

**UNIVERSIDADE SANTA CECÍLIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA**  
**MESTRADO EM ENGENHARIA MECÂNICA**

**MARCELO GONÇALVES PITA**

**ESTUDO DA PERDA DE CARGA EM UMA UNIDADE PILOTO DE TRANSPORTE  
PNEUMÁTICO DE GRÃOS DE MILHO EM FASE DILUÍDA – INFLUÊNCIA DA  
SINGULARIDADE TÊ**

**SANTOS/SP**

**2016**

**MARCELO GONÇALVES PITA**

**ESTUDO DA PERDA DE CARGA EM UMA UNIDADE PILOTO DE TRANSPORTE  
PNEUMÁTICO DE GRÃOS DE MILHO EM FASE DILUÍDA – INFLUÊNCIA DA  
SINGULARIDADE TÊ**

Dissertação apresentada à Universidade Santa Cecília como parte dos requisitos para obtenção de título de Mestre no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, sob orientação da Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Karina Tamião de Campos Roseno e co-orientação do Prof. Dr. Aldo Ramos Santos.

**SANTOS/SP**

**2016**

Pita, Marcelo Gonçalves.

Estudo da Perda de Carga em uma Unidade Piloto de Transporte Pneumático de Grãos de Milho em Fase Diluída - Influência da Singularidade Tê / Marcelo Gonçalves Pita.-- 2016.

n. de f 130.

Orientador: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup> Karina Tamião de Campos Roseno.

Coorientador: Prof. Dr. Aldo Ramos Santos

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Santa Cecília, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Santos, SP, 2016.

1. Transporte Pneumático. 2. Fase Diluída. 3. Grãos de Milho.

I. Roseno, Karina Tamião de Campos, II. Santos, Aldo Ramos III. Estudo da Perda de Carga em uma Unidade Piloto de Transporte Pneumático de Grãos de Milho em Fase Diluída - Influência da Singularidade Tê.

*Dedico este trabalho à minha esposa Ana Paula Lopes Carvalho Pita e filha Mariana Lopes Carvalho Pita, que com sua paciência e perseverança, fazem viver em mim, a alegria, compreensão, sensatez, amor, companheirismo, responsabilidade e motivação para os desafios de nossas vidas. Todo esforço vale a pena quando estou ao seu lado.*

## **AGRADECIMENTOS**

À Deus Pai, por que é através dele, que nossos objetivos e conquistas são realizados.

À Profa. Dra. Karina Tamião de Campos Roseno pela orientação, empenho, dedicação e paciência durante a realização deste trabalho. Excelente profissional e orientadora, meus sinceros agradecimentos.

Ao Prof. Dr. Aldo Ramos Santos, co-orientador e apoiador, que com o seu conhecimento e dedicação tornou isso possível.

Aos membros da banca de qualificação pelas sugestões e correções melhorando o resultado final do trabalho.

Aos professores orientadores, apoiadores e amigos desde o tempo de faculdade, Prof. Dr. Deovaldo de Moraes Junior, Profa. Dra. Marlene Silva de Moraes, Prof. Dr. Luis Renato Bastos Lia e o Prof. Dr. Luiz Henrique Shiavon, excelentes profissionais e apoiadores deste projeto.

Aos técnicos da UNISANTA, Gilmar Alcântara e Volnei de Lemos, pela atenção e ajuda na operação da unidade piloto.

Aos Estagiários do Laboratório de Operações Unitárias da Universidade Santa Cecília, pela ajuda no experimento.

À amiga Profa. Dra. Teldes Corrêa Albuquerque pelos conselhos e disposição, além do bom humor de sempre.

À minha eterna companheira Ana Paula Lopes Carvalho Pita, idealizadora e apoiadora deste projeto de vida que temos pela frente.

À minha amada filha Mariana Lopes Carvalho Pita que, com cada sorriso, transmite a força de continuar nessa caminhada.

À minha Mãe, Dorilda de Oliveira Gonçalves, pelo amor e apoio em todos os momentos da minha vida; À minha Irmã e Esposo, Wanessa Pita Kubo e Celso Kubo, pelo carinho a mim e a minha família.

Aos sogros, Paulo Cesar Carvalho e Marli Lopes Carvalho, pelo apoio financeiro no início deste projeto e pela parceria de sempre.

A todos aqueles que me esqueci de referenciar, mas que foram importantes na minha vida, o meu muito obrigado.

## RESUMO

O transporte de grãos, ou outros sólidos particulados, por meio da fluidização de sólidos e tendo o ar como fluido, é chamado na indústria como transporte pneumático. O transporte pneumático é o mais vantajoso meio de transporte de partículas sólidas utilizado pela indústria para curtas distâncias. Adequando as variáveis e sistemas combinados de pressão (volume e velocidade da partícula e pressão do ar), um transportador pneumático apresenta alta eficiência no transporte de grãos. O Brasil, em 2014, alcançou o nível de 71,1 milhões de toneladas de milho, superando a tradicional cultura da soja e hoje em dia, com a crescente preocupação com a poluição ambiental, higiene, a praticidade e com os custos, tal sistema tem sido bastante requisitado em indústrias químicas, alimentícias, no processamento de minerais e combustíveis sólidos, no controle de emissão de poluentes e na secagem de sólidos, devido à escassez de publicações sobre estudos de transporte pneumático com grãos de milho, realizaram-se experimentos no intuito de enriquecer de informações dados específicos de perda de carga e singularidades com grãos de milho. A aplicação dos fundamentos teóricos e análise de desempenho, no projeto de transportadores pneumáticos, pode diferir muito do equipamento projetado. Isto ressalta a importância de testar estes equipamentos para avaliar e orientar as variáveis do tipo de grãos utilizados e erosão precoce da tubulação. O objetivo geral do trabalho foi analisar, em uma unidade piloto de transporte pneumático, as perdas de carga nas tubulações horizontais e verticais e a influência da singularidade no transporte com grãos de milho em fase diluída em uma velocidade abaixo das principais referências bibliográficas. A Unidade Piloto de Transporte Pneumático apresentou dados comparativos das perdas de carga em tubulações horizontais, verticais e na utilização de singularidades Tê's, com saída de lado, sem prolongamento e com prolongamentos distintos de 30 cm, 60 cm e 90 cm. O resultado apresentado, na utilização de velocidades abaixo do requerido em transportadores pneumáticos, (10,00 m/s, 11,29 m/s, 12,48 m/s, 13,34 m/s e 14,36 m/s), mostra a importância significativa do experimento, apresentando um aumento de 27% na perda de carga da singularidade utilizada, devido à densidade e geometria do grão de milho.

**Palavras-chave:** Transporte Pneumático. Fase Diluída. Grãos de Milho.

## **ABSTRACT**

The transport of grain, or other particulate solids, through of solids fluidizing with air as the fluid is called in the industry as pneumatic conveying. The pneumatic conveying is more advantageous solid particles move, used in industry for short distances. Adjusting of variables and combined pressure systems (volume and particle velocity and air pressure), the pneumatic conveying has a high efficiency in the transport of grain. The Brazil, on 2014, reached the level of 71.1 million tons of corn, surpassing the traditional soya bean crop, and today. With the growing concern about environmental pollution, hygiene, the practicality and costs, such system has been widely requested in chemical industries, food industries, minerals processing, solid fuels, emission control and drying of solids and the scarcity of publications on pneumatic transport studies with corn grains, helded experiments to enrich information specific head loss and peculiarities with corn grain. The application of theoretical foundations and performance in pneumatic conveyors design, can be very different from the designed equipment. This is the important highlights to test these devices to assess and guide the type variables grains and early erosion of the pipe. The general objective is to analyze, in a small experimental unit, the head loss in the pipes and the influence of singularities with corns grains, in dilute phase, at a speed below the main references. The Pneumatic Pilot Unit Transport presented comparative data of pressure drop in horizontal pipes, vertical and use of singularities Tê's with side outlet without extension and with different extensions of 30 cm, 60 cm and 90 cm. The result shown in the following operating speeds required in pneumatic conveyors (10.00 m/s, 11,29 m/s, 12,48 m/s, 13,34 m/s to 14.36 m/s) shows the significant importance of the experiment, an increase of 27% in head loss of singularities used, due to density and corn grain geometry.

**Words Key:** Pneumatic Conveying. Dilute Phase. Corn Grain.

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Páginas</b>
Figura 1 – Ciclo dinâmico do transporte pneumático.	32
Figura 2 – Transporte pneumático em fase densa com fluxo da direita para esquerda.	34
Figura 3 – Transporte pneumático em fase diluída com fluxo da esquerda para direita.	35
Figura 4 – Sistema com transporte de pressão positiva.	38
Figura 5 – Sistema de pressão negativa.	38
Figura 6 – Sistema de pressão positiva e negativa.	39
Figura 7 – Diagrama de fase para transporte vertical de fase diluída, mostrando a relação geral entre gradiente de pressão $\Delta P / \Delta L$ e a velocidade do gás. VCH e a velocidade de afogamento <i>chocking</i> .	41
Figura 8 – Perda de carga por unidade de comprimento em função da Velocidade média do ar.	42
Figura 9 – Perda de Carga por unidade de comprimento (AP/L) em função da velocidade superficial do ar ou gás (v). a) duto horizontal; b) duto vertical.	43
Figura 10 – Unidade piloto de transporte pneumático projetada e instalada no Laboratório de Operações da UNISANTA.	48
Figura 11 – Esboço da unidade piloto de transporte pneumático.	49
Figura 12 – Ventilador centrífugo.	51
Figura 13 – Duto de sucção.	51
Figura 14 – Motor elétrico utilizado para acionar o ventilador da unidade.	52
Figura 15 – Inversor de frequência.	53
Figura 16 – Válvula rotativa.	54
Figura 17 – Controlador de velocidade do motor da válvula rotativa.	54
Figura 18 – Banco de tubos em U para cálculo da perda de carga.	55
Figura 19 – Detalhe da tubulação horizontal da unidade piloto.	56
Figura 20 – Tubulação vertical.	56
Figura 21 – Silo para armazenamento dos grãos de milho.	57
Figura 22 – Detalhe do equipamento que ocasiona o efeito ciclone no transporte dos grãos de milho.	57
Figura 23 – Detalhe da singularidade Tê saída de lado sem prolongamento.	58
Figura 24 – Detalhe do Anemômetro medindo a velocidade do ar no duto de sucção a) vista frontal; b) vista lateral.	60

Figura 25 – Curvas das Perdas de Carga no Trecho Horizontal para Vazão Mássica de grão de milho de 0,0495 kg/s, nas velocidades de descarga (A) 10,00 m/s, (B) 11,29 m/s, (C) 12,48 m/s, (D) 13,34 m/s e (E) 14,36 m/s.	71
Figura 26 – Curvas das Perdas de Carga no Trecho Horizontal para Vazão Mássica de grão de milho de 0,0736 kg/s, nas velocidades de descarga (A) 10,00 m/s, (B) 11,29 m/s, (C) 12,48 m/s, (D) 13,34 m/s e (E) 14,36 m/s.	73
Figura 27 – Curvas das Perdas de Carga no Trecho Horizontal para Vazão Mássica de grão de milho de 0,1105 kg/s, nas velocidades de descarga (A) 10,00 m/s, (B) 11,29 m/s, (C) 12,48 m/s, (D) 13,34 m/s e (E) 14,36 m/s.	75
Figura 28 – Curvas das Perdas de Carga no Trecho Horizontal para Vazão Mássica de grão de milho de 0,1319 kg/s, nas velocidades de descarga (A) 10,00 m/s, (B) 11,29 m/s, (C) 12,48 m/s, (D) 13,34 m/s e (E) 14,36 m/s.	77
Figura 29 – Curvas das Perdas de Carga no Trecho Horizontal para Vazão Mássica de grão de milho de 0,1646 kg/s, nas velocidades de descarga (A) 10,00 m/s, (B) 11,29 m/s, (C) 12,48 m/s, (D) 13,34 m/s e (E) 14,36 m/s.	79
Figura 30 – Curvas das Perdas de Carga no Trecho Vertical para Vazão Mássica de grão de milho à 0,0495 kg/s, nas velocidades de descarga (A) 10,00 m/s, (B) 11,29 m/s, (C) 12,48 m/s, (D) 13,34 m/s e (E) 14,36 m/s.	81
Figura 31 – Curvas das Perdas de Carga no Trecho Vertical para Vazão Mássica de grão de milho à 0,0736 kg/s, nas velocidades de descarga (A) 10,00 m/s, (B) 11,29 m/s, (C) 12,48 m/s, (D) 13,34 m/s e (E) 14,36 m/s.	83
Figura 32 – Curvas das Perdas de Carga no Trecho Vertical para Vazão Mássica de grão de milho à 0,1105 kg/s, nas velocidades de descarga (A) 10,00 m/s, (B) 11,29 m/s, (C) 12,48 m/s, (D) 13,34 m/s e (E) 14,36 m/s.	85
Figura 33 – Curvas das Perdas de Carga no Trecho Vertical para Vazão Mássica de grão de milho à 0,1319 kg/s, nas velocidades de descarga (A) 10,00 m/s, (B) 11,29 m/s, (C) 12,48 m/s, (D) 13,34 m/s e (E) 14,36 m/s.	87
Figura 34 – Curvas das Perdas de Carga no Trecho Vertical para Vazão Mássica de grão de milho à 0,1646 kg/s, nas velocidades de descarga (A) 10,00 m/s, (B) 11,29 m/s, (C) 12,48 m/s, (D) 13,34 m/s e (E) 14,36 m/s.	89

## LISTA DE TABELAS

	<b>Páginas</b>
Tabela 1 – Variação das densidades dos milhos estratificados de diferentes densidades ao longo do tempo (meses), em g/L.	29
Tabela 2 – Características dos sistemas pneumáticos em fase densa e diluída.	36
Tabela 3 – Comparação do transporte pneumático em fase densa e diluída.	36
Tabela 4 – Determinação da velocidade em função do tipo de sólido em tubulação metálica.	40
Tabela 5 – Valores de K, K1 e K para acessórios Tê – saída de lado.	46
Tabela 6 – Velocidades do ar no duto de sucção.	61
Tabela 7 – Vazão mássica de milho.	63
Tabela 8 – Determinação da densidade aparente com proveta de 1000 ml.	68
Tabela 9 – Condição de Transporte e acúmulo de grãos de milho na unidade experimental detectado com a velocidade média de descarga de ar-milho de 10,0 m/s.	69
Tabela 10 – Velocidades do ar no duto de descarga.	69
Tabela 11 – Médias do coeficiente K, nas velocidades de mistura ar-sólido estudadas.	91
Tabela A1 – Pressões no Banco de Tubos em “U” de P1 até P10 em função da Frequência de 30,0 Hz, com tê sem prolongamento.	99
Tabela A2 – Pressões no Banco de Tubos em “U” de P1 até P10 em função da Frequência de 32,5 Hz, com tê sem prolongamento.	99
Tabela A3 – Pressões no Banco de Tubos em “U” de P1 até P10 em função da Frequência de 35,0 Hz, com tê sem prolongamento.	99
Tabela A4 – Pressões no Banco de Tubos em “U” de P1 até P10 em função da Frequência de 37,5 Hz, com tê sem prolongamento.	100
Tabela A5 – Pressões no Banco de Tubos em “U” de P1 até P10 em função da Frequência de 40,0 Hz, com tê sem prolongamento.	100
Tabela A6 – Pressões no Banco de Tubos em “U” de P1 até P10 em função da Frequência de 30,0 Hz, e tê com prolongamento de 30 mm.	100
Tabela A7 – Pressões no Banco de Tubos em “U” de P1 até P10 em função da Frequência de 32,5 Hz, e tê com prolongamento de 30 mm.	100

Tabela A8 – Pressões no Banco de Tubos em “U” de P1 até P10 em função da Frequência de 35,0 Hz, e tê com prolongamento de 30 mm.	101
Tabela A9 – Pressões no Banco de Tubos em “U” de P1 até P10 em função da Frequência de 37,5 Hz, e tê com prolongamento de 30 mm.	101
Tabela A10 – Pressões no Banco de Tubos em “U” de P1 até P10 em função da Frequência de 40,0 Hz, e tê com prolongamento de 30 mm.	101
Tabela A11 – Pressões no Banco de Tubos em “U” de P1 até P10 em função da Frequência de 30,0 Hz, e tê com prolongamento de 60 mm.	101
Tabela A12 – Pressões no Banco de Tubos em “U” de P1 até P10 em função da Frequência de 32,5 Hz, e tê com prolongamento de 60 mm.	102
Tabela A13 – Pressões no Banco de Tubos em “U” de P1 até P10 em função da Frequência de 35,0 Hz, e tê com prolongamento de 60 mm.	102
Tabela A14 – Pressões no Banco de Tubos em “U” de P1 até P10 em função da Frequência de 37,5 Hz, e tê com prolongamento de 60 mm.	102
Tabela A15 – Pressões no Banco de Tubos em “U” de P1 até P10 em função da Frequência de 40,0 Hz, e tê com prolongamento de 60 mm.	102
Tabela A16 – Pressões no Banco de Tubos em “U” de P1 até P10 em função da Frequência de 30,0 Hz, e tê com prolongamento de 90 mm.	103
Tabela A17 – Pressões no Banco de Tubos em “U” de P1 até P10 em função da Frequência de 32,5 Hz, e tê com prolongamento de 90 mm.	103
Tabela A18 – Pressões no Banco de Tubos em “U” de P1 até P10 em função da Frequência de 35,0 Hz, e tê com prolongamento de 90 mm.	103
Tabela A19 – Pressões no Banco de Tubos em “U” de P1 até P10 em função da Frequência de 37,5 Hz, e tê com prolongamento de 90 mm.	103
Tabela A20 – Pressões no Banco de Tubos em “U” de P1 até P10 em função da Frequência de 40,0 Hz, e tê com prolongamento de 90 mm.	104
Tabela B1 – Calculo do Coeficiente K, entre os pontos P6 e P7, para Vazão Mássica de milho de 0,0495 kg/s e tê sem prolongamento.	105
Tabela B2 – Calculo do Coeficiente K, entre os pontos P6 e P7, para Vazão Mássica de milho de 0,0736 kg/s e tê sem prolongamento.	105
Tabela B3 – Calculo do Coeficiente K, entre os pontos P6 e P7, para Vazão Mássica de milho de 0,1105 kg/s e tê sem prolongamento.	105
Tabela B4 – Calculo do Coeficiente K, entre os pontos P6 e P7, para Vazão Mássica de milho de 0,1319 kg/s e tê sem prolongamento.	106
Tabela B5 – Calculo do Coeficiente K, entre os pontos P6 e P7, para Vazão Mássica de milho de 0,1646 kg/s e tê sem prolongamento.	106
Tabela B6 – Calculo do Coeficiente K, entre os pontos P6 e P7, para Vazão Mássica de milho de 0,0495 kg/s e tê com prolongamento de 30 mm.	106

