ISSN: 2594-6153

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

Luis Felipe Collacio Messias[1], Felipe Bertelli[1,2], Nelize Maria de Almeida Coelho[1], Vitor da Silva Rosa[1], Deovaldo de Moraes Júnior[1]

[1]Universidade Santa Cecília (UNISANTA), Santos-SP, Brasil
[2]Universidade 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 mm$H_2O$.

**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

ISSN: 2594-6153

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.

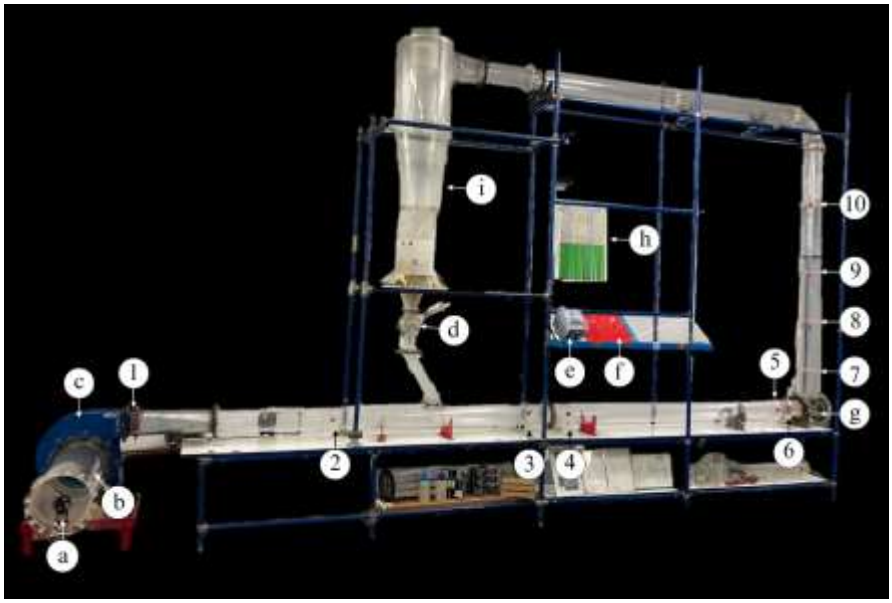


**Figura 1** - Unidade piloto de transportador pneumático em fase diluída, construído no laboratório de operações unitárias da Universidade Santa Cecilia. Itens: 1) a 10) Pontos de tomadas de pressão dos tubos do manômetro em "U"; a) Tubulação de entrada do ar de alimentação com anemômetro; b) Duto de sucção do ventilador de 223 mm de diâmetro interno e comprimento de 610 mm; c) Ventilador centrifugo 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

ISSN: 2594-6153

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

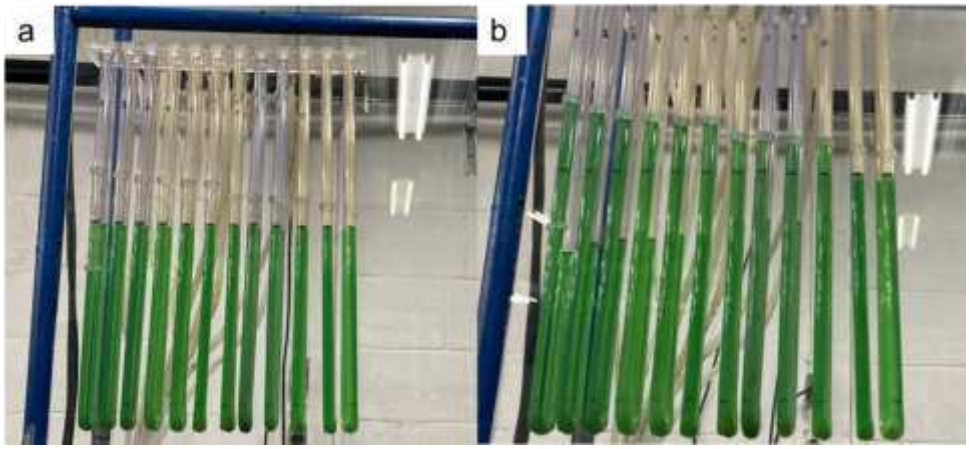


**Figura 2** – Medidores de Perda de Carga: a) Tubo em U nivelado e b) Detalhe do tubo em U em operação.

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.

| $V_{entrada}$ = 6 m/s $V_{descarga}$= 21,7 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 |

ISSN: 2594-6153

**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 |

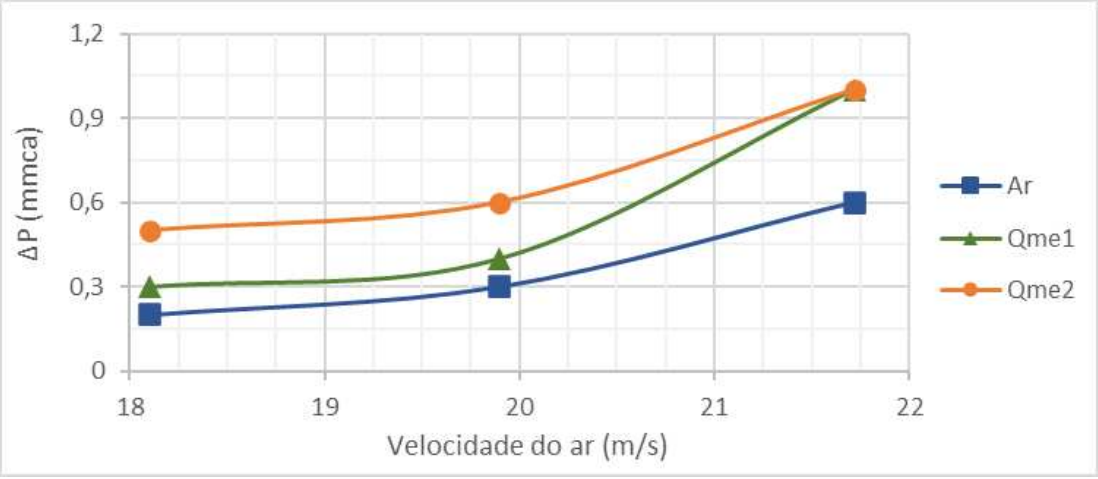


**Figura 3** – Perda de carga com diferentes vazões de sólidos e ar, entre os pontos 4 e 5 da Figura 1.

ISSN: 2594-6153

## 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”, 5ºed., 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 coeficiente 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.