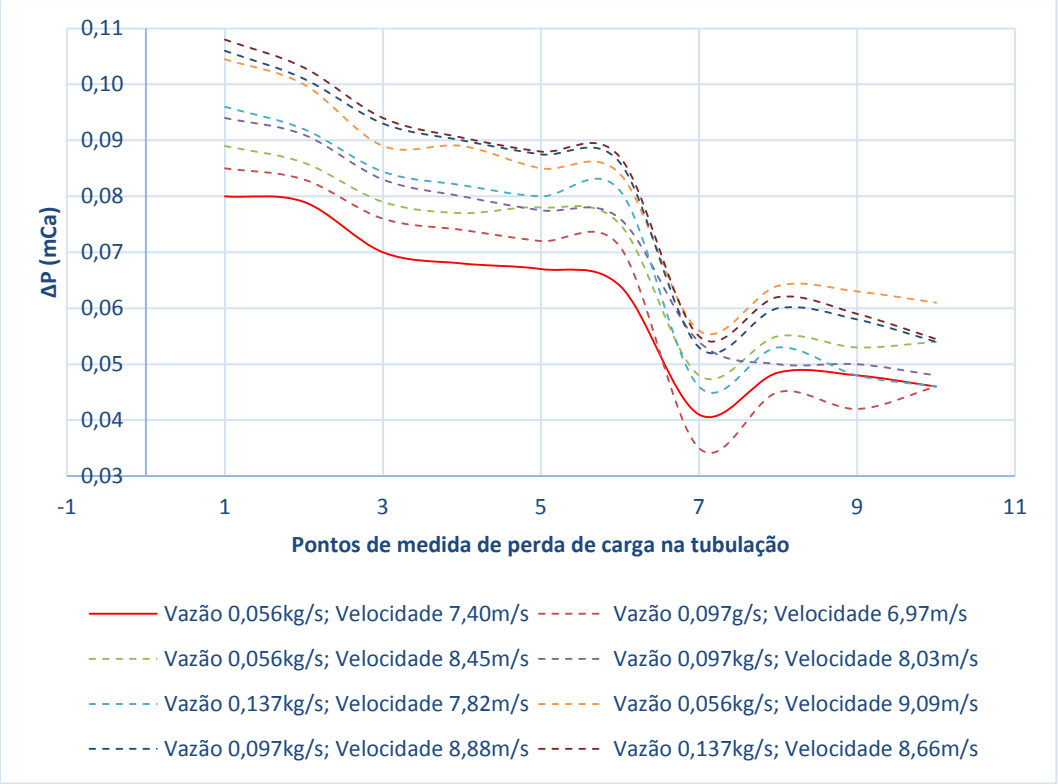


Figura 6 – Perda de carga em função dos pontos de análise com prolongamento de 60mm

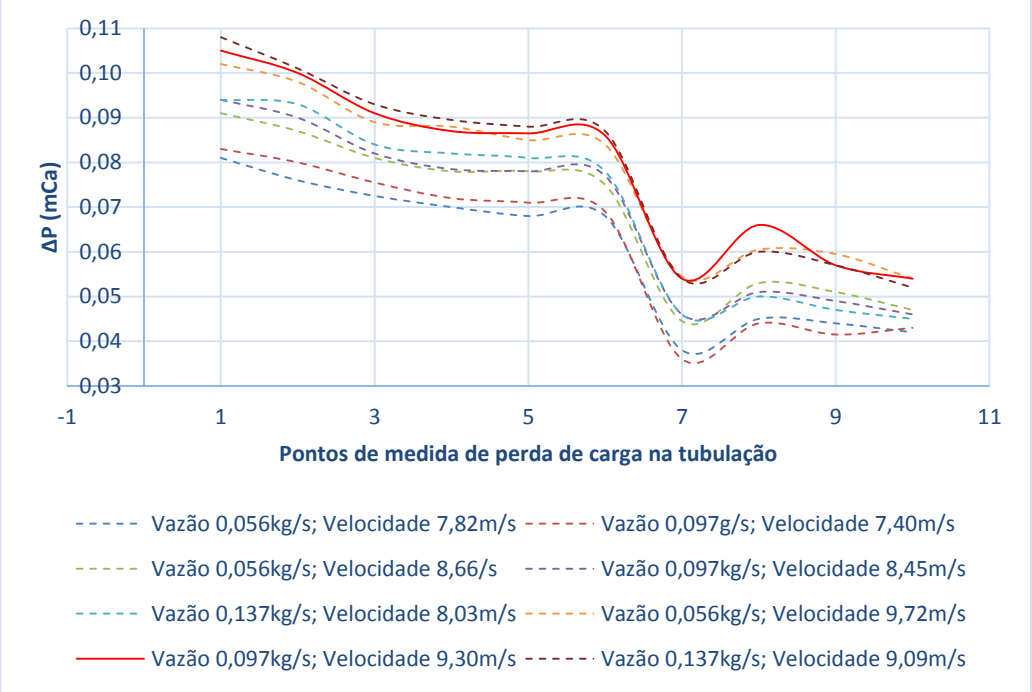


Figura 7 – Perda de carga em função dos pontos de análise com prolongamento de 90mm

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise dos resultados para a vazão máxima de sólido (0,137kg/s) obtida na unidade piloto, de maior interesse industrial, e para a maior velocidade de descarga do ar (11,7m/s) que não resultou em grande acúmulo de partículas indicou que:

a) Houve pouca variação na perda de carga de 25 para 27 mm independente do prolongamento, ou seja, sem tê saída de lado e sem as extensões de 30, 60 e 90mm;

b) O prolongamento de 90 mm permitiu maior amortecimento das partículas e por conseguinte menor fissura das mesmas. Pelo exposto recomenda-se o emprego do maior prolongamento utilizado no presente experimento.

c) Visando a continuidade da linha de pesquisa, sugere-se o estudo de curvas de perda de carga otimizando custos de operação, para comparação entre diferentes sólidos e granulometrias, materiais e diâmetros do tê, levando também em consideração as condições a que o fluído está sujeito como temperatura, umidade e vazão. A análise da fissura dos materiais é também outra relevante variável.

8. FONTES CONSULTADAS

ABRAMILHO - Associação Brasileira dos Produtores de Milho
<http://www.abramilho.org.br/noticias.php?cod=3280 >.
Acesso: 20 ago. 2014

GOMIDE, R., Operações Unitárias. São Paulo, Edição do Autor, 1983. 2930 p.

MARTINS S. S., Projeto e montagem de unidade piloto de transporte pneumático em fase diluída para estudo da relação entre a perda de carga e a distribuição de partículas granulares na seção transversal de dutos industriais. Campinas, UNICAMP, Departamento de Engenharia Química, 2009 140p.(tese).

MORAES, M.S., Convecção forçada de partículas poliméricas em fase diluída: Curvas de queda de pressão e distribuição de partículas. Campinas, UNICAMP, Departamento de Engenharia Química, 2012. 109p. (tese).

MORAES Jr. D.; MORAES, M. S. Aplicações industriais de estática e dinâmica dos fluidos. Ed. dos autores. Santos 2011