Tabela B7 – Calculo do Coeficiente K, entre os pontos P6 e P7, para Vazão Mássica de milho de 0,0736 kg/s e tê com prolongamento de 30 mm.	107
Tabela B8 – Calculo do Coeficiente K, entre os pontos P6 e P7, para Vazão Mássica de milho de 0,1105 kg/s e tê com prolongamento de 30 mm.	107
Tabela B9 – Calculo do Coeficiente K, entre os pontos P6 e P7, para Vazão Mássica de milho de 0,1319 kg/s e tê com prolongamento de 30 mm.	107
Tabela B10 – Calculo do Coeficiente K, entre os pontos P6 e P7, para Vazão Mássica de milho de 0,1646 kg/s e tê com prolongamento de 30 mm.	108
Tabela B11 – Calculo do Coeficiente K, entre os pontos P6 e P7, para Vazão Mássica de milho de 0,0495 kg/s e tê com prolongamento de 60 mm.	108
Tabela B12 – Calculo do Coeficiente K, entre os pontos P6 e P7, para Vazão Mássica de milho de 0,0736 kg/s e tê com prolongamento de 60 mm.	108
Tabela B13 – Calculo do Coeficiente K, entre os pontos P6 e P7, para Vazão Mássica de milho de 0,1105 kg/s e tê com prolongamento de 60 mm.	109
Tabela B14 – Calculo do Coeficiente K, entre os pontos P6 e P7, para Vazão Mássica de milho de 0,1319 kg/s e tê com prolongamento de 60 mm.	109
Tabela B15 – Calculo do Coeficiente K, entre os pontos P6 e P7, para Vazão Mássica de milho de 0,1646 kg/s e tê com prolongamento de 60 mm.	109
Tabela B16 – Calculo do Coeficiente K, entre os pontos P6 e P7, para Vazão Mássica de milho de 0,0495 kg/s e tê com prolongamento de 90 mm.	110
Tabela B17 – Calculo do Coeficiente K, entre os pontos P6 e P7, para Vazão Mássica de milho de 0,0736 kg/s e tê com prolongamento de 90 mm.	110
Tabela B18 – Calculo do Coeficiente K, entre os pontos P6 e P7, para Vazão Mássica de milho de 0,1105 kg/s e tê com prolongamento de 90 mm.	110
Tabela B19 – Calculo do Coeficiente K, entre os pontos P6 e P7, para Vazão Mássica de milho de 0,1319 kg/s e tê com prolongamento de 90 mm.	111
Tabela B20 – Calculo do Coeficiente K, entre os pontos P6 e P7, para Vazão Mássica de milho de 0,1646 kg/s e tê com prolongamento de 90 mm.	111

Tabela C01 – Calculo da Perda de Carga no tubo Horizontal, entre os pontos P1 e P6, para Vazão Mássica de milho de 0,0495 kg/s e Velocidade do Ar com os Grãos de Milho de 10,0 m/s, nas singularidades sem prolongamento e com os prolongamentos de 30, 60 e 90 mm.	112
Tabela C02 – Calculo da Perda de Carga no tubo Horizontal, entre os pontos P1 e P6, para Vazão Mássica de milho de 0,0495 kg/s e Velocidade do Ar com os Grãos de Milho de 11,29 m/s, nas singularidades sem prolongamento e com os prolongamentos de 30, 60 e 90 mm.	112
Tabela C03 – Calculo da Perda de Carga no tubo Horizontal, entre os pontos P1 e P6, para Vazão Mássica de milho de 0,0495 kg/s e Velocidade do Ar com os Grãos de Milho de 12,48 m/s, nas singularidades sem prolongamento e com os prolongamentos de 30, 60 e 90 mm.	113
Tabela C04 – Calculo da Perda de Carga no tubo Horizontal, entre os pontos P1 e P6, para Vazão Mássica de milho de 0,0495 kg/s e Velocidade do Ar com os Grãos de Milho de 13,34 m/s, nas singularidades sem prolongamento e com os prolongamentos de 30, 60 e 90 mm.	113
Tabela C05 – Calculo da Perda de Carga no tubo Horizontal, entre os pontos P1 e P6, para Vazão Mássica de milho de 0,0495 kg/s e Velocidade do Ar com os Grãos de Milho de 14,36 m/s, nas singularidades sem prolongamento e com os prolongamentos de 30, 60 e 90 mm.	113
Tabela C06 – Calculo da Perda de Carga no tubo Horizontal, entre os pontos P1 e P6, para Vazão Mássica de milho de 0,0736 kg/s e Velocidade do Ar com os Grãos de Milho de 10,0 m/s, nas singularidades sem prolongamento e com os prolongamentos de 30, 60 e 90 mm.	114
Tabela C07 – Calculo da Perda de Carga no tubo Horizontal, entre os pontos P1 e P6, para Vazão Mássica de milho de 0,0736 kg/s e Velocidade do Ar com os Grãos de Milho de 11,29 m/s, nas singularidades sem prolongamento e com os prolongamentos de 30, 60 e 90 mm.	114
Tabela C08 – Calculo da Perda de Carga no tubo Horizontal, entre os pontos P1 e P6, para Vazão Mássica de milho de 0,0736 kg/s e Velocidade do Ar com os Grãos de Milho de 12,48 m/s, nas singularidades sem prolongamento e com os prolongamentos de 30, 60 e 90 mm.	114
Tabela C09 – Calculo da Perda de Carga no tubo Horizontal, entre os pontos P1 e P6, para Vazão Mássica de milho de 0,0736 kg/s e Velocidade do Ar com os Grãos de Milho de 13,34 m/s, nas singularidades sem prolongamento e com os prolongamentos de 30, 60 e 90 mm.	115

Tabela C10 – Calculo da Perda de Carga no tubo Horizontal, entre os pontos P1 e P6, para Vazão Mássica de milho de 0,0736 kg/s e Velocidade do Ar com os Grãos de Milho de 14,36 m/s, nas singularidades sem prolongamento e com os prolongamentos de 30, 60 e 90 mm.	115
Tabela C11 – Calculo da Perda de Carga no tubo Horizontal, entre os pontos P1 e P6, para Vazão Mássica de milho de 0,1105 kg/s e Velocidade do Ar com os Grãos de Milho de 10,00 m/s, nas singularidades sem prolongamento e com os prolongamentos de 30, 60 e 90 mm.	115
Tabela C12 – Calculo da Perda de Carga no tubo Horizontal, entre os pontos P1 e P6, para Vazão Mássica de milho de 0,1105 kg/s e Velocidade do Ar com os Grãos de Milho de 11,29 m/s, nas singularidades sem prolongamento e com os prolongamentos de 30, 60 e 90 mm.	116
Tabela C13 – Calculo da Perda de Carga no tubo Horizontal, entre os pontos P1 e P6, para Vazão Mássica de milho de 0,1105 kg/s e Velocidade do Ar com os Grãos de Milho de 12,48 m/s, nas singularidades sem prolongamento e com os prolongamentos de 30, 60 e 90 mm.	116
Tabela C14 – Calculo da Perda de Carga no tubo Horizontal, entre os pontos P1 e P6, para Vazão Mássica de milho de 0,1105 kg/s e Velocidade do Ar com os Grãos de Milho de 13,34 m/s, nas singularidades sem prolongamento e com os prolongamentos de 30, 60 e 90 mm.	116
Tabela C15 – Calculo da Perda de Carga no tubo Horizontal, entre os pontos P1 e P6, para Vazão Mássica de milho de 0,1105 kg/s e Velocidade do Ar com os Grãos de Milho de 14,36 m/s, nas singularidades sem prolongamento e com os prolongamentos de 30, 60 e 90 mm.	117
Tabela C16 – Cálculo da Perda de Carga no tubo Horizontal, entre os pontos P1 e P6, para Vazão Mássica de milho de 0,1319 kg/s e Velocidade do Ar com os Grãos de Milho de 10,0 m/s, nas singularidades sem prolongamento e com os prolongamentos de 30, 60 e 90 mm.	117
Tabela C17 – Cálculo da Perda de Carga no tubo Horizontal, entre os pontos P1 e P6, para Vazão Mássica de milho de 0,1319 kg/s e Velocidade do Ar com os Grãos de Milho de 11,29 m/s, nas singularidades sem prolongamento e com os prolongamentos de 30, 60 e 90 mm.	117
Tabela C18 – Cálculo da Perda de Carga no tubo Horizontal, entre os pontos P1 e P6, para Vazão Mássica de milho de 0,1319 kg/s e Velocidade do Ar com os Grãos de Milho de 12,48 m/s, nas singularidades sem prolongamento e com os prolongamentos de 30, 60 e 90 mm.	118

Tabela C19 – Cálculo da Perda de Carga no tubo Horizontal, entre os pontos P1 e P6, para Vazão Mássica de milho de 0,1319 kg/s e Velocidade do Ar com os Grãos de Milho de 13,34 m/s, nas singularidades sem prolongamento e com os prolongamentos de 30, 60 e 90 mm.	118
Tabela C20 – Cálculo da Perda de Carga no tubo Horizontal, entre os pontos P1 e P6, para Vazão Mássica de milho de 0,1319 kg/s e Velocidade do Ar com os Grãos de Milho de 14,36 m/s, nas singularidades sem prolongamento e com os prolongamentos de 30, 60 e 90 mm.	118
Tabela C21 – Cálculo da Perda de Carga no tubo Horizontal, entre os pontos P1 e P6, para Vazão Mássica de milho de 0,1646 kg/s e Velocidade do Ar com os Grãos de Milho de 10,0 m/s, nas singularidades sem prolongamento e com os prolongamentos de 30, 60 e 90 mm.	119
Tabela C22 – Cálculo da Perda de Carga no tubo Horizontal, entre os pontos P1 e P6, para Vazão Mássica de milho de 0,1646 kg/s e Velocidade do Ar com os Grãos de Milho de 11,29 m/s, nas singularidades sem prolongamento e com os prolongamentos de 30, 60 e 90 mm.	119
Tabela C23 – Cálculo da Perda de Carga no tubo Horizontal, entre os pontos P1 e P6, para Vazão Mássica de milho de 0,1646 kg/s e Velocidade do Ar com os Grãos de Milho de 12,48 m/s, nas singularidades sem prolongamento e com os prolongamentos de 30, 60 e 90 mm.	119
Tabela C24 – Cálculo da Perda de Carga no tubo Horizontal, entre os pontos P1 e P6, para Vazão Mássica de milho de 0,1646 kg/s e Velocidade do Ar com os Grãos de Milho de 13,34 m/s, nas singularidades sem prolongamento e com os prolongamentos de 30, 60 e 90 mm.	120
Tabela C25 – Cálculo da Perda de Carga no tubo Horizontal, entre os pontos P1 e P6, para Vazão Mássica de milho de 0,1646 kg/s e Velocidade do Ar com os Grãos de Milho de 14,36 m/s, nas singularidades sem prolongamento e com os prolongamentos de 30, 60 e 90 mm.	120
Tabela D01 – Cálculo da Perda de Carga no tubo Vertical, entre os pontos P7 e P10, para Vazão Mássica de milho de 0,0495 kg/s e Velocidade do Ar com os Grãos de Milho de 10,0 m/s, nas singularidades sem prolongamento e com os prolongamentos de 30, 60 e 90 mm.	121
Tabela D02 – Cálculo da Perda de Carga no tubo Vertical, entre os pontos P7 e P10, para Vazão Mássica de milho de 0,0495 kg/s e Velocidade do Ar com os Grãos de Milho de 11,29 m/s, nas singularidades sem prolongamento e com os prolongamentos de 30, 60 e 90 mm.	121

Tabela D03 – Calculo da Perda de Carga no tubo Vertical, entre os pontos P7 e P10, para Vazão Mássica de milho de 0,0495 kg/s e Velocidade do Ar com os Grãos de Milho de 12,48 m/s, nas singularidades sem prolongamento e com os prolongamentos de 30, 60 e 90 mm.	122
Tabela D04 – Calculo da Perda de Carga no tubo Vertical, entre os pontos P7 e P10, para Vazão Mássica de milho de 0,0495 kg/s e Velocidade do Ar com os Grãos de Milho de 13,34 m/s, nas singularidades sem prolongamento e com os prolongamentos de 30, 60 e 90 mm.	122
Tabela D05 – Calculo da Perda de Carga no tubo Vertical, entre os pontos P7 e P10, para Vazão Mássica de milho de 0,0495 kg/s e Velocidade do Ar com os Grãos de Milho de 14,36 m/s, nas singularidades sem prolongamento e com os prolongamentos de 30, 60 e 90 mm.	122
Tabela D06 – Calculo da Perda de Carga no tubo Vertical, entre os pontos P7 e P10, para Vazão Mássica de milho de 0,0736 kg/s e Velocidade do Ar com os Grãos de Milho de 10,0 m/s, nas singularidades sem prolongamento e com os prolongamentos de 30, 60 e 90 mm.	123
Tabela D07 – Calculo da Perda de Carga no tubo Vertical, entre os pontos P7 e P10, para Vazão Mássica de milho de 0,0736 kg/s e Velocidade do Ar com os Grãos de Milho de 11,29 m/s, nas singularidades sem prolongamento e com os prolongamentos de 30, 60 e 90 mm.	123
Tabela D08 – Calculo da Perda de Carga no tubo Vertical, entre os pontos P7 e P10, para Vazão Mássica de milho de 0,0736 kg/s e Velocidade do Ar com os Grãos de Milho de 12,48 m/s, nas singularidades sem prolongamento e com os prolongamentos de 30, 60 e 90 mm.	123
Tabela D09 – Calculo da Perda de Carga no tubo Vertical, entre os pontos P7 e P10, para Vazão Mássica de milho de 0,0736 kg/s e Velocidade do Ar com os Grãos de Milho de 13,34 m/s, nas singularidades sem prolongamento e com os prolongamentos de 30, 60 e 90 mm.	124
Tabela D10 – Calculo da Perda de Carga no tubo Vertical, entre os pontos P7 e P10, para Vazão Mássica de milho de 0,0736 kg/s e Velocidade do Ar com os Grãos de Milho de 14,36 m/s, nas singularidades sem prolongamento e com os prolongamentos de 30, 60 e 90 mm.	124
Tabela D11 – Calculo da Perda de Carga no tubo Vertical, entre os pontos P7 e P10, para Vazão Mássica de milho de 0,1105 kg/s e Velocidade do Ar com os Grãos de Milho de 10,00 m/s, nas singularidades sem prolongamento e com os prolongamentos de 30, 60 e 90 mm.	124

Tabela D12 – Calculo da Perda de Carga no tubo Vertical, entre os pontos P7 e P10, para Vazão Mássica de milho de 0,1105 kg/s kg/s e Velocidade do Ar com os Grãos de Milho de 11,29 m/s, nas singularidades sem prolongamento e com os prolongamentos de 30, 60 e 90 mm.	125
Tabela D13 – Calculo da Perda de Carga no tubo Vertical, entre os pontos P7 e P10, para Vazão Mássica de milho de 0,1105 kg/s kg/s e Velocidade do Ar com os Grãos de Milho de 12,48 m/s, nas singularidades sem prolongamento e com os prolongamentos de 30, 60 e 90 mm.	125
Tabela D14 – Calculo da Perda de Carga no tubo Vertical, entre os pontos P7 e P10, para Vazão Mássica de milho de 0,1105 kg/s kg/s e Velocidade do Ar com os Grãos de Milho de 13,34 m/s, nas singularidades sem prolongamento e com os prolongamentos de 30, 60 e 90 mm.	125
Tabela D15 – Calculo da Perda de Carga no tubo Vertical, entre os pontos P7 e P10, para Vazão Mássica de milho de 0,1105 kg/s kg/s e Velocidade do Ar com os Grãos de Milho de 14,36 m/s, nas singularidades sem prolongamento e com os prolongamentos de 30, 60 e 90 mm.	126
Tabela D16 – Calculo da Perda de Carga no tubo Vertical, entre os pontos P7 e P10, para Vazão Mássica de milho de 0,1319 kg/s kg/s e Velocidade do Ar com os Grãos de Milho de 10,00 m/s, nas singularidades sem prolongamento e com os prolongamentos de 30, 60 e 90 mm.	126
Tabela D17 – Calculo da Perda de Carga no tubo Vertical, entre os pontos P7 e P10, para Vazão Mássica de milho de 0,1319 kg/s kg/s e Velocidade do Ar com os Grãos de Milho de 11,29 m/s, nas singularidades sem prolongamento e com os prolongamentos de 30, 60 e 90 mm.	126
Tabela D18 – Calculo da Perda de Carga no tubo Vertical, entre os pontos P7 e P10, para Vazão Mássica de milho de 0,1319 kg/s kg/s e Velocidade do Ar com os Grãos de Milho de 12,48 m/s, nas singularidades sem prolongamento e com os prolongamentos de 30, 60 e 90 mm.	127
Tabela D19 – Calculo da Perda de Carga no tubo Vertical, entre os pontos P7 e P10, para Vazão Mássica de milho de 0,1319 kg/s kg/s e Velocidade do Ar com os Grãos de Milho de 13,34 m/s, nas singularidades sem prolongamento e com os prolongamentos de 30, 60 e 90 mm.	127
Tabela D20 – Calculo da Perda de Carga no tubo Vertical, entre os pontos P7 e P10, para Vazão Mássica de milho de 0,1319 kg/s kg/s e Velocidade do Ar com os Grãos de Milho de 14,36 m/s, nas singularidades sem prolongamento e com os prolongamentos de 30, 60 e 90 mm.	127

