

Perda de Carga Experimental do Feijão Caupi em uma Unidade Piloto de Transporte Pneumático

Luis Felipe Collacio Messias¹, Felipe Bertelli^{1,2}, Nelize Maria de Almeida Coelho¹,
Vitor da Silva Rosa¹, Deovaldo de Moraes Júnior¹

¹Universidade Santa Cecília (UNISANTA), Santos-SP, Brasil

²Universidade Federal de São Paulo (Unifesp) Santos-SP, Brasil

E-mail: luis.mess@hotmail.com

Resumo: O Brasil produziu em 2023/2024 (Conab) mais de 3,3 milhões de tonelada de Feijão para o consumo interno. O transporte deste relevante grão, pode ser feito em muitos casos, por unidade pneumática. O projeto de um transportador pneumático requer o conhecimento da perda de carga do sólido em função da velocidade do ar e da sua vazão mássica. Este estudo quantificou experimentalmente a perda de carga do feijão caupi em um trecho reto de uma unidade piloto de transporte pneumático em fase diluída, com velocidade acima da de saltitação. A velocidade do ar variou de 18,1 m/s até 21,7 m/s e as vazões de sólido de 80,58 g/s até 148,7 g/s, limite da unidade experimental, com a consequente perda de carga de 3 até 10 mmca.

Palavras-chave: Transporte Pneumático; Perda de Carga; Fase Diluída; Transporte de Grãos; Feijão Caupi.

Experimental Pressure Drop of Cowpea Beans in a Pilot Pneumatic Transport Unit

Abstract: Brazil produced over 3.3 million tons of beans for domestic consumption in 2023/2024 (Conab). The transportation of this important grain can often be carried out by pneumatic units. Designing a pneumatic conveyor requires understanding the solid's pressure drop concerning air velocity and mass flow rate. This study experimentally quantified the pressure drop of cowpea beans in a straight section of a pilot pneumatic transport unit in a dilute phase, with velocities above saltation. The air velocity ranged from 18.1 m/s to 21.7 m/s, and the solid flow rates from 80.58 g/s to 148.7 g/s, the limit of the experimental unit, resulting in a pressure drop of 3 to 10 mmH₂O.

Keywords: Pneumatic Conveyor; Pressure Drop; Dilute-Phase; Grain Transport; Cowpea bean.

Introdução

O deslocamento de materiais particulados ao longo de uma tubulação usando ar ou gás como fluido transportador, é denominado de transporte pneumático. Pode ser uma forma mais eficiente e rápida para o deslocamento de grãos no interior de uma indústria, podendo percorrer uma distância máxima de até 400 metros [1]. Apesar da importância da operação, a literatura é carente de dados que relacionam a perda de carga em relação a velocidade e vazão de sólidos para diversos tipos de grãos. Este transporte pode ser dividido em duas fases, a Fase Densa e a Fase Diluída. A Fase Densa consiste em operações com volumes acima de 30% de Sólido e velocidade de 1 a 5 m/s, porém, com pouca vazão de ar. Já a Fase Diluída, opera com volumes abaixo de 1% e velocidade acima de 10 m/s, com grandes vazões de ar [2]. A velocidade de

Saltitação possui inúmeras definições, mas conforme Klinzing e Cabrejos, 1994 [3], a velocidade de saltitação é definida como a mínima requerida para o transporte de sólidos sem a formação da camada estacionária na parte inferior da tubulação. O projeto de uma unidade de transporte pneumático é baseado de um gráfico experimental da perda de carga em função da velocidade do ar e da vazão mássica do sólido.

Objetivos: O presente estudo teve como objetivo, quantificar experimentalmente a perda de carga do feijão caupi em um trecho reto de uma unidade piloto de transporte pneumático em fase diluída, com velocidade acima da de saltitação.

Material e Métodos

Tem-se na Figura 1, a unidade piloto experimental de transporte pneumático em fase diluída. Com um diâmetro interno de tubulação de acrílico cristal transparente de 117 mm e trecho reto total de aproximadamente 8 metros.