Tabela D21 – Calculo da Perda de Carga no tubo Vertical, entre os pontos P7 e P10, para Vazão Mássica de milho de 0,1646 kg/s kg/s e Velocidade do Ar com os Grãos de Milho de 10,00 m/s, nas singularidades sem prolongamento e com os prolongamentos de 30, 60 e 90 mm.	128
Tabela D22 – Calculo da Perda de Carga no tubo Vertical, entre os pontos P7 e P10, para Vazão Mássica de milho de 0,1646 kg/s kg/s e Velocidade do Ar com os Grãos de Milho de 11,29 m/s, nas singularidades sem prolongamento e com os prolongamentos de 30, 60 e 90 mm.	128
Tabela D23 – Calculo da Perda de Carga no tubo Vertical, entre os pontos P7 e P10, para Vazão Mássica de milho de 0,1646 kg/s kg/s e Velocidade do Ar com os Grãos de Milho de 12,48 m/s, nas singularidades sem prolongamento e com os prolongamentos de 30, 60 e 90 mm.	128
Tabela D24 – Calculo da Perda de Carga no tubo Vertical, entre os pontos P7 e P10, para Vazão Mássica de milho de 0,1646 kg/s kg/s e Velocidade do Ar com os Grãos de Milho de 13,34 m/s, nas singularidades sem prolongamento e com os prolongamentos de 30, 60 e 90 mm.	129
Tabela D25 – Calculo da Perda de Carga no tubo Vertical, entre os pontos P7 e P10, para Vazão Mássica de milho de 0,1646 kg/s kg/s e Velocidade do Ar com os Grãos de Milho de 14,36 m/s, nas singularidades sem prolongamento e com os prolongamentos de 30, 60 e 90 mm.	129

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A	Área da seção transversal do Tubo ( $m^2$ ).
$A_d$	é a área interna no duto de descarga ( $m^2$ ).
$A_s$	é a área interna no duto de sucção em ( $m^2$ ).
C	é a capacidade de transporte (t/h).
$cm^2$	centímetro quadrado, unidade de área.
D	é o diâmetro interno do duto (mm).
$D_d$	é o diâmetro do duto de descarga em metros.
$D_p$	é o diâmetro médio do grão (mm).
$D_s$	é o diâmetro interno do duto de sucção em metros.
$g/cm^2$	Grama por centímetro quadrado.
$g/cm^3$	Grama por centímetro cúbico, unidade de densidade
hz	Hertz, unidade de frequência de corrente alternada.
kg	Quilograma, unidade de massa.
$kgf/cm^2$	Quilograma força por centímetro quadrado, unidade de pressão.
kg/s	Quilograma por segunda, unidade de vazão.
km	Quilômetro, unidade equivalente a 1.000 metros (SI).
$L_e$	é a perda de carga devido às curvas do duto de transporte em metros.
$L_h$	é a perda de carga devido ao trecho horizontal do duto de transporte em metros.
$L_t$	é a perda de carga por atrito devido ao comprimento total em metros.
$L_v$	é a perda de carga devido ao trecho vertical do duto de transporte em metros.
m	é a massa dos grãos de soja.
m/s	metro por segundo, unidade de velocidade.
$m^3/s$	metro cúbico por segundo, unidade de vazão.
mbar/m	milibar por metro, unidade de pressão por unidade de comprimento.
mL	Mililitro, unidade de volume equivalente a 1/1.000 litro .
mm	Milímetro, unidade de comprimento equivalente à 1/1.000 metros (SI).
mmca	milímetros de coluna d'água, unidade de pressão.
Q	é a vazão volumétrica do ar em $m^3/s$ .
Rpm	Rotação por minuto.
t/h	Tonelada por hora, unidade de vazão.
v	Volt, unidade de tensão elétrica.
V	é o volume ocupado pelos grãos de soja em $cm^3$ .

$v$	é a velocidade de transporte (m/s).
$v_d$	é a velocidade do ar no duto de descarga em m/s.
$v_s$	é a velocidade do ar no duto de sucção em m/s.
$X$	é a concentração de sólidos em peso em kg de sólidos / kg de ar.
$w_d$	é a vazão mássica no duto de descarga em t/s.
$w_s$	é a vazão mássica no duto de sucção em t/s.
$\Delta P_e$	é a perda de carga nos equipamentos em mmca.
$\Delta P_t$	é a Perda de Carga Total em $\text{kg/cm}^2$ .
$\mu$	é o fator de redução da aceleração do material.
$\rho$	é a densidade aparente do grão de milho em $(\text{t/m}^3)$
$\rho_s$	é a densidade do sólido em $\text{t/m}^3$ .
$\pi$	Pi, valor constante usada para calcular o perímetro da circunferência, valor aproximado: 3,1415926536.

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	23
1.1	Generalidades.....	23
1.2	Objetivo .....	25
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	26
2.1	Milho .....	26
2.1.1	Importância do milho na economia do Brasil .....	26
2.1.2	Densidade do Milho.....	28
2.2	Transporte Pneumático .....	29
2.2.1	Sistema de transporte pneumático .....	30
2.2.2	Fases do transporte pneumático.....	33
2.2.3	Comparação dos dois sistemas de transporte pneumáticos.....	36
2.2.4	Transporte pneumático: Pressão positiva e negativa.....	37
2.2.5	Velocidade de Operação no Transporte Pneumático.....	40
2.2.6	Velocidade mínima de gás em transporte vertical .....	40
2.2.7	Velocidade de gás em transporte horizontal. Velocidade de saltitação. ....	42
2.3	Perda De Carga.....	42
3	MATERIAIS E MÉTODOS .....	48
3.1	Materiais.....	48
3.2	Método De Coleta Dos Resultados .....	59
3.2.1	Velocidade do ar no duto de sucção .....	59
3.2.2	Diâmetros dos dutos .....	61
3.2.3	Velocidade do ar no duto de descarga .....	61
3.2.4	Vazão mássica através da técnica massa por tempo, calibração da Válvula Rotativa.....	63
3.2.5	Densidade Do Milho.....	63
3.3	Determinação Da Perda De Carga Do Milho .....	64
3.4	Determinação do Coeficiente K.....	67
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	68
4.1	Densidade Aparente Do Milho.....	68
4.2	Condições de Transporte na Unidade Experimental .....	68
4.3	Velocidade De Operação Em Fase Diluída.....	69
4.4	Perda de Carga do Milho na Unidade de Transporte Pneumático.....	70

4.4.1	Trecho Horizontal .....	70
4.4.2	Trecho Vertical.....	81
4.4.3	Determinação do Fator K e a Perda de Carga Equivalente .....	91
5	CONCLUSÕES E SUGESTÕES .....	94
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	96
	APÊNDICE A.....	100
	APÊNDICE B.....	106
	APÊNDICE C .....	113
	APÊNDICE D .....	122

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Generalidades

O manuseio de grãos tem grande importância em uma unidade armazenadora. Pesquisas mostram que os danos causados aos produtos, tanto em densidade quanto no ponto em que o grão recebe o impacto, ocorrem devido ao manuseio inadequado dos equipamentos.

Segundo Souza *et al.* (2013) para o transporte de alguns sólidos, como o milho, em um transportador pneumático, há várias vantagens sobre outros sistemas, como segurança, baixo custo de aquisição, operação e manutenção, perda insignificante de material, facilidade de automação, flexibilidade de modificação da direção de escoamento.

Nonnenmacher (1994) considera o transporte pneumático uma ciência experimental, pois, mesmo aplicando-se os fundamentos teóricos básicos no seu projeto, o desempenho do equipamento resultante pode diferir muito do projetado. Isto ressalta a importância de testar estes equipamentos para avaliar e orientar as correções necessárias.

Com a expansão da área e as técnicas de plantio direto, no Brasil, cada vez mais cresce o interesse dos usuários e o nível de questionamentos, bem como a necessidade de produtos de qualidade, de confiabilidade e de eficiência agrônômica.

A agronomia brasileira produz em grande escala, diversos tipos de grãos, porém a qualidade está relacionada não só a produção, mais também ao transporte do produto.

O milho é considerado como um dos mais importantes produtos do setor agrícola não só para o Brasil, mas para todo o mundo, e sua importância é caracterizada pelas diversas formas de sua utilização, que vai desde a alimentação animal até a indústria de alta tecnologia, sendo que no Brasil, mais da metade da produção do milho em grão é destinada a alimentação animal. A safra de 2011, juntamente com a de soja, contribui com cerca de 80% da produção de grãos no país. (EMPRAPA, 2011).

A produção de milho no Brasil alcançou o nível de 71,1 milhões de toneladas, correspondendo a um aumento de 27,7% em relação ao anterior, superando a

tradicional cultura da soja. Em relação à área plantada com milho houve um crescimento em 1,5 milhões de hectares tendo como principal região produtora o Centro-Oeste, posto que esta região sofreu um menor impacto da seca dos anos anteriores (FAO, 2014).

O transporte de grãos representa uma grande parcela da logística de transporte da indústria agrícola brasileira. Exemplos de transportadores pneumáticos podem ser facilmente encontrados nas indústrias de grãos, na secagem de cereais e como reatores de craqueamento catalítico e em operações de combustão e calcinação (PERRY, 1999).

O transporte pneumático possui muitas vantagens sobre outros sistemas, como segurança, baixo custo de aquisição, operação e manutenção, perda insignificante de material, facilidade de automação, flexibilidade de modificação da direção de escoamento (SANTOS, 2009; MORAES, 2012).

Um transportador pneumático exige alguns conhecimentos determinados para sua aplicação, como: pressão, velocidade e quantidade do fluxo de ar necessário para o arraste do material a ser transportado; a potência exigida; e as características físicas do material transportado, considerando-se que irão influenciar no desempenho do equipamento (MAGALHÃES, 2003).

O sistema de transporte pneumático, está dividido em duas fases: densa e diluída.

As variáveis físicas, tais como, velocidade superficial do fluido gasoso, o tipo e a forma da partícula, o diâmetro da partícula e o diâmetro da tubulação, influenciam na escolha do transporte pneumático.

Um dos maiores inconvenientes dessa operação unitária é o desgaste da parte inferior da tubulação. A velocidade superficial do gás, o diâmetro da partícula e da tubulação, o tipo e a forma da partícula influenciam o transporte pneumático. Como consequência desta complexidade, estes sistemas são baseados em correlações empíricas obtidas por meio de estudos experimentais para cada sólido, em geral em dutos de diâmetro reduzido sem dados da distribuição de partículas na seção transversal das unidades. A maioria das indústrias, que trabalham com sistema de transporte pneumático, mantém a máxima rotação do soprador, super dimensionando-o com desperdício de energia e desgaste dos sólidos e das singularidades, tais como: curvas, joelhos e tês. Enquanto, uma velocidade de ar muito baixa causa a formação de regiões de acúmulo progressivo de particulado,

terminando por impedir a passagem de ar e, conseqüentemente, do próprio sólido. Velocidades baixas também podem gerar um arraste das partículas ao longo da parte inferior da tubulação, acarretando o desgaste do equipamento e sucessivas paradas da unidade de processo para eventuais substituições de linhas (SANTOS, 2009; MORAES, 2012).

Apesar de pouca literatura para o transporte de grãos de milho no Brasil, o deslocamento de materiais particulados sólidos através da convecção em fase diluída, é um sistema eficiente e de baixo investimento.

Dessa forma, a análise sobre a importância do milho no Brasil e as vantagens de um transporte eficaz e limpo, com pouca contaminação do meio ambiente e produto é o que objetiva a importância deste trabalho.

## **1.2 Objetivo**

O objetivo do presente estudo foi buscar dados representativos no transporte pneumático com grãos de milho, em uma unidade piloto de Transporte Pneumático do Laboratório de Operações Unitárias da Universidade Santa Cecília, e verificar os seguintes resultados:

- a) A perda de carga da mistura ar e milho, considerando-se os trechos horizontais, verticais e na singularidade  $T\hat{E}$ , sem prolongamento e com prolongamento (30 mm, 60 mm e 90 mm), comparando com a literatura disponível,
- b) determinação do fator K, constante de perda de carga na singularidade  $T\hat{E}$ , sem prolongamento e com prolongamento (30 mm, 60 mm e 90 mm), do equipamento.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 Milho**

O milho é o cereal mais produzido no mundo. A cultura do milho vem alcançando ganhos fantásticos de produtividade nestes últimos anos no Brasil.

A cultura do milho é altamente beneficiada pela tecnologia e pelas inovações da pesquisa agrícola, sendo um dos principais casos de sucesso da chamada revolução verde no Brasil. Além disso, o Brasil hoje é o terceiro maior produtor do grão (SOUZA, 2013), atrás dos EUA e China, sendo o principal país na América do Sul à produzi-lo.

Em 2010, a produção mundial foi de pouco mais de 800 milhões de toneladas segundo o *United States Department of Agriculture* (USDA, 2014), sendo que os Estados Unidos e a China são responsáveis por 60% da produção total colhida.

No Brasil a produção de milho alcançou o nível de 71,1 milhões de toneladas, correspondendo a um aumento de 27,7% em relação ao anterior, superando a tradicional cultura da soja. Em relação à área plantada com milho houve um crescimento em 1,5 milhões de hectares tendo como principal região produtora o Centro-Oeste, posto que esta região sofreu um menor impacto das secas dos anos anteriores (FAO, 2014).

#### **2.1.1 Importância do milho na economia do Brasil**

Atualmente, o milho é agente fundamental na economia mundial, cuja importância econômica é caracterizada pelas diversas formas de sua utilização, como por exemplo, desde a alimentação animal até a indústria de alta tecnologia.

O Brasil possui larga tradição em ajustar políticas públicas de produção aos ajustes estruturais internacionais, porém, a nova dinâmica de produção da cadeia agroindustrial do milho apresenta-se como mais um desafio às políticas econômicas de longo prazo onde, fundamentalmente, o conhecimento sobre as formas, conteúdos e metodologias utilizadas pelos EUA na sua política agrícola constituem o elemento primordial para políticas econômicas anticíclicas para o meio rural assim

como para demandas comerciais para os diversos setores agrícolas (NOVAIS JÚNIOR, 2014).

O estudo das projeções de produção do cereal, realizado pela Assessoria de Gestão Estratégica do Mapa, indica aumento de 19,11 milhões de toneladas entre a safra de 2008/2009 e 2019/2020. Em 2019/2020, a produção deverá ficar em 70,12 milhões de toneladas e o consumo em 56,20 milhões de toneladas. Esses resultados indicam que o Brasil deverá fazer ajustes no seu quadro de suprimentos para garantir o abastecimento do mercado interno e obter excedente para exportação, estimado em 12,6 milhões de toneladas em 2019/2020, este número poderá chegar a 19,2 milhões de toneladas.

O Brasil está entre os países da América do Sul que terão aumento significativo das exportações de milho, ao lado da Argentina. O crescimento será obtido por meio de ganhos de produtividade. Enquanto a produção de milho está projetada para crescer 2,67% ao ano nos próximos anos, a área plantada deverá aumentar 0,73% (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, 2014).

O milho pode ser industrializado através dos processos de moagem úmida e seca, este último é o mais utilizado no Brasil. Deste processo resultam subprodutos como a farinha de milho, o fubá, a quirera, farelos, óleo e farinha integral desengordurada, envolvendo escalas menores de produção e menor investimento industrial. O processamento industrial do milho rende, em média, 5% do seu peso na forma de óleo.

Ao analisar o grande potencial da produção de milho no Brasil e sua importância como insumo para diversos outros setores, verifica-se que é fundamental o investimento em novas tecnologias capazes de aumentar a produtividade e reduzir os custos.

A estrutura logística é muito importante, pois apresenta várias ramificações no sistema de escoamento do milho e está ligada a fatores como: o gerenciamento da compra e entrada de materiais, o planejamento de produção, o armazenamento, o transporte e a distribuição dos produtos, o monitoramento e as operações e o gerenciamento de informações (USP-ESALQ, 2012).

Trata-se de uma estrutura muito complexa e que necessita um estudo detalhado para se entender os valores de capitais que giram esse mercado. Um exemplo que pode ser tomado são variações no preço do frete do milho em um mesmo período, em que ocorre um envio do produto de duas origens diferentes, que

apresentam distâncias muito variadas, para um mesmo destino, fazendo com que, dependendo dessa distância, o preço do frete tenha certa alteração para quando o produto chegar ao consumidor final. Além disso, dos fatores apresentados da logística pode-se demonstrar que o agronegócio foi responsável por pelo menos 24% do Produto Interno Bruto (PIB) do país no ano de 2011 (USP-ESALQ, 2012).

Devido ao desenvolvimento tecnológico focando a questão energética e o transporte econômico, muitas barreiras estão sendo ultrapassadas, ampliando enormemente a utilização industrial de transportadores pneumáticos (MARCUS *et al.*, 1990).

### **2.1.2 Densidade do Milho**

As características morfológicas e fisiológicas dos grãos de milho, como também de outros grãos, influenciam diretamente nas características de projetos de transportadores pneumáticos, devido sua geometria e densidade.

O grão de milho é composto por três partes principais: pericarpo, germe e endosperma. A camada externa ou pericarpo representa cerca de 5% do peso do grão. O embrião ou germe representa 11% do grão e o endosperma mais de 80 % do peso do grão. O endosperma é constituído de 86% de amido. A classificação do milho é em função das características do endosperma, e são distribuídos como farináceos, dentados, duros ou cristalinos, pipoca, doce e ceroso. O milho duro apresenta endosperma duro ou cristalino que ocupa quase todo o seu volume, sendo a proporção farinácea reduzida. (BITENCOURT, 2012).

No Brasil, o milho cultivado é predominantemente duro, em função das práticas entre a colheita e o armazenamento dos grãos. (EMBRAPA, 2011)

Em Silva (2011), seus estudos apresentaram resultados da densidade aparente de milho após 16 meses de armazenamento, como apresentado na Tabela 1.

**Tabela 1 – Variação das densidades dos milhos estratificados de diferentes densidades ao longo do tempo (meses), em g/L.**

Milho	Medidas realizadas no tempo (meses)				
	mai/07	dez/07	jun/08	ago/08	set/08
Milho de Densidade Alta	818,1	818,6	781,4	760,6	759,5
Milho de Densidade Intermediária	798,3	796,3	742,5	736,8	733,5
Milho de Densidade Baixa	748,7	745,3	730,2	727,8	717,9
Milho de Densidade Original	793,7	793,8	743,3	742,4	740,0

(SILVA, 2011).

## 2.2 Transporte Pneumático

O primeiro sistema de transporte pneumático documentado data de 1847, pela autoria da fábrica *Peugeot®* localizada na cidade de Valentigney na França, na extração de poeiras provenientes de sistemas de moagem de pedra (ROBERTS, 2007).

O transporte pneumático pode ser definido como a ciência de transportar materiais em pó, grãos ou granulados através de um fluxo de ar, a uma velocidade adequada, com pressão positiva ou negativa de um local para outro. Para Bortolaia (2011) pode ser considerado uma ciência experimental, pois, mesmo aplicando-se os fundamentos teóricos básicos no seu projeto, o desempenho do equipamento pode diferir muito do projetado.

Atualmente, o transporte pneumático é utilizado em várias aplicações de armazenagem e transporte, sendo utilizado para o deslocamento de materiais a granel, fábrica, armazéns, áreas de carga e descarga de ferrovias e portos marítimos, descarregamento pressurizado de contentores, para controle e seleção de materiais em silos e para muitas outras finalidades similares.

Existe uma grande variedade de materiais granulados secos e em pó que são transportados com eficiência através desta tecnologia, como o cimento, carvão em pó, grãos, leite em pó, alumina, cinzas, algodão, carvão moído, madeira de serragem granulada de PVC, resina de PVC, carbonato de cálcio, dióxido de titânio e muitos outros produtos. De uma maneira geral, todos os produtos que desfaz em

pó e granulados são susceptíveis de serem deslocados através de transporte pneumático, variando sim na forma e método da técnica, para assim se adaptar melhor as especificações de cada produto.

A combinação das três variáveis é muito importante para a eficiência do transporte pneumático: volume, velocidade e pressão de ar. Dependendo das características físicas de cada material, haverá uma ou mais formas de transportá-lo pneumaticamente.

O transporte pneumático de partículas sólidas é um dos processos mais vantajosos no carregamento de materiais sólidos da indústria. Na última década, houve uma melhoria da qualidade no projeto desta tecnologia, o que requer um bom conhecimento da dinâmica do escoamento da mistura gás/sólido e suas características.

Devido ao alto consumo de energia, sistemas de transporte pneumático são mais indicados para transportar partículas finas em curtas distâncias. A maioria dos sistemas existentes operam com vazões entre 1 e 400 toneladas por hora, distâncias menores que 1 km, com partículas com diâmetros inferiores a 10 mm (MARCUS, 2010).

### **2.2.1 Sistema de transporte pneumático**

Segundo Klinzing (2009) o transporte pneumático tem um número significativo de vantagens e as mais importantes são:

- a) Transporte isento de poeira, para uma grande variedade de produtos;
- b) Flexibilidade no traçado das condutas - pode ser transportada na vertical e horizontal por meio de utilização de curvas no traçado;
- c) Distribuição do produto para diferentes locais e a partir de diferentes locais na área industrial;
- d) Reduzida manutenção e baixo custo de mão-de-obra;
- e) Para múltiplas utilizações, pois as condutas de transporte podem ser usadas no transporte de diferentes materiais;
- f) Apresenta segurança no transporte pois as condutas podem ser usadas no transporte de produtos de grande valor;

g) Facilidade de automação e controle.

Podem ainda, ser enumeradas outras vantagens (MILLS, 2004), tais como:

- h) Eliminação de formações de poeiras no ambiente (transporte sem poluição atmosférica);
- i) Redução de perdas de produto durante o processo de transporte;
- j) Elimina a possibilidade do contato do produto com superfícies úmidas durante o transporte;
- k) Possibilidade de transporte aéreo e interno das instalações fabris;
- l) Possibilita traçados de transporte com percurso sinuoso da tubagem;
- m) Facilidade de adaptação aos edifícios existentes da tubagem de transporte;
- n) Proteção do material transportado contra a poluição;
- o) Possibilita a utilização gases neutros durante o transporte;
- p) Realização de instalações podendo integrar conjuntos completamente automatizados;
- q) Higiene e segurança no trabalho de transporte do produto.

Por outro lado, Marcus (1990) cita que o sistema de transporte pneumático apresenta as seguintes desvantagens:

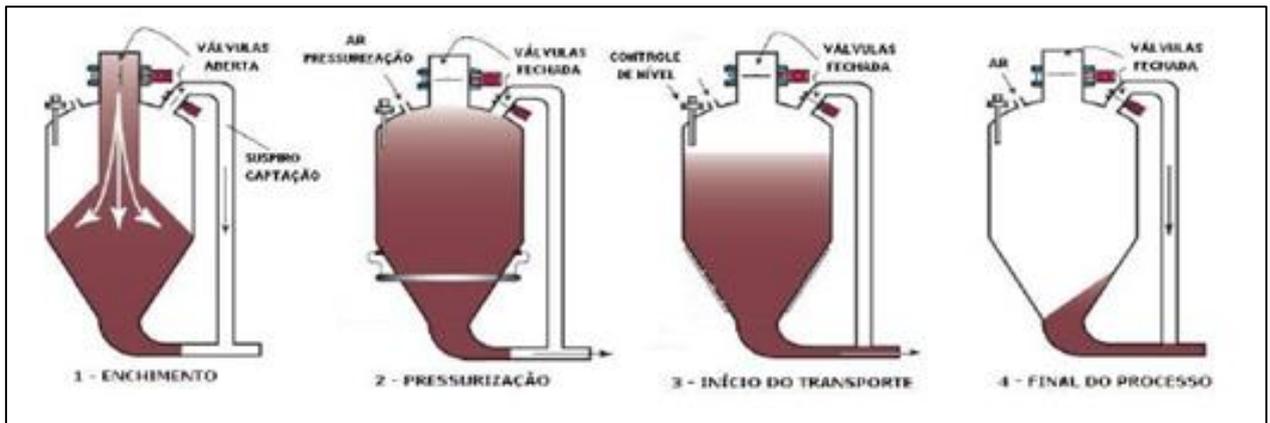
- a) Alto consumo de energia;
- b) Produz abrasão dos dutos de transporte, principalmente na parte inferior;
- c) Pode causar degradação dos sólidos transportados, caso o sistema não seja dimensionado corretamente;
- d) Distâncias limitadas;
- e) Projetos e dimensionamentos complexos;

Segundo Ribeiro (2005) em alguns casos, o transporte pneumático não é aconselhado, entre outros os mais importantes são:

- f) Transporte de sólidos muito úmidos ou viscosos;
- g) Dimensões das partículas, massas volumétricas muito grandes requerem velocidade de gás, por vezes, excessivas;

- h) Temperatura do material elevado;
- i) Partículas muito frágeis, que podem sofrer reduções de tamanho durante o transporte.

Os quatro ciclos do transporte pneumático estão representados na Figura 1.



**Figura 1 – Ciclo dinâmico do transporte pneumático.**

(MOISES, 2014)

O sistema motriz é usado para fornecer a energia necessária ao transportador por meio de compressores, sopradores, ventiladores e bombas de vácuo. Para efetuar um transporte eficiente, deve-se determinar a velocidade do gás, o caudal e a pressão de trabalho (positiva ou negativa).

Mills (2004) explica que a zona de alimentação, mistura e aceleração é crucial em qualquer sistema de transporte pneumático, pois é onde as partículas são adicionadas ao gás de transporte. Essencialmente, o momento fundamental é quando as partículas em repouso são misturadas com um gás em movimento. Associado a este fenômeno é também muito importante à zona de aceleração das partículas, se o *layout* permitir, esta zona consiste numa conduta horizontal com o comprimento necessário para o produto entrar em regime estável normalmente, assumindo que este comprimento deve ser de igual ou superior a 25 vezes o diâmetro de conduta.

Ao passar a zona de aceleração do produto, este, entra em zona de transporte, que consiste essencialmente em tubagens, e é selecionado sob o ponto de vista de variados fatores, incluído abrasividade do produto, pressão necessária, etc.

A zona de transporte é assim constituída também por curvas e válvulas de desvio, pois existe a necessidade de mudança de direção do produto. Pelo fato de existir uma mudança de direção e por isso se verifica uma desaceleração do produto é necessário introduzir novamente uma zona de aceleração (MILLS, 2004).

Na separação de gás/sólidos, realiza-se a separação do produto do gás de transporte. A seleção do separador gás/sólido adequado é dependente de variados fatores, onde o principal é a dimensão dos sólidos a serem separados do gás de transporte (MILLS, 2004).

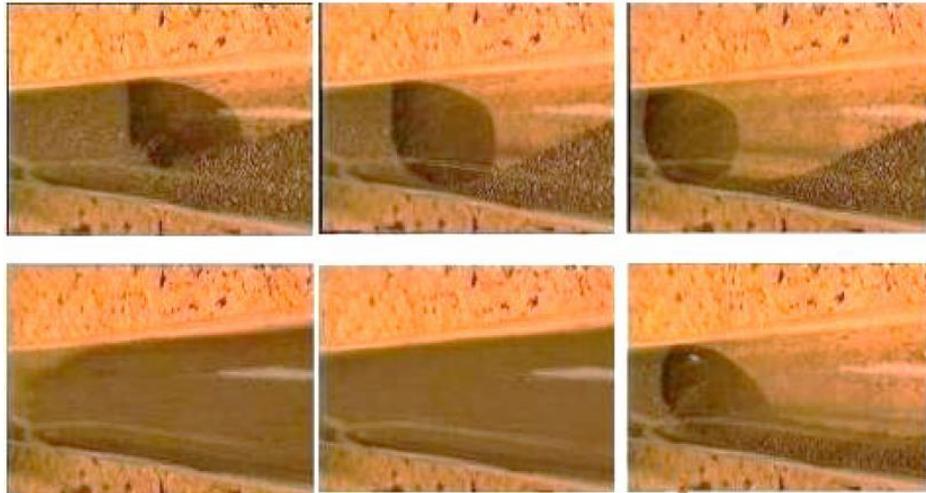
### **2.2.2 Fases do transporte pneumático**

A seleção de um sistema pneumático de transporte depende de um bom conhecimento das tecnologias existentes, as suas vantagens e aplicações. Existem várias formas de classificar o tipo de transporte pneumático, mas a característica que mais se adequa para a sua classificação é a concentração gás/sólido no sistema de transporte. Sobre este ponto de vista, o transporte pneumático pode ser classificado em duas categorias:

**1. Transporte pneumático de fase densa:** é aquela com concentração de partículas acima de 30% em volume, e no qual o efeito de parede desempenha um papel predominante, e fase diluída, com concentração inferior a 1% e no qual os efeitos de parede são de menor importância e nos quais uma fase - a fase dispersa - está presente na forma de pequenas partículas, gotas ou bolhas em toda parte da outra fase - a fase contínua (PAIXÃO, 1995).

O atrativo do transporte de fase densa consiste em suas baixas necessidades de ar. Assim, no transporte de fase densa, uma quantidade mínima de ar é adicionada ao processo com os sólidos (um atrativo particular na alimentação de sólidos em reatores de leito fluidizado, por exemplo). Uma baixa demanda de ar, geralmente também significa menos exigência de energia (apesar das pressões mais altas necessárias). As baixas velocidades de sólidos resultantes significam que no transporte em fase densa a degradação do produto por atrito, e a erosão na tubulação, não são problemas maiores do que no transporte pneumático em fase diluída (RHODES, 2004).

A Figura 2 mostra um sistema de transporte pneumático em fase densa.



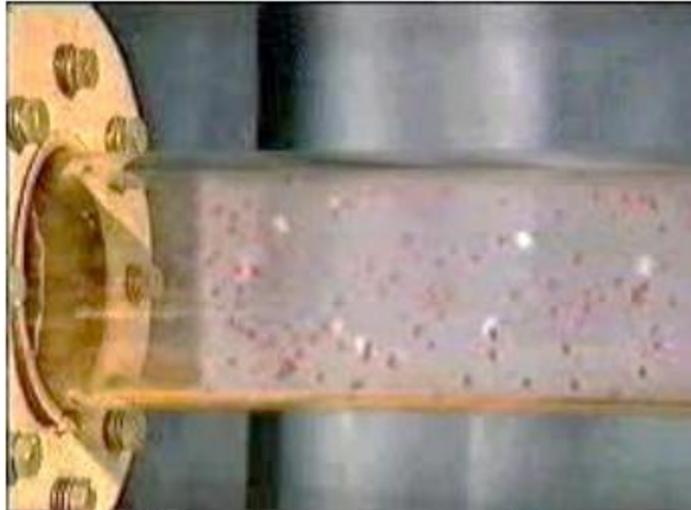
**Figura 2 – Transporte pneumático em fase densa com fluxo da direita para a esquerda.**  
(*DYNAMIC AIR CONVEYING SYSTEMS*, 2015).

O transporte pneumático fase densa é utilizado geralmente para o transporte de produtos de alta e média densidade, sensíveis ao calor, semi-abrasivos e produtos muito frágeis. Podem ser aplicados para o transporte de açúcar cristal, açúcar refinado ou pó, amidos, farinhas, chocolate em pó, ou outros com estas características.

**2. Transporte Pneumático em fase diluída:** é limitado a pequenas extensões, transporte contínuo de sólidos a taxas de menos de 10 toneladas/hora. As partículas sólidas em condições de fluxo diluído se comportam como individuais, e completamente suspensas no gás, e as forças de interação, fluido – partícula, predominam (RHODES, 2004).

Para Klinzing (2009), no transporte pneumático em fase diluída, são caracterizados quase todas as outras formas de transporte pneumático, visto que a concentração de sólidos é muito menor em relação ao volume de gás utilizado no transporte pneumático fase densa. Os sistemas pneumáticos em fase diluída utilizam grande quantidade de gás para remover quantidades relativamente pequenas de material em suspensão a altas velocidades.

Na fase diluída o produto transportado está completamente suspenso (Figura 3), ou seja, existe uma pequena quantidade de material sólido e uma grande quantidade de gás (DICKOW, 2013).



**Figura 3 – Transporte pneumático em fase diluída com fluxo da esquerda para direita.**

*(DYNAMIC AIR.COM/BR/SYSTEMS, 2015).*

O Transporte de fase diluída, em sua forma mais reconhecível, é caracterizado por velocidades de gás altas (maior que 20 m/s), baixas concentrações de sólidos (menos que 1% em volume) e baixas quedas de pressão por unidade de comprimento de linha de transporte (tipicamente menos de 5 mbar/m). O transporte pneumático de fase diluída é limitado a pequena extensão, transporte contínuo de sólidos a taxas de menos de 10 toneladas/hora, e é o único sistema capaz de operar sob pressão negativa, sob condições de fluxo diluído as partículas sólidas se comportam como individuais e completamente suspensas no gás, e as forças de interação fluido-partícula dominam (RHODES, 2004).

A escolha entre operar em regime de fase diluída ou densa, depende tipicamente das propriedades dos sólidos. Por exemplo, a operação a uma velocidade mais baixa é comum para os produtos altamente abrasivos ou para aqueles que degradam facilmente.

As principais características dos sistemas de transporte pneumático podem ser observadas na Tabela 2, esta tabela explana de forma clara as principais diferenças:

**Tabela 2 – Características dos sistemas pneumáticos em fase densa e diluída.**

<b>Tipo de Transporte</b>	$X$ – Relação de massa de sólido transportado [kg sólidos/kg ar]	$V_t$ - Velocidade de transporte dos sólidos [m/s]	$\Delta p$ – perda de carga [kPa]
Fase densa	<b>&gt;15</b>	<b>&lt;10</b>	<b>&gt;100</b>
Fase diluída	<b>0-15</b>	<b>&gt;10</b>	<b>&lt;100</b>

(KLINZING, 2009)

### 2.2.3 Comparação dos dois sistemas de transporte pneumáticos

A Tabela 3 apresenta as principais características dos dois sistemas em uma rápida comparação e avaliação dos dois métodos.