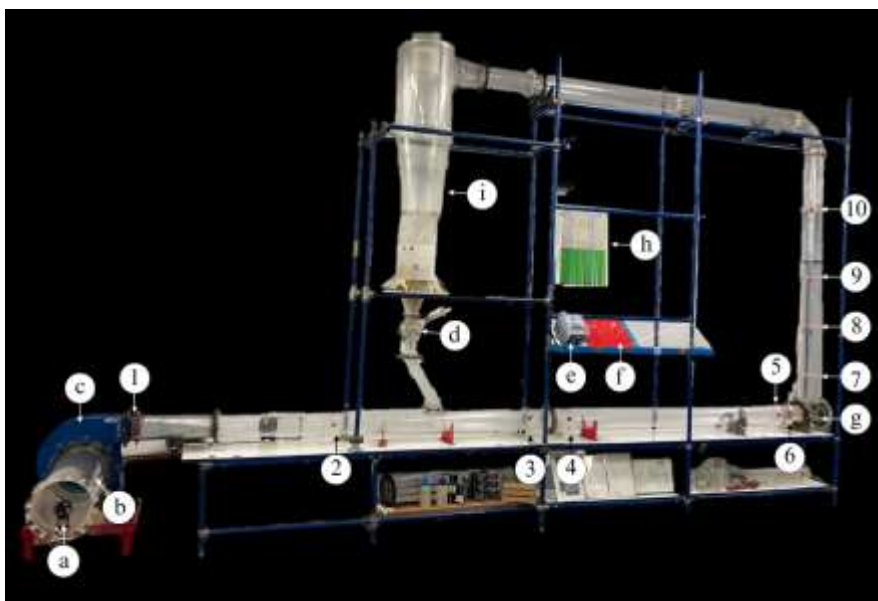


Figura 1 - Unidade piloto de transportador pneumático em fase diluída, construído no laboratório de operações unitárias da Universidade Santa Cecília. Itens: 1) a 10) Pontos de tomadas de pressão dos tubos do manômetro em “U”; a) Tubulação de entrada do ar de alimentação com anemômetro; b) Duto de sucção do ventilador de 223 mm de diâmetro interno e comprimento de 610 mm; c) Ventilador centrífugo de 228 mm de diâmetro com motor de 3 hp e 2,9 A; d) Silo com válvula rotativa; e) Inversor de frequência do motor do ventilador; f) controlador de velocidade da válvula rotativa; g) Tê saída de lado; h) Banco de tubos em “U” para medida de pressão estática; i) Ciclone.

A perda de carga foi quantificada nos pontos de tomada de pressão de 1 a 10 (Figura 1). Inicialmente foi verificado a estanqueidade do sistema (vazamentos). Igualou-se os níveis da água dos manômetros em “U” (Figura 2-a), fixou-se a velocidade máxima no ventilador com o auxílio do anemômetro e do inversor de frequência. Sem alimentar o sólido no sistema foi obtido as pressões do ponto 1 até o 10, com o ventilador ligado. Alimentou-se o silo com o

feijão caupi, fixou-se uma vazão de sólido de 80,58 g/s e anotou-se as pressões de 1 a 10 (Figura 1).

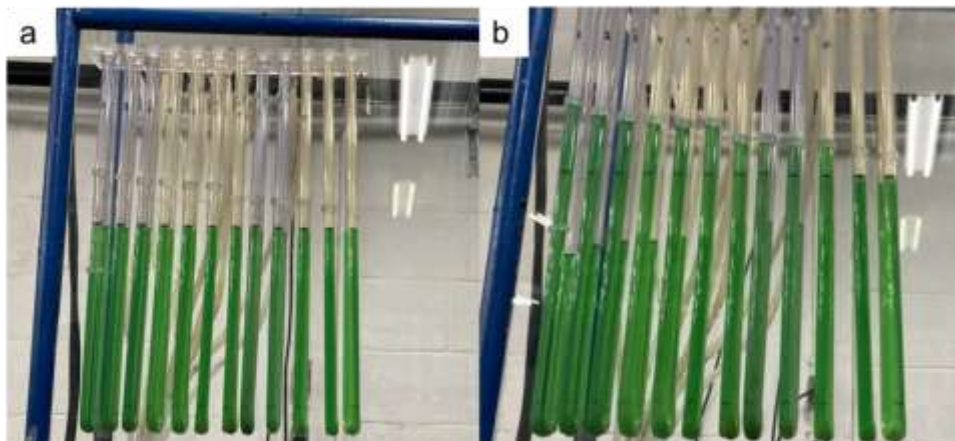


Figura 2 – Medidores de Perda de Carga: a) Tubo em U nivelado e b) Detalhe do tubo em U em operação.

Aumentou-se a vazão de sólido para 148,7 g/s e foi medido todas as pressões. Adotou-se uma vazão de sólido de 148,7 g/s, máxima da unidade experimental e outra de 80,58 g/s, com uma diferença mensurável nas perdas de carga. O procedimento foi repetido para as velocidades de ar de 19,9 m/s e de 18,1 m/s, que foi o limite mínimo para a fluidização desse material. Com uma presilha indicadora de nível anexada aos manômetros em U (Figura 2-b), realizou-se a medida dos níveis da água.

Resultados

Nas tabelas 1, 2 e 3 e na figura 3, pode-se observar os resultados das perdas de carga dos pontos 1 ao 10 e dos pontos 4 e 5, respectivamente.

Tabela 1 – Perda de carga em mmca e velocidade de 21,7 m/s.