**Tabela 3 – Comparação do transporte pneumático em fase densa e diluída.**

<b>Características de Comparação</b>	<b>Fase Densa</b>	<b>Fase diluída</b>
<b>Produtos para os quais os sistemas melhor se aplicam</b>	Pós ou granulados – Abrasivos, frágeis, pesados, higroscópicos	Pós ou granulados – Não abrasivos, não frágeis, baixa densidade
<b>Velocidade de transporte</b>	De 0,1 a 2 m/s, utilizando-se pressão	Alta acima de 15m/s, utilizando-se sopradores tipo <i>Roots</i> ou sopradores centrífugos
<b>Relação pressão e caudal de transporte</b>	Pressões relativamente altas acima de 100 kPa e baixo caudal de ar	Pressões baixa inferiores a 100 kPa e alto caudal de ar
<b>Caudal do material transportado</b>	Maior comparado com outros sistemas	Mais baixo comparado com outros sistemas
<b>Desgaste do equipamento</b>	Baixo índice de desgaste da tubagem e diminuição de desgaste em curvas devido a baixas velocidades	Alto índice de desgaste da tubagem e aumento de desgaste em curvas devido a altas velocidades.
<b>Custo de implementação</b>	Maior comparado com outros sistemas	Mais baixo comparado com outros sistemas
<b>Custo de manutenção</b>	Mais baixo comparado com outros sistemas	Maior comparado com outros sistemas

(CRUZ, 2013)

## **2.2.4 Transporte pneumático: Pressão positiva e negativa**

Klinzing (2009) informa que o transporte pneumático pode ser classificado em função do método segundo o qual o produto é transportado, isto é, o transporte pneumático pode ser:

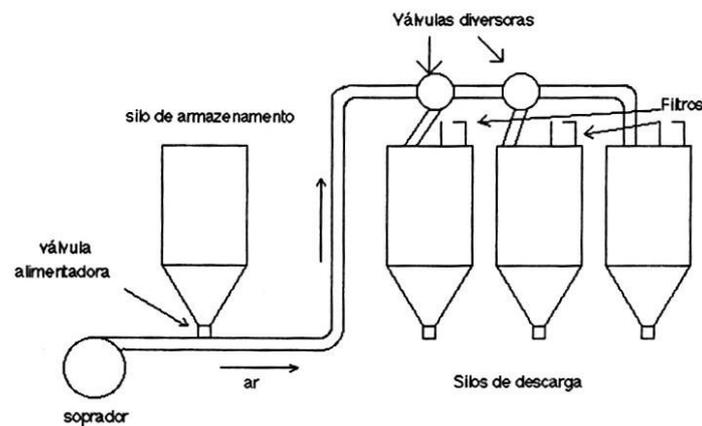
- a) Pressão negativa (Vácuo);
- b) Pressão positiva (Pressão);
- c) Pressão positiva e negativa (combinado).

Com o uso de válvulas de desvio, os sistemas de pressão negativa permitem a admissão de múltiplos produtos. Devido ao diferencial limitado de pressão os sistemas de pressão negativa são mais sensíveis a distâncias em relação aos sistemas de pressão positiva. Já os sistemas de fase diluída sob pressão, podem alcançar um diferencial de pressão elevado mais facilmente. A operação utilizando ambos os métodos (pressão/vácuo) por vezes é ideal para uma determinada instalação de transporte pneumático (CRUZ, 2013).

### **2.2.4.1 Pressão positiva**

Nos sistemas de descarregamento para a recepção de produtos é aplicada a pressão positiva, utilizando a pressão atmosférica. Através deste tipo de sistema é possível o transporte de uma grande variedade de produtos.

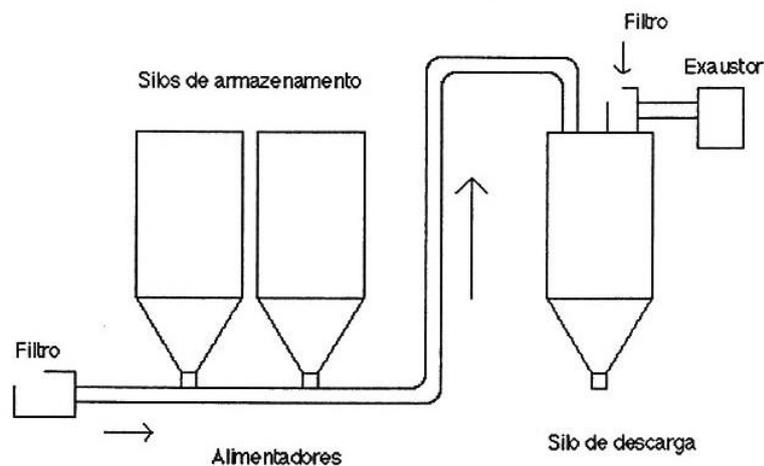
Para Schulze (2008) o transporte pneumático possui vantagem, porém o sistema pode elevar o preço, pois cada destino tem que ter seu próprio filtro receptor com capacidade de vácuo parcial. Os cuidados de projeto devem ser maiores neste tipo de configuração, em especial, ao volume e pressão de ar usado nas tubulações das linhas de transporte, para não haver variações nos silos receptores de distribuição. Na Figura 4 é demonstrado o sistema com transporte de pressão positiva.



**Figura 4 – Sistema com transporte de pressão positiva.**  
(SCHULZE, 2008)

#### 2.2.4.2 Pressão Negativa

Sendo mais utilizado para materiais de várias configurações, os sistemas de pressão negativa (Figura 5) transportam a partir de vários pontos de recepção e para um único ponto de descarga. Não havendo problemas no transporte se ocorrerem pequenas diferenças de pressão no processo do transporte. As válvulas rotativas e transportadores helicoidais também podem ser utilizados neste tipo de sistemas. A diferença é que haverá necessidade de um volume de ar maior e os filtros de ar devem estar sob vácuo na operação, também tem limitação em termos de distância de transporte pelo fato das capacidades serem mais baixas (SCHULZE, 2008).



**Figura 5 - Sistema de pressão negativa.**

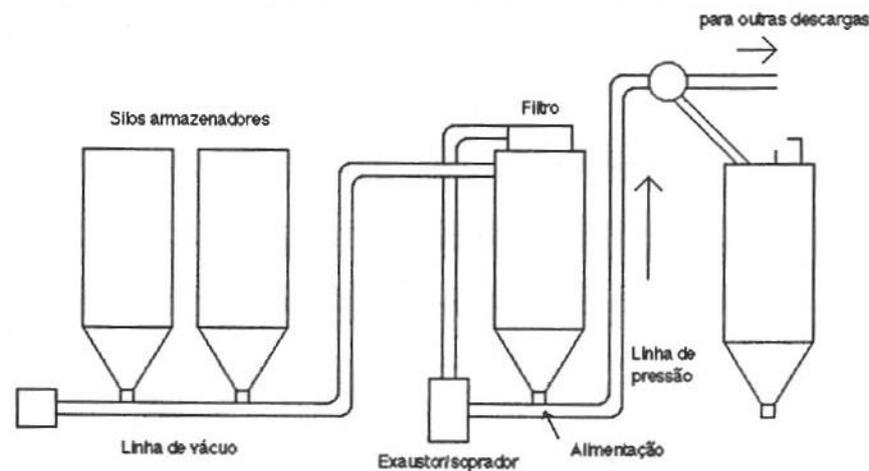
(SCHULZE, 2008)

O sistema de pressão negativa é muito utilizado no transporte de produtos tóxicos, corrosivos e perigosos, pois são livres de poeiras, fornecendo assim uma segurança pelo fato do transporte ser feito em vácuo não provocando poluição ambiental.

### 2.2.4.3 Sistema de pressão negativa e positiva combinadas

A articulação dos sistemas de pressão positiva e negativa são multifuncionais, pois podem ser utilizados para deslocar sólidos de várias fontes de alimentação para múltiplos pontos de descarga, conforme é demonstrado na Figura 6.

Esta combinação nos sistemas é de grande importância, pois não existe uma relação direta do produto em estoque com o produto a ser processado, desta forma existe uma flexibilidade na operação de sistemas independentes de ambos os lados da tubagem de transporte (SCHULZE, 2008).



**Figura 6 - Sistema de pressão positiva e negativa.**

(MARCUS *et al.*, 1990).

### 2.2.5 Velocidade de Operação no Transporte Pneumático

No transporte pneumático o conhecimento da velocidade do fluido transportador é um fator fundamental e necessário para a obtenção de um transporte seguro e com uma perda de carga razoável.

De acordo com Costa (2005) o ponto fundamental do sistema é a determinação da velocidade de operação, pois influencia diretamente na sustentação do material e perda de pressão devido ao atrito.

Para ser possível o transporte pneumático é importante ele atingir uma velocidade mínima capaz de realizar a flutuação da partícula e uma velocidade máxima para que não ocorram danos à partícula no transporte.

A Tabela 4 expressa os resultados obtidos para velocidades de operação através de experimentos práticos. Na Tabela 4 pode-se observar ainda, as velocidades experimentais para produtos específicos como soja, milho entre outros.

**Tabela 4 - Determinação da velocidade em função do tipo de sólido em tubulação metálica.**

Material	Velocidades (m/s)			
	Horizontal		Vertical	
	Aspiração	Compressão	Aspiração	Compressão
Soja	30	16	38	20
Milho	31	16	38	20
Trigo	31	17	38	21
Arroz	33	19	41	23
Aveia	30	16	38	20
Açúcar	33	18	41	22

(NONNENMACHER *apud* DICKOW, 2013).

Em tubulação metálica a velocidade na vertical é da ordem de 25% maior que na horizontal.

### 2.2.6 Velocidade mínima de gás em transporte vertical

A velocidade de afogamento é definida como a mínima velocidade do gás em que é possível realizar a operação de transporte das partículas e representa o limite

entre transporte pneumático vertical de fase diluída e o de fase densa (RHODES, 2004).

Para o transporte pneumático de um tipo de sólido, é comum relacionar a velocidade do gás com a queda da pressão (perda de carga).

De acordo com Rhodes (2004), a queda da pressão total, por comprimento de linha de transporte, tem em geral seis componentes:

- a) queda de pressão devido à aceleração do gás;
- b) queda de pressão devido à aceleração da partícula;
- c) queda de pressão devido à fricção do gás no tubo;
- d) queda de pressão relacionada a fricção dos sólidos com a tubulação;
- e) queda de pressão devido à carga estática dos sólidos;
- f) queda de pressão devido à carga estática do gás.

O diagrama de fase para transporte vertical de fase diluída, relacionando o gradiente de pressão por unidade de comprimento ( $\Delta P / \Delta L$ ) e a velocidade do gás encontra-se na Figura 7.

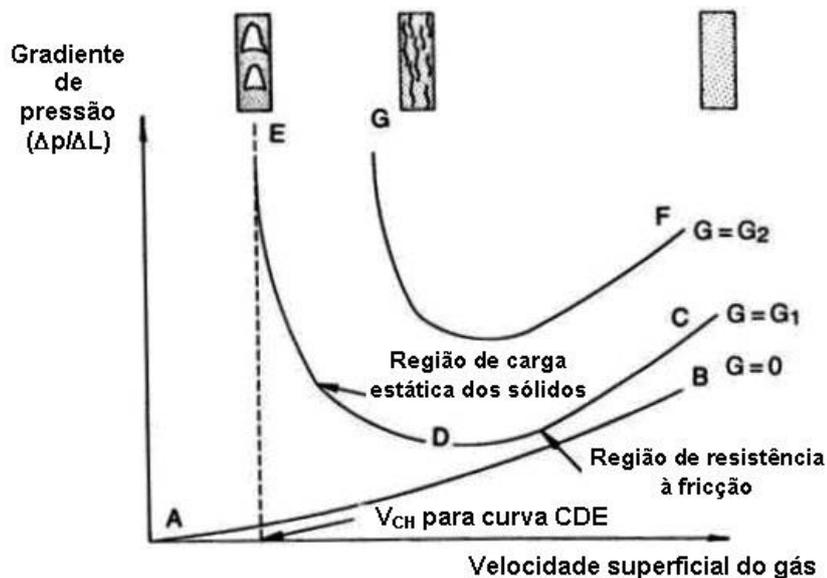


Figura 7 - Diagrama de fase para transporte vertical de fase diluída, mostrando a relação geral entre gradiente de pressão  $\Delta P / \Delta L$  e a velocidade do gás.  $V_{CH}$  e a velocidade de afogamento (*choking*) em função da quantidade de sólido ( $G$ ).

(RHODES, 2004)

### 2.2.7 Velocidade de gás em transporte horizontal. Velocidade de saltitação.

A velocidade de saltitação ( $v_{\text{salt}}$ ) representa a mínima velocidade do gás para que as partículas sejam transportadas com a máxima economia de energia e sem causar o entupimento da tubulação (SANTOS, 2009).

Não é possível prever teoricamente as condições sob as quais ocorrerá escoamento acompanhado de saltitação. Existem, porém, disponíveis na bibliografia, algumas correlações para prever a velocidade de fluido transportador correspondente a essa situação (velocidade de saltitação).

No trecho vertical são chamados de velocidade de afogamento (*chocking*,  $v_{\text{ch}}$ ).

## 2.3 Perda De Carga

Segundo Jones (1988), a seleção correta da velocidade de um gás para um projeto de transporte pneumático é determinante para o transporte dos sólidos. A velocidade do gás muito baixa pode ocasionar o bloqueio ou acúmulo na tubulação e a velocidade muito alta aumenta a perda de carga na linha e reduz a vazão mássica dos sólidos transportados.

A Figura 8 demonstra a relação entre a perda de carga por comprimento do duto ( $\Delta P/L$ ) e a velocidade média do ar ( $v$ ) em função da quantidade de sólido ( $G$ ) para o transporte em fase densa e fase diluída.

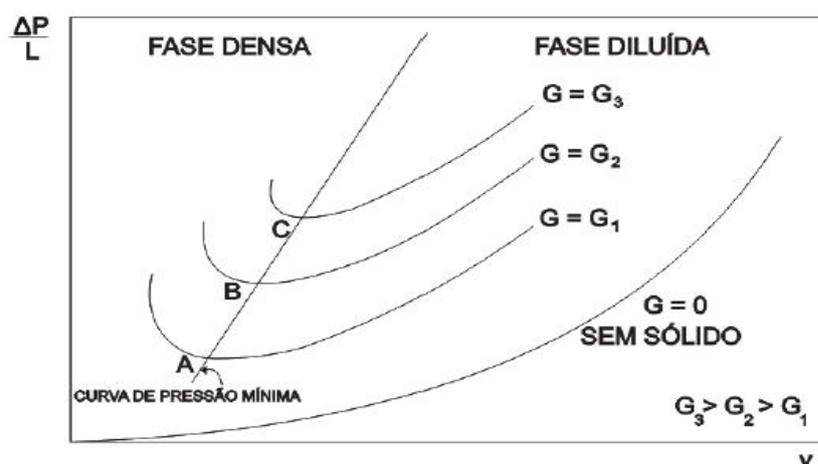


Figura 8 - Perda de carga por unidade de comprimento em função da velocidade média do ar.

(MORAES, 2012).

A Figura 9 mostra a Perda de Carga por unidade de comprimento ( $\Delta P/L$ ), em função da velocidade superficial do ar ou gás ( $v$ ). No duto horizontal (a), a velocidade de saltitação ( $v_{\text{salt}}$ ), trecho DE, uma parte dos sólidos pode mover-se em fase densa na base do tubo horizontal e outra parte desloca-se em fase diluída no topo do duto. No duto vertical (b), a velocidade de afogamento ( $v_{\text{ch}}$ ), trecho DE, a carga estática dos sólidos é maior que a resistência por atrito. Não há sólido ( $G=0$ ) no trecho AB. A Figura 9<sup>a</sup>, determina o ponto da velocidade de saltitação para duto horizontal e a Figura 9<sup>b</sup>, o ponto da velocidade de afogamento para duto vertical.

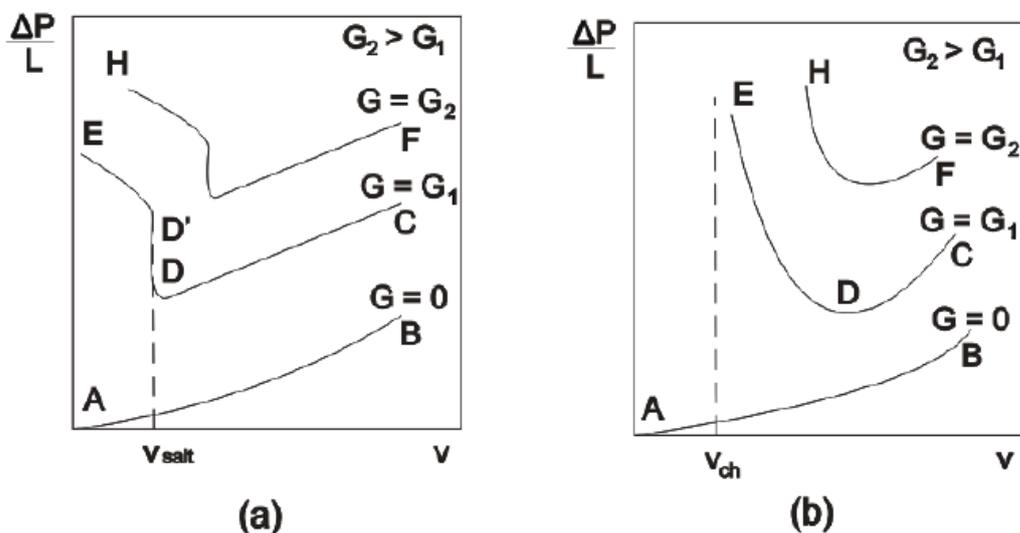


Figura 9 - Perda de Carga por unidade de comprimento ( $\Delta P/L$ ) em função da velocidade superficial do ar ou gás ( $v$ ). a) duto horizontal; b) duto vertical. (RHODES, 2004).

Gomide (1983), através de experimentos, relacionou os fenômenos físicos e químicos em transportadores pneumáticos, relacionando equações matemáticas que orientam e dimensionam equipamentos de transporte de sólidos granulares aproximando da realidade industrial.

A equação 1 indica a velocidade de transporte.

$$V = 4,11 \sqrt[3]{\rho} + \sqrt{D_p} + 23,4 \sqrt{\rho} \quad (1)$$

Em que:  $V$  é a velocidade de transporte em (m/s)  
 $\rho$  é a densidade aparente do grão em (t/m<sup>3</sup>)  
 $D_p$  é o diâmetro médio do grão em mm

O diâmetro do transportador, vazão e concentração do sólido, podem ser obtidos pelas equações 2, 3 e 4, respectivamente.

$$D = 3016 \frac{\sqrt{C}}{V^{0,98}} \quad (2)$$

Sendo:  $D$  o diâmetro interno do duto em mm  
 $C$  a capacidade de transporte (t/h)  
 $V$  a velocidade de Transporte em m/s

$$Q = \frac{V \cdot D^2}{1,26 \cdot 10^6} \quad (3)$$

Sendo:  $Q$  a vazão do ar de transporte em m<sup>3</sup>/s  
 $V$  a velocidade de transporte em m/s  
 $D$  o diâmetro interno do duto em mm

$$X = \frac{C}{4,29 Q} \quad (4)$$

Sendo:  $X$  a concentração de sólidos em peso em kg de sólidos / kg de ar  
 $C$  a capacidade de transporte (t/h)  
 $Q$  a vazão do ar de transporte em m<sup>3</sup>/s

Enquanto o cálculo da perda de carga total por atrito e a perda de carga total são previstas pelas equações 5 e 6, respectivamente..

$$L_t = L_h + 2 \cdot L_v + L_e \quad (5)$$

Em que:  $L_t$  é a perda de carga por atrito devido ao comprimento total em m  
 $L_h$  é a perda de carga devido ao trecho horizontal do duto de transporte em m  
 $L_v$  é a perda de carga devido ao trecho vertical do duto de transporte em m  
 $L_e$  é perda de carga devido ao comprimento equivalente do duto de transporte em m

$$\Delta P_t = \left[ 1,68 \cdot L_t \cdot (X + 3,5) \cdot \frac{V^{1,8}}{D_{in}^{1,22}} + 0,138 \cdot \mu \cdot X \cdot V^2 + \Delta P_e \right] \cdot 10^{-4} \quad (6)$$

Em que:  $\Delta P_t$  é a Perda de Carga Total em kgf/cm<sup>2</sup>.  
 $L_t$  é a perda de carga por atrito devido ao comprimento total em m.  
 $X$  é a relação de sólidos em peso em kg de sólidos/kg de ar.  
 $V$  é a velocidade de transporte em m/s.  
 $D_{in}$  é o diâmetro interno do Duto em mm.  
 $\mu$  é o fator de redução da aceleração do material; adotar zero para o valor deste adimensional se o ponto de alimentação estiver localizado um pouco antes da aspiração do ventilador ou soprador; adotar 0,5 para alimentação logo na entrada do ventilador e empregar o valor unitário para este fator no caso do material ser alimentado após o ventilador.  
 $\Delta P_e$  é a perda de carga nos equipamentos acoplados à linha como: ciclone, filtro, Venturi, câmaras de poeira, entrada e saída de ar em mmca. Esses valores são tabelados.

Segundo Moraes (2012), são vários os métodos para considerar a perda de carga localizada (acessórios de tubulação) em fase diluída. O método do fator K é o

mais empregado. A perda de carga devido ao acessório, obtida por esse método, deve ser somada à perda de carga do tubo reto.

O método do fator K que representa a quantidade de energia cinética perdida em acessórios, é expressa pela Equação 7.

$$l_w = K \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \quad (7)$$

Sendo:  $l_w$  a perda de carga do acessório (m).  
 K o fator referente ao acessório (adimensional).  
 v a velocidade média na entrada da singularidade (m/s).  
 g a aceleração da gravidade (m/s<sup>2</sup>).

A Tabela 5 fornece alguns valores de K sugeridos por Perry *et al* (1997). Apresenta também valores de K<sub>1</sub> e K<sub>∞</sub> recomendados por Hooper (1981) para o método dos dois K.

**Tabela 5 – Valores de K, K<sub>1</sub> e K<sub>∞</sub> para acessórios Tê - saída de lado.**

Acessórios	K	K <sub>1</sub>	K <sub>∞</sub>
Tê saída de lado, rosca	1	500	0,7
Tê saída de lado, flange e solda	1	800	0,8
Tê passagem direta, rosca	0,4	200	0,1
Tê passagem direta, flange e solda	0,4	150	0,5

(PERRY/GREEN,1997 e HOOPER, 1981).

Hopper (1981), demonstrou que o método dos dois K conduz a resultados mais exatos que os métodos anteriores principalmente para regime laminar. A perda de carga do acessório ( $L_{w, ac}$ ), representada na Equação 8, também deve ser somada à perda de carga total do tubo reto. A equação do método adiciona ao K

uma correção referente ao diâmetro interno ( $D_{in}$ ) em polegada e uma constante  $K_1$  (Tabela 5) considerando o  $N_{Re}$  acima de 50.000.

$$I_{w,ac} = \left[ \left( \frac{K_1}{N_{Re}} \right) + K_{\infty} \cdot \left( 1 + \frac{1}{D_{in}} \right) \right] \cdot \frac{v^2}{2g} \quad (8)$$

Em que:

- $I_{w,ac}$  é a perda de carga do acessório (m)
- $K_1$  é o fator referente ao acessório (adimensional).
- $N_{Re}$  é o número de Reynolds, energia cinética (adimensional).
- $K_{\infty}$  é o fator de correção devido ao  $D_{in}$ .
- $D_{in}$  é o diâmetro interno do acessório (m).
- $v$  é a velocidade média na entrada da singularidade (m/s)
- $g$  é a aceleração da gravidade ( $m/s^2$ )

Diante das dificuldades de projeto de transportadores pneumáticos referenciados na literatura e devido a crescente necessidade de transporte de milho, levando em consideração as vantagens do deslocamento pneumático de cereais, o presente trabalho visou verificar experimentalmente o comportamento no transporte de grãos de milho em fase diluída em uma unidade piloto.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo serão apresentados os materiais, métodos e fundamentos teóricos utilizados para a realização deste estudo.

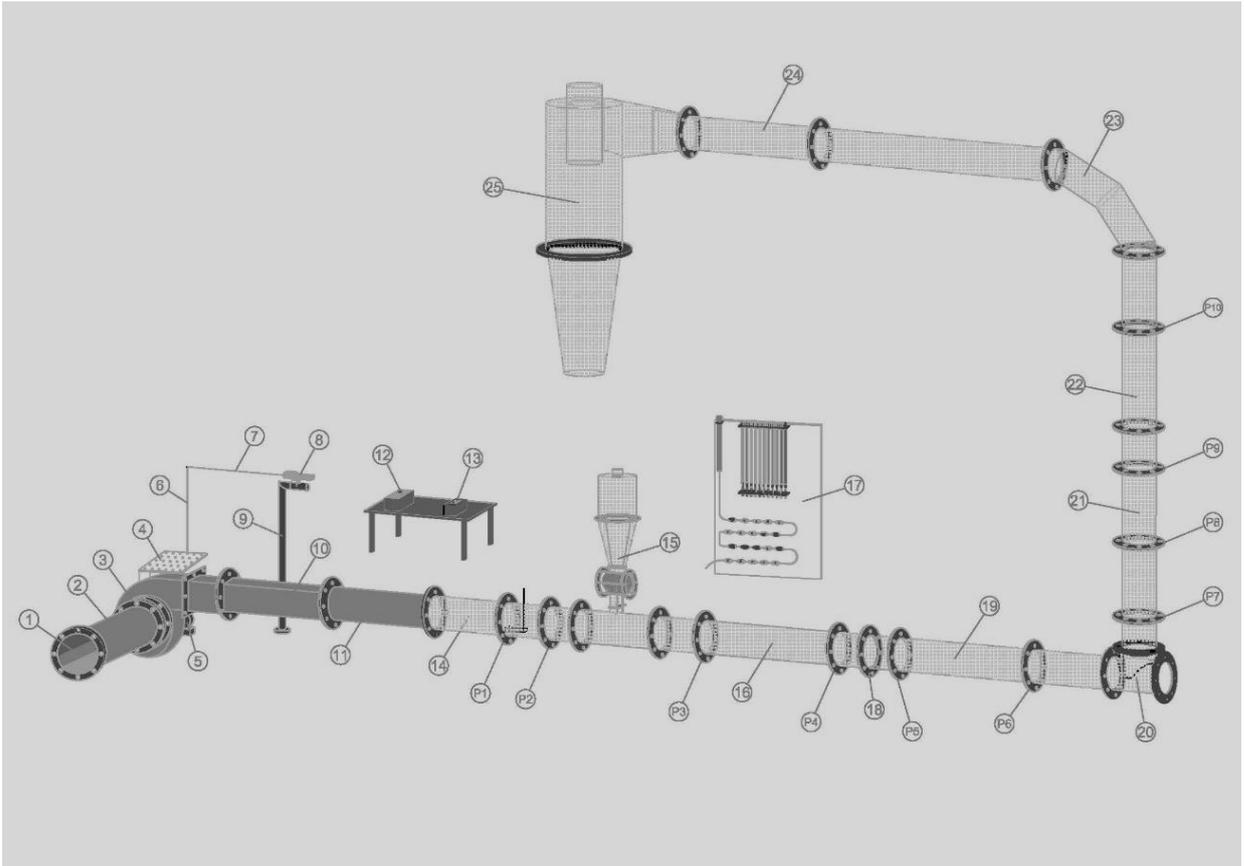
#### 3.1 Materiais

A Unidade Piloto de Transporte Pneumático da Universidade Santa Cecília, projetada e instalada no Laboratório de Operações Unitárias da Universidade Santa Cecília, foi também objeto de estudo de transporte de outros grãos e sólidos como polímeros de polipropileno, Figura 10, de Moraes (2012).



**Figura 10 – Foto da Unidade Piloto de Transporte Pneumático Projetada e Instalada no Laboratório de Operações Unitárias da UNISANTA. (MORAES, 2012).**

Na Figura 11, visualiza-se o esboço da Unidade Piloto de Transporte Pneumático, com a indicação de todos os componentes constituintes.



**Figura 11 - Esboço da Unidade Piloto de Transporte Pneumático, adequada para o estudo com grãos de milho.**

A seguir serão descritos todos os componentes da Unidade Piloto de Transporte Pneumático da Universidade Santa Cecília aplicadas neste estudo:

- 1) Tubulação de entrada do ar de alimentação da unidade experimental;
- 2) Duto de sucção do ventilador;
- 3) Ventilador centrífugo;
- 4) Ventilador do motor;
- 5) Motor elétrico assíncrono em balanço;
- 6) Haste fixa ao motor;
- 7) Linha de conexão da haste ao dinamômetro;
- 8) Dinamômetro;
- 9) Suporte do dinamômetro;
- 10) Tubo adaptador de seção retangular para seção circular;

- 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 e duas tomadas de pressão do banco de tubos em “U” para medida da pressão estática em P1 e P2;
- 15) Válvula rotativa com silo;
- 16) Tubo de acrílico de 1000 mm de comprimento com tomadas de pressão P3 e P4;
- 17) Banco de tubos em “U” para medida da pressão estática;
- 18) Flange;
- 19) Duto de acrílico de 1000 mm de comprimento com tomadas de pressão P5 e P6;
- 20) Tê saída de lado;
- 21) Tubo vertical de 1000 mm de comprimento com três tomadas piezométricas P7, P8 e P9;
- 22) Tubo vertical de 760 mm de comprimento com tomada piezométrica P10;
- 23) Curva em gomos;
- 24) Duto de retorno para o ciclone;
- 25) Ciclone.

Os detalhes dos principais componentes da Unidade Piloto de Transporte Pneumático estão apresentados a seguir.

### **3.1.1 Ventilador centrífugo e duto de sucção**

O ar para a operação do sistema foi gerado por um ventilador centrífugo da marca Ventisilva com pás semi-abertas, com rotor de diâmetro de 210 mm e duto de sucção com diâmetro de 217 mm. A Figura 12 apresenta o ventilador e a Figura 13 mostra detalhes do duto de sucção.



Figura 12 – Ventilador Centrífugo.



Figura 13 – Duto de Sucção.

### 3.1.2 Motor elétrico para acionamento do ventilador centrífugo

O motor elétrico (Figura 14) utilizado para acionamento do Ventilador Centrífugo possui as seguintes características:

- Motor de corrente alternada trifásico, 220V/380V;
- Marca do Motor Elétrico: Weg, modelo 0996 EM17253;
- Rotação nominal de 3450 rpm;
- Potência de 1 cv, aproximadamente 0,96 hp;
- Rendimento de 72,7 %



Figura 14 – Motor Elétrico utilizado para acionar o Ventilador da Unidade.

### 3.1.3 Inversor de frequência

A variação da rotação do motor e conseqüentemente da alteração da velocidade do ar nos dutos foi realizada através de inversor de frequência da marca Mitsubishi Electric Corporation, modelo FR-A024-1 5K-UL, com 230 V 50 Hz / 230 V 60 Hz. A Figura 15 mostra o dispositivo mencionado.

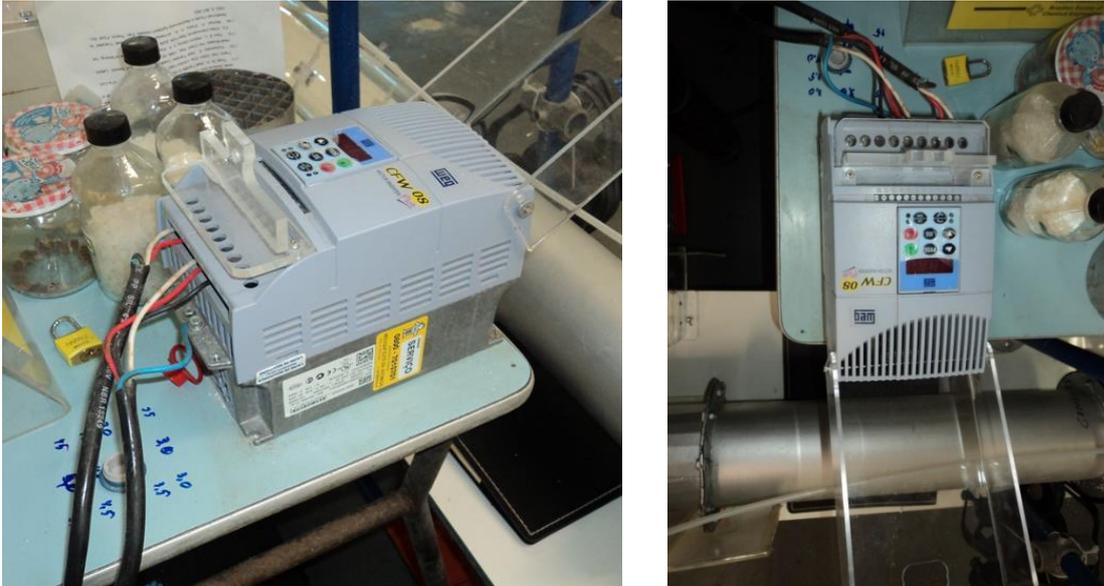
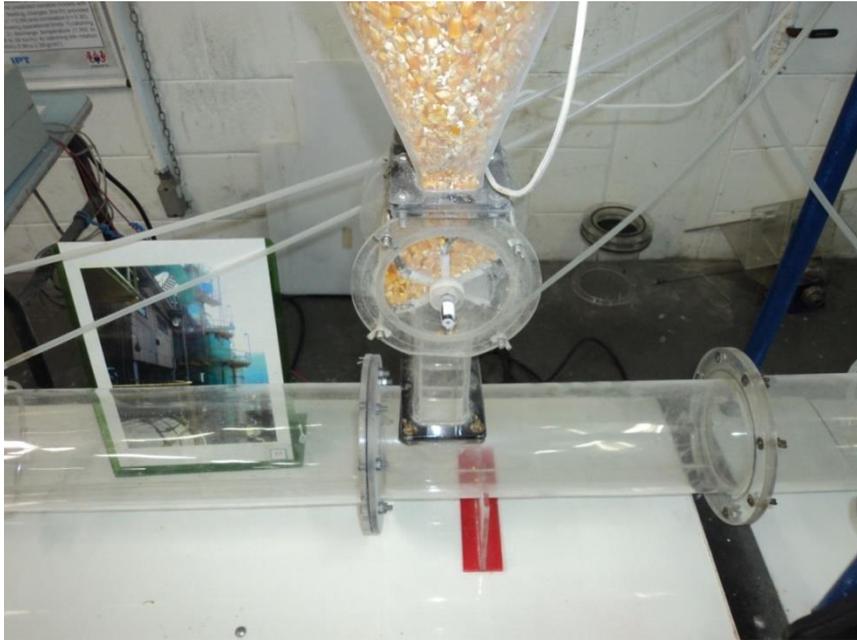


Figura 15 – Inversor de Frequência.