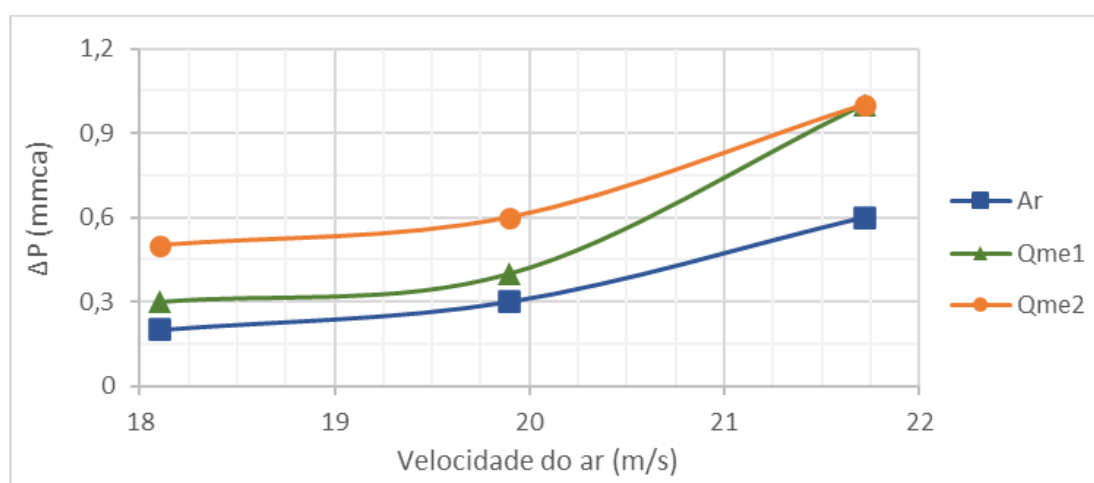
$V_{\text{entrada}} = 6 \text{ m/s}$		$V_{\text{descarga}} = 21,7 \text{ m/s}$	
Perda de Carga (mmca)			
Pontos de Pressão	Só Ar	Vazão de sólidos (g/s)	
		80,58	148,7
1	118	132	136
2	100	108	116
3	98	106	110
4	96	104	108
5	90	94	98
6	92	94	98
7	64	66	74
8	72	72	68
9	66	70	70
10	68	66	66

Tabela 2 – Perda de carga em mmca e velocidade de 19,9 m/s.

V _{entrada} = 5,5 m/s		V _{descarga} = 19,9 m/s	
Perda de Carga (mmca)			
Pontos de Pressão	Só Ar	Vazão de sólidos (g/s)	
		80,58	148,7
1	114	114	120
2	98	99	103
3	97	99	99
4	92	93	97
5	89	89	91
6	87	87	88
7	58	61	63
8	57	60	63
9	57	58	60
10	53	53	55

Tabela 3 – Perda de carga em mmca e velocidade de 18,1 m/s.

V _{entrada} = 5 m/s		V _{descarga} = 18,1 m/s	
Perda de Carga (mmca)			
Pontos de Pressão	Só Ar	Vazão de sólidos (g/s)	
		80,58	148,7
1	100	102	112
2	82	84	94
3	80	83	88
4	81	82	85
5	79	79	80
6	76	78	80
7	52	52	54
8	50	54	55
9	48	51	51
10	48	49	49

**Figura 3** – Perda de carga com diferentes vazões de sólidos e ar, entre os pontos 4 e 5 da Figura 1.

Discussão

Nas condições estudadas, entre a velocidade do ar de 18,1 m/s, ponto de saltitação e 21,7 m/s, velocidade máxima da unidade experimental, pode-se observar na Figura 3, que quanto maior a velocidade de ar e a vazão mássica do feijão caupi, maior a perda de carga. A figura supracitada demonstra o comportamento típico do transporte pneumático em fase diluída.

Conclusão

A figura construída a partir dos resultados experimentais em unidade semi-industrial é relevante para se projetar um sistema de transporte pneumático em fase diluída com ventilador, dutos e ciclones para o deslocamento do feijão caupi.

Agradecimentos: Os autores agradecem aos técnicos Volnei de Lemos, Álvaro Luiz Moreira Conrado e Irineu Penha da Ressureição, pelo aperfeiçoamento da Unidade Experimental e apoio no desenvolvimento do estudo.

Referências

1. Buffalo Forge Company. “Fan Engineering”, 5ªed., p. 615, Buffalo, N.Y., 1949
2. Moraes MS; Torneiros DLM; Rosa VS; Higan JS; Castro YRC; Santos AR; Coelho NMA; Júnior DM. Experimental Quantification of the head loss coefficient K for fittings and semi-industrial pipe cross section solid concentration profile in pneumatic conveying of polypropylene pellets in dilute phase. Powder Technology. Unisanta. 2017
3. Klinzing GE; Cabrejos FJ. Pickup and saltation mechanisms of solid particles in horizontal pneumatic transport. Powder Technology. 1994, v. 79, p. 173-186.