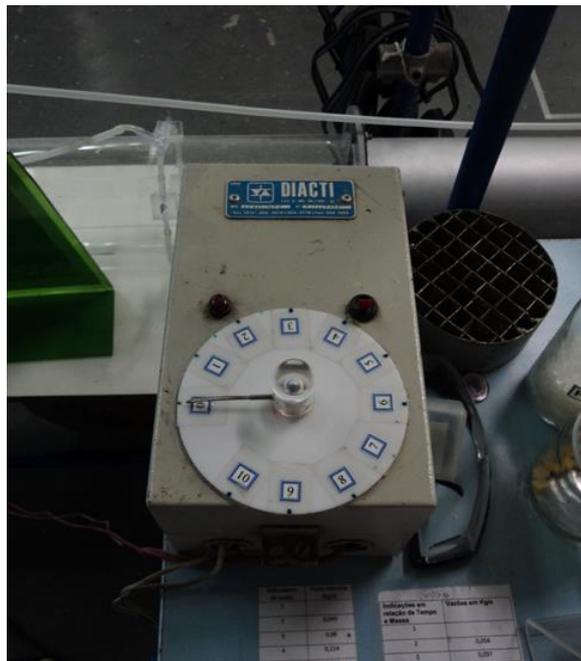
### 3.1.4 Válvula rotativa

A válvula rotativa que alimentou a Unidade Experimental de grãos de milho é feita de carcaça de acrílico, tem diâmetro interno de 100 mm, parede de 5 mm e comprimento de 92 mm. A válvula possui 6 pás radiais retangulares de PVC de 92 mm por 51,3 mm e 6 mm de largura cada com pontas de borrachas para vedação. A válvula rotativa foi acionada por um motor de corrente contínua da marca Diaciti de 220 V, com potência de 1/7 hp e rotação máxima de 100 rpm. O controle da vazão foi realizado através da variação da velocidade desse motor por intermédio de controlador de velocidade da Marca Diaciti.

A Figura 16 apresenta a válvula rotativa acoplada ao motor, e a Figura 17 mostra o controlador de velocidade desse motor, com o objetivo de controlar a vazão dos grãos de milho.



**Figura 16 – Válvula Rotativa.**



**Figura 17 – Controlador de Velocidade do Motor da Válvula Rotativa.**

### 3.1.5 Banco de tubos em “U”

A diferença de pressão, para o cálculo da perda de carga, foi medida nos 10 pontos de tomadas por um banco de tubos em “U” para leitura de cada trecho e acessório do Transportador Pneumático, nomeados de P1 a P10. A Figura 18 apresenta o Banco de Tubos em “U” da Unidade Piloto. O líquido aplicado no tubo em “U” fora água com um corante, para melhor visualização. Às leituras foram realizadas em milímetros em uma régua graduada de aço.



Figura 18 – Banco de Tubos em U para cálculo da Perda de Carga.

### 3.1.6 Tubulação da unidade piloto

A tubulação da Unidade Piloto de Transporte Pneumático da Universidade Santa Cecília foi confeccionada de acrílico e ferro galvanizado, com diâmetro interno de 117 mm, Diâmetro Externo de 121 mm e Espessura de 4 mm. A Figura 19 apresenta detalhes da tubulação horizontal.



**Figura 19 – Detalhe da tubulação horizontal da Unidade Piloto.**

A Figura 20 apresenta uma parte da tubulação vertical da Unidade Piloto, com três pontos de tomada de medida de queda de pressão, P8, P9 e P10.



**Figura 20 – Tubulação Vertical.**

### **3.1.7 Silo ou ciclone**

A Unidade Piloto possui um silo armazenador de sólido feito de acrílico e com volume de 21,5 litros. A Figura 21 mostra o dispositivo mencionado com os grãos de

milho e a Figura 22, o detalhe do equipamento que ocasiona o efeito Ciclone no transporte dos grãos de milho.



**Figura 21 – Silo para armazenamento dos grãos de milho.**



**Figura 22 – Detalhe do Equipamento que ocasiona o efeito Ciclone no transporte dos grãos de milho.**

### **3.1.8 Tê saída de lado**

Entre as tomadas de pressão P6 e P7 da Unidade experimental, foi instalado uma singularidade Tê saída de lado. O equipamento foi experimentado para Tê sem prolongamento (Figura 23), Tê com prolongamento de 30, 60 e 90 mm.



Figura 23 – Detalhe da singularidade Tê Saída de Lado sem prolongamento.

### 3.1.9 Instrumentos de medida

Para auxiliar na coleta dos dados experimentais, foram utilizados os seguintes instrumentos de medição:

- a) Anemômetro: Marca Prova *Instruments* Inc, Modelo AVM-01 para o cálculo da velocidade do ar no duto de descarga, pois o anemômetro mediu-se a velocidade de entrada do ar (sucção) e com a utilização da equação da continuidade calculou-se a velocidade de descarga.
- b) Balança Analógica de 5 kg para determinação da massa de grãos de milho para a obtenção da densidade aparente.
- c) Cronômetro Digital Marca Toppa. Utilizado no cálculo da vazão mássica dos grãos de milho através da técnica de massa/tempo.
- d) Cronômetro Digital Marca *Instrutterm* CD 2800 para determinação da velocidade do ar no duto de sucção.
- e) Paquímetro de aço: Marca *Mitutoyo*, Modelo R 530 - 104 B - 10 / 0708 e 0707, para determinação dos diâmetros e espessura da Unidade Piloto.

- f) Régua graduada de Aço (em milímetros) de 60 cm de comprimento na determinação das leituras de cada tomada de pressão utilizada na Unidade Piloto.
- g) Proveta de 1000 ml com tara de 0,2576 kg para determinação da densidade aparente do milho

### 3.2 Método De Coleta Dos Resultados

Primeiramente a Unidade Experimental utilizada no Transporte Pneumático em fase diluída de grãos de milho foi testada e aferida. Com o ventilador na velocidade máxima, o sistema foi pressurizado, possibilitou a retirada de alguns pontos de vazamento de ar, com intuito de garantir maior precisão dos dados obtidos. Esse teste foi realizado em todas as trocas de singularidades e início dos trabalhos de coleta dos dados.

#### 3.2.1 Velocidade do ar no duto de sucção

Para a medição da velocidade do ar nos dutos de sucção, os ensaios foram iniciados sem alimentação dos grãos de milho. As velocidades do ar na entrada do duto de sucção foram medidas com o Anemômetro da marca prova *Instruments Inc.* modelo AVM-01, e as velocidades do ar no duto de transporte foram calculadas empregando-se a equação da continuidade (Equação 10).

$$Q = v_s \cdot A_s \quad (10)$$

Em que:  $Q$  é a vazão volumétrica do ar em  $m^3/s$   
 $v_s$  é a velocidade do ar no duto de sucção em  $m/s$   
 $A_s$  é a área do duto de sucção em  $m^2$

A área da seção transversal do duto de sucção foi calculada pela Equação 11.

$$A_s = \frac{\pi \cdot D_s^2}{4} \quad (11)$$

Em que:  $D_s$  é o diâmetro interno do duto de sucção em m.

O Anemômetro utilizado foi colocado no centro do duto de sucção e mediu-se a velocidade do ar, como mostra a Figura 24. As velocidades de sucção foram determinadas para cada acessório instalado na unidade, ou seja, TÊ sem prolongamento e TÊ com prolongamento de 30, 60 e 90 mm, conforme a Tabela 6.



(a)



(b)

**Figura 24 – Detalhe do Anemômetro medindo a velocidade do ar no duto de sucção a) vista frontal; b) vista lateral.**

Tabela 6 – Velocidades do ar no duto de sucção.

Frequência (Hz)	Velocidade de entrada do ar (m/s)			
	Tê sem Prolongamento	Tê Prolongamento de 30 mm	Tê Prolongamento de 60 mm	Tê Prolongamento de 90 mm
30,0	3,3	3,3	2,6	2,5
32,5	3,8	3,9	2,7	2,8
35,0	4,2	4,3	3	3,1
37,5	4,5	4,5	3,3	3,3
40,0	4,7	4,8	3,6	3,7

### 3.2.2 Diâmetros dos dutos

O objetivo desta medição foi o cálculo da Velocidade de Descarga do Ar no duto de Transporte, através da Equação da Continuidade (Equação 10). Para a medição dos diâmetros internos do duto de sucção e duto de descarga, foi utilizado um paquímetro. Os diâmetros internos dos dutos, em metros, são:

Duto de Sucção ( $D_s$ ): 0,2160 m

Duto de Descarga ( $D$ ): 0,1168 m

### 3.2.3 Velocidade do ar no duto de descarga

O cálculo da velocidade do Ar no duto de descarga foi realizado aplicando o balanço de massa no duto de transporte ( $w_d$ ) e sucção ( $w_s$ ), indicado nas Equações 12 e 13.

$$w_d = w_s \quad (12)$$

$$\rho_d \cdot v_d \cdot A_d = \rho_s \cdot v_s \cdot A_s \quad (13)$$

Sendo  $w_d$  a vazão mássica no duto de descarga em t/s  
 $w_s$  a vazão mássica no duto de sucção em t/s  
 $\rho_d$  a densidade no duto de descarga em t/m<sup>3</sup>  
 $\rho_s$  a densidade no duto de sucção em t/m<sup>3</sup>  
 $v_d$  a velocidade no duto de descarga em m/s  
 $v_s$  a velocidade no duto de sucção em m/s  
 $A_d$  a área interna no duto de descarga em m<sup>2</sup>  
 $A_s$  a área interna no duto de sucção em m<sup>2</sup>

Aplicando o cálculo do número de Mach ( $N_{Ma}$ ), para uma velocidade média de 3,6 m/s, velocidade do som de 346,3 m/s (1 atm e 25 °C), o  $N_{Ma}$  é dado na Equação 14, e que por ser menor que 0,3, o fluido pode ser considerado incompressível (MORAES, 2011).

$$N_{Ma} = \left( \frac{3,6 \frac{m}{s}}{346,3 \frac{m}{s}} \right) = 0,0104 \quad (14)$$

Sendo  $N_{Ma}$  o número de mach (adimensional)

Desta forma, a equação simplificada para o cálculo da velocidade no duto de descarga é aplicado pela Equação 15.

$$V_d = V_s \cdot \frac{D_s^2}{D_d^2} \quad (15)$$

Sendo:  $V_d$  a velocidade de descarga em m/s  
 $V_s$  a velocidade de sucção em m/s  
 $D_s$  o diâmetro do duto de sucção em m  
 $D_d$  o diâmetro do duto de descarga em m

### 3.2.4 Vazão mássica através da técnica massa por tempo, calibração da Válvula Rotativa.

A calibração da válvula rotativa ou tremonha e o cálculo da vazão mássica de milho para cada posição do potenciômetro (Figura 17) foi realizada utilizando-se grãos de milho, cronômetros, recipiente de coleta (balde) e balança.

Utilizou-se o potenciômetro em dez posições, de 1,5 a 6,0, calculando o tempo gasto para a passagem da massa de milho. Em cada posição, foi pesada a massa de grãos de milho e descontada a massa do balde. Na posição 1, não houve deslocamento dos grãos de milho.

A Tabela 7 descreve os dados e vazões mássicas de milho:

**Tabela 7 – Vazão mássica de milho.**

Potenciômetro	Massa (g)	Tempo gasto(s)	Vazão (kg/s)
1,5	1589,67	32,11	0,0495
2,0	2089,53	28,40	0,0736
2,5	1824,98	16,51	0,1105
3,0	2046,49	15,51	0,1319
3,5	1978,53	12,02	0,1646
4,0	2032,10	10,67	0,1904
4,5	2254,83	10,81	0,2086
5,0	2388,72	11,05	0,2162
5,5	2407,39	9,53	0,2526
6,0	2125,48	7,88	0,2697

### 3.2.5 Densidade Do Milho

O milho utilizado nesse estudo foi adquirido comercialmente. Estes grãos são utilizados como insumo na alimentação de aves e suínos e comercializados pela empresa Celia Rodrigues do Nascimento – ME, CNPJ: 01.830.248/0001-42 e Inscrição Estadual 527.014.099.112. A empresa apresenta em sua embalagem comercial que os grãos de milho estão classificados como milho amarelo e pertencente ao grupo de milhos semiduro.

A metodologia para obtenção da densidade dos grãos de milho utilizado foi o método de empacotamento para determinação da densidade aparente. Segundo Gomide (1983), como a densidade aparente é mais prático de determinar do que a densidade real do sólido. Ela será utilizada substituindo  $\rho_s$  em função de  $\rho$  na expressão que indica a velocidade de transporte (Equação 1), utilizando a aproximação da Equação 16.

$$\rho_s = 1,47 \cdot \rho^3 \cdot \frac{Ds^2}{Dd^2} \quad (16)$$

Em que:  $\rho_s$  é a densidade do sólido em  $t/m^3$ .  
 $\rho$  é a densidade aparente do milho em  $t/m^3$ .

A densidade aparente foi determinada segundo a metodologia de empacotamento de grãos, onde em uma proveta, são acomodados os grãos de milho e aplicado a compactação do volume através de algumas batidas no corpo da proveta.

A equação 17 calcula a densidade aparente a partir da massa de milho dentro da proveta e o volume que ela ocupou.

$$d = \frac{m}{v} \quad (17)$$

Sendo:  $v$  o volume ocupado pelos grãos de milho em  $cm^3$ .  
 $m$  a massa dos grãos de milho.

### 3.3 Determinação Da Perda De Carga Do Milho

A determinação da perda de carga de grãos de milho, entre os Pontos P1 à P10, da Unidade de Transporte Pneumático, foi determinada para as vazões mássicas de 0,0495 kg/s, 0,0736 kg/s, 0,1105 kg/s, 0,1319 kg/s e 0,1646kg/s.

A perda de carga nos trechos horizontais e verticais foi apresentada pela diferença de pressão entre os pontos obtidos no banco de tubos em “U” da Unidade Experimental. Para isso foi considerado o volume de controle da parede interna do tubo, empregando o balanço de Energia Mecânica, segundo as hipóteses apresentadas nos estudos de Moraes Jr. *et al.*(2011):

- a) Fluido incompressível.
- b) O escoamento do Fluido, que entra por uma área e sai por outra no volume de controle, é normal às respectivas áreas das seções retas.
- c) O volume de controle apresenta apenas uma entrada e uma saída.
- d) Não há variação significativa de temperatura entre a entrada e saída do volume de controle.
- e) Não há variação significativa em cada área da densidade, entalpia e desnível.
- f) Escoamento em regime permanente.

Em um trecho horizontal da tubulação a análise das pressões entre dois pontos sem variação significativa de temperatura, obtêm-se, a partir da Equação 18, a perda de carga do trecho desejado (SANTOS, 2011).

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + z_1 + W = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + z_2 + l_{w(1-2)} \quad (18)$$

Sendo:  $P_1$  e  $P_2$  a pressão absoluta em  $\text{kgf} / \text{m}^2$ ;  
 $\gamma$  o peso específico do fluido em  $\text{kgf} / \text{m}^3$ ;  
 $v_1$  e  $v_2$  as velocidades em  $\text{m/s}$ ;  
 $g$  a aceleração da gravidade em  $\text{m/s}^2$ ;  
 $z_1$  e  $z_2$  o desnível ou altura em relação a um plano de referência em  $\text{m}$ ;  
 $W$  o trabalho de eixo em  $\text{m}$ ;  
 $l_{w(1-2)}$  a perda de carga do sistema entre os pontos 1 e 2 em  $\text{m}$ .

Desta forma, adotando-se para o trecho horizontal 1 e 2 do sistema pneumático em estudo:

a) Diâmetro é constante e portanto as Velocidades são iguais: (Equação 19).

$$v_1 = v_2, \text{ então } \frac{v_1^2}{2g} - \frac{v_2^2}{2g} = 0 \quad (19)$$

b) Tubo Horizontal, (Equação 20).

$$z_1 = z_2 = 0 \quad (20)$$

c) Trabalho de eixo é nulo entre os pontos 1 e 2, não há bomba ou turbina, (Equação 21).

$$W = 0 \quad (21)$$

d) A equação da Perda de Carga entre os pontos 1 e 2, trecho horizontal é: (Equação 22).

$$l_{w(1-2)} = \frac{P_1}{\gamma} - \frac{P_2}{\gamma} = \frac{\Delta P}{\gamma} \quad (22)$$

Segundo Gomide (1983), para os trechos verticais a perda de carga poderá ser adotada como sendo o dobro da perda para um trecho horizontal de mesmo comprimento e com a mesma concentração de sólidos. A perda de carga total por atrito deverá ser calculada com o comprimento total  $L_t$ , que é a soma dos

comprimentos dos trechos horizontais  $L_h$ , o dobro do comprimento dos trechos verticais  $L_v$  e mais o comprimento equivalente às curvas e conexões  $L_e$ :

- Perda de Carga Total, (Equação 23).

$$L_t = L_h + 2 \cdot L_v + L_e \quad (23)$$

### 3.4 Determinação do Coeficiente K

A determinação do coeficiente K, obtido experimentalmente entre os pontos P6 e P7 (perda de carga localizada), foi realizado pelo método do fator K.

Considerando que a perda de carga é apresentada em milímetros de coluna de água (mmca) e a velocidade média na unidade experimental é a do ar em metros por segundo (m-s), acrescenta-se o peso específico padrão do ar (Equação 24)

$$l_w = K \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \cdot \gamma_{ar} \quad (24)$$

Sendo:  $\gamma_{ar}$  o peso específico padrão do ar de  $1,2 \text{ kgf} / \text{m}^3$

Portanto, o cálculo do coeficiente K, adimensional, tendo-se a perda de carga experimental e a velocidade no duto de descarga em m/s para as vazões mássicas dos grãos de milho nos Tês saída de lado, sem prolongamento, com prolongamento de 30 mm, 60 mm e 90 mm é calculada pela Equação 25.

$$K = \frac{l_w}{\gamma_{ar}} \cdot \frac{2 \cdot g}{v^2} \quad (25)$$

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados obtidos no transporte de grãos de milho pelo método de Transporte Pneumático, em Fase Diluída, na Unidade Piloto da Universidade Santa Cecília, apresentaram conformidade com a literatura referenciada.

Dentre as variáveis relacionadas na obtenção dos pontos de pressão, P1 a P10, para os cálculos das perdas de carga horizontal, vertical e singular, destacam-se:

### 4.1 Densidade Aparente Do Milho

Os resultados das densidades aparentes das amostras de milho, utilizando uma proveta de 1000 ml de tara de 257,6 g, estão relacionados na Tabela 8.

**Tabela 8 – Determinação da Densidade Aparente com Proveta de 1000 mL.**

Amostras de Milho	Massa do milho (g)	Volume da Proveta (mL)	Densidade (g/L)
Amostra 1	745,8	1000	0,7458
Amostra 2	763,2	1000	0,7632
Amostra 3	757,2	1000	0,7572

Com os dados obtidos e tabelados, o valor obtido da densidade aparente média dos grãos de milho utilizado nos cálculos para perda de carga e cálculo do coeficiente “K” foi de 0,7554 g/mL ou 755,4 g/L. Esse resultado, observado na literatura apresentada por Silva (2011) onde se estudou a variação das densidades dos milhos estratificados de diferentes densidades ao longo do tempo (meses), está condizente para um milho de densidade intermediária.

### 4.2 Condições de Transporte na Unidade Experimental

A operação da Unidade Piloto apresentou acúmulo de grãos de milho, quando este apresentando a velocidade de descarga de 10,0 m/s, visualmente.

O acúmulo de sólidos no duto de acrílico horizontal, entre os pontos de pressão P5 e P6, iniciou com a vazão de sólidos à partir de 0,1105 kg/s e continuou com o aumento para as vazões mássicas de 0,1319 kg/s e 0,1646 kg/s. As demais velocidades de descarga de ar-milho e vazões mássicas aplicadas no experimento não apresentaram acúmulo de sólidos nos trechos horizontais e verticais da Unidade Piloto de Transporte Pneumático.

**Tabela 9 – Condição de Transporte e acúmulo de grãos de milho na unidade experimental, detectado com a velocidade média de descarga de ar-milho de 10,0 m/s.**

<b>Vazão Mássica do Milho (kg/s)</b>	<b>Tê Sem Prolongamento</b>	<b>Tê Prolongamento 30 mm</b>	<b>Tê Prolongamento 60 mm</b>	<b>Tê Prolongamento 90 mm</b>
<b>0,0495</b>	Transporte	Transporte	Transporte	Transporte
<b>0,0736</b>	Transporte	Transporte	Transporte	Transporte
<b>0,1105</b>	Transporte	Transporte	Acúmulo	Transporte
<b>0,1319</b>	Acúmulo	Transporte	Acúmulo	Acúmulo
<b>0,1646</b>	Acúmulo	Acúmulo	Acúmulo	Acúmulo

As condições de acúmulo de grãos de milho nos dutos horizontais da Unidade tiveram pouca influência nos gráficos do comportamento da perda de carga entre os pontos P1 e P6, obtidos das tabelas A1, A6, A11 e A16, apêndice A.

#### **4.3 Velocidade De Operação Em Fase Diluída**

A velocidade média no duto de descarga aplicada para o transporte de milho nesta Unidade Experimental para obtenção dos dados experimentais foi de: 10,0 m/s, 11,29 m/s, 12,48 m/s, 13,34 m/s e 14,36 m/s, como apresentado na Tabela 10. Obtida pela equação simplificada do balanço de massa no duto de transporte e sucção, equação 15.

**Tabela 10 – Velocidades do ar no duto de descarga.**

Frequência (Hz)	Velocidade Média no Duto de Sucção (m/s)	Velocidade Média no Duto de Descarga (m/s)
30,0	2,93	10,00
32,5	3,30	11,29
35,0	3,65	12,48
37,5	3,90	13,34
40,0	4,20	14,36

Estas velocidades contrapõem os dados referenciais para transporte em fase diluída de Cruz (2013) e Nonnenmacher *apud* Dickow (2013), ou seja, a velocidade mínima utilizada nesse tipo de transporte, fase diluída e grãos de milho, é de 16 m/s.

Considerando a geometria e a densidade do milho deste experimento, bem como, as variáveis: diâmetro, vazão mássica e traçado da unidade experimental, a obtenção dos dados experimentais objetivado desta pesquisa, não foram impossibilitados com a utilização de velocidades inferiores a literatura.

#### **4.4 Perda de Carga do Milho na Unidade de Transporte Pneumático**

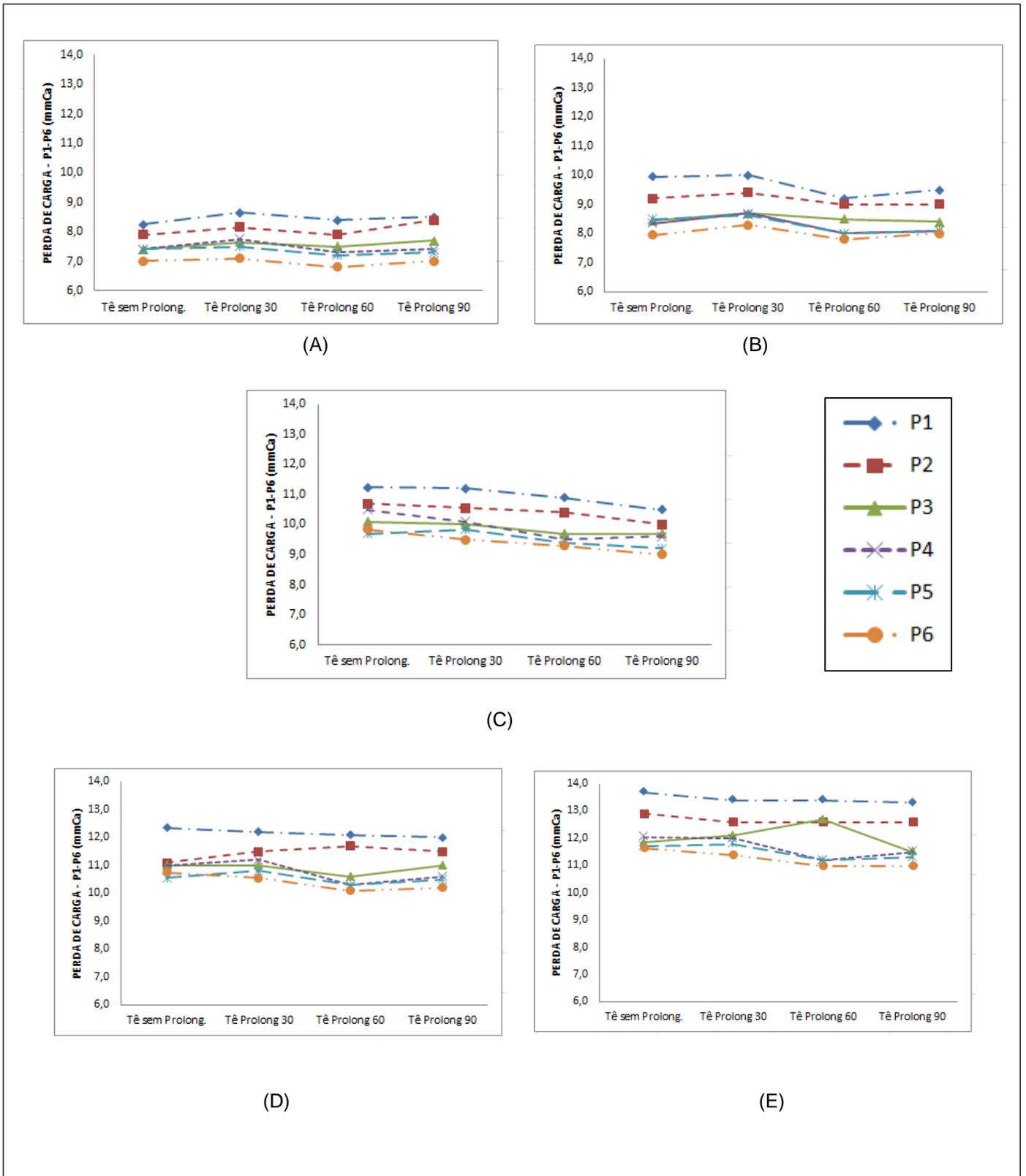
O Apêndice A apresenta através das tabelas de A1 até A20, os resultados obtidos das pressões no banco de tubos em “U” da Unidade Piloto, referenciados pela vazão mássica dos grãos de milho e a velocidade da válvula rotativa através do potenciômetro.

##### **4.4.1 Trecho Horizontal**

A análise e comportamento da perda de carga da mistura ar e grãos de milho no tubo horizontal da Unidade Piloto, foi plotada em gráficos em Linha do aplicativo Excel 2010 representado pela figura 25 à figura 29 e, foram construídas com os dados das tabelas C1 a C25 (Apêndice C), referenciando as perdas de carga pelas tomadas de Pressão P1 a P6, em milímetros de coluna de água (mmca), em 05

(cinco) vazões mássicas de grãos de milho (0,0495 kg/s, 0,0736 kg/s, 0,1105 kg/s, 0,1319 kg/s e 0,1646 kg/s), 05 (cinco) velocidades da mistura ar-grãos de milho (10,00 m/s, 11,29 m/s, 12,48 m/s, 13,34 m/s e 14,36 m/s) e aplicada nas singularidades Tê sem prolongamento, Tês com prolongamento de 30, 60 e 90 mm.

Na Figura 25, os gráficos representam o comportamento da perda de carga entre os pontos P1 a P6 para Vazão Mássica de grãos de milho a 0,0495 kg/s e as velocidades da mistura ar-milho de: 10,0 m/s (A), 11,29 m/s (B), 12,48 m/s (C), 13,34 m/s (D) e 14,36 m/s (E) para Tê sem prolongamento e nos prolongamentos de 30, 60 e 90 mm, respectivamente. Os dados foram retirados das Tabelas C1, C2, C3, C4 e C5, apêndice C.



**Figura 25 – Curvas das Perdas de Carga no Trecho Horizontal para Vazão Mássica de grão de milho a 0,0495 kg/s, nas velocidades de descarga (A) 10,00 m/s, (B) 11,29 m/s, (C) 12,48 m/s, (D) 13,34 m/s e (E) 14,36 m/s.**

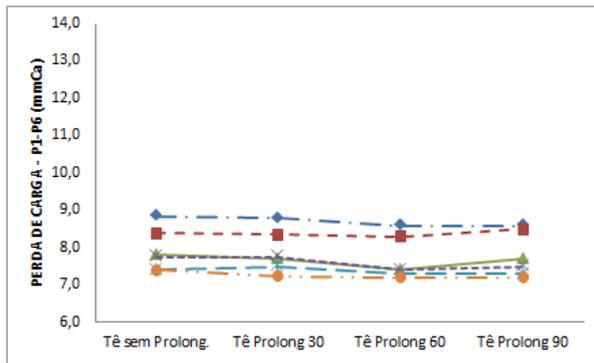
O resultado dos gráficos agrupados na figura 25, elaborados através das Tabelas C1, C2, C3, C4 e C5, mostra a perda de carga em cada ponto da tubulação para os quatro tipos de acessórios estudados.

Na apresentação dos gráficos, verifica-se o aumento da perda de carga entre os pontos P5 e P6 relacionado com o aumento da concentração de sólidos na entrada da singularidade Tê saída de lado, principalmente com a velocidade de 10,0 m/s.

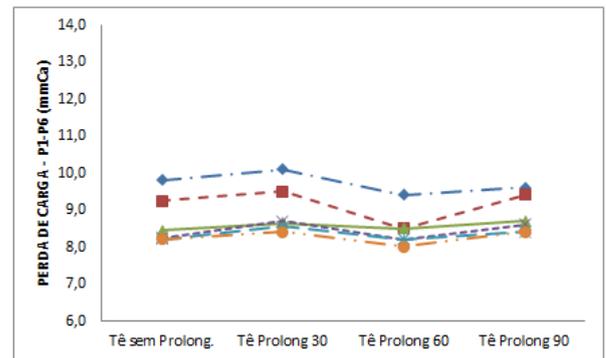
Os ensaios mostraram a diminuição da perda de carga ao longo do trecho horizontal e no sentido do fluxo, pontos P1 a P6, com o emprego dos prolongamentos.

O comportamento da curva no ponto de pressão P3 mostra uma inversão da curva, provavelmente, gerada pela turbulência neste ponto de tomada de pressão.

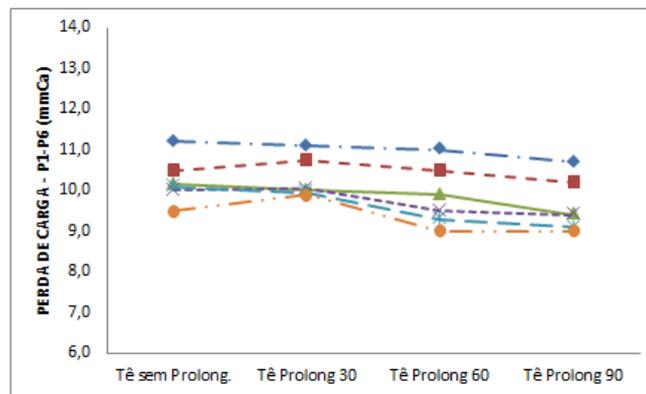
Na Figura 26, os gráficos representam o comportamento da perda de carga entre os pontos P1 a P6 para Vazão Mássica de grãos de milho a 0,0736 kg/s e as velocidades da mistura ar-milho de: 10,0 m/s (A), 11,29 m/s (B), 12,48 m/s (C), 13,34 m/s (D) e 14,36 m/s (E) para Tê sem prolongamento e nos prolongamento de 30, 60 e 90 mm, respectivamente. Os dados foram retirados das Tabelas C6, C7, C8, C9 e C10, apêndice C.



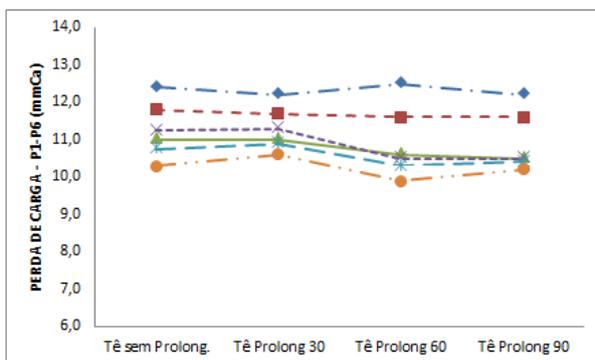
(A)



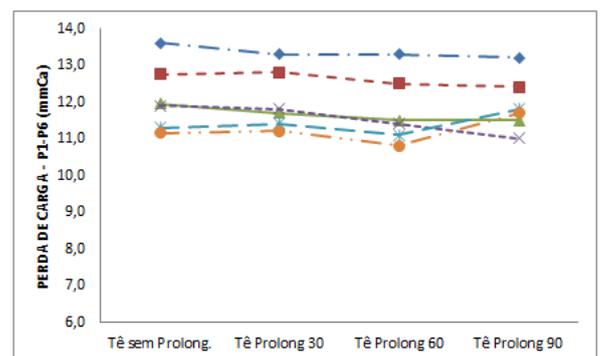
(B)



(C)



(D)



(E)

Figura 26 – Curvas das Perdas de Carga no Trecho Horizontal para Vazão Mássica de grão de milho a 0,0736 kg/s, nas velocidades de descarga (A) 10,00 m/s, (B) 11,29 m/s, (C) 12,48 m/s, (D) 13,34 m/s e (E) 14,36 m/s.

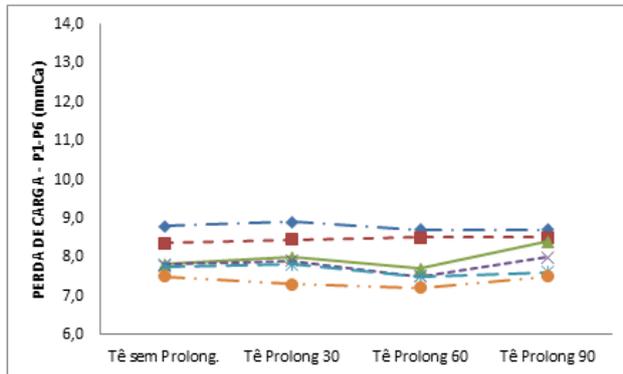
O resultado dos gráficos agrupados na Figura 26, elaborados através das Tabelas C6, C7, C8, C9 e C10, mostra a perda de carga em cada ponto da tubulação para os acessórios Tê sem prolongamento, e nos prolongamentos de 30, 60 e 90 mm.

Na apresentação dos gráficos, verifica-se o aumento da perda de carga entre os pontos P5 e P6 relacionado com o aumento da concentração de sólidos na entrada da singularidade Tê saída de lado, principalmente com a velocidade de 10,0 m/s, apesar da não visualização de acúmulo de sólidos nesta condição de vazão mássica.

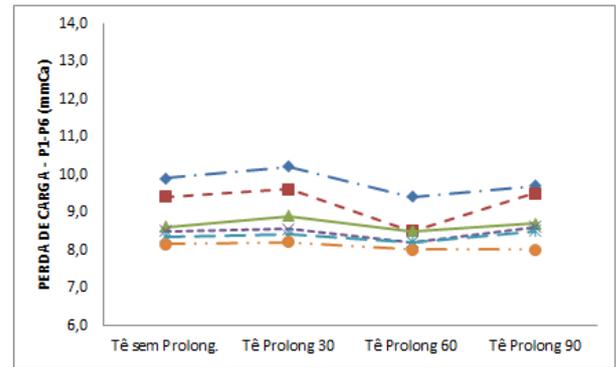
Os ensaios mostraram a diminuição da perda de carga ao longo do trecho horizontal e no sentido do fluxo, pontos P1 a P6, com o emprego dos prolongamentos.

Percebe-se também uma queda de pressão com a utilização do Tê saída de lado de 60 mm, em quase todos os pontos em relação as demais singularidades utilizadas neste experimento. O gráfico (E), da figura mostra o aumento expressivo da queda de pressão entre o ponto P5 e P6 para a velocidade de 14,36 m/s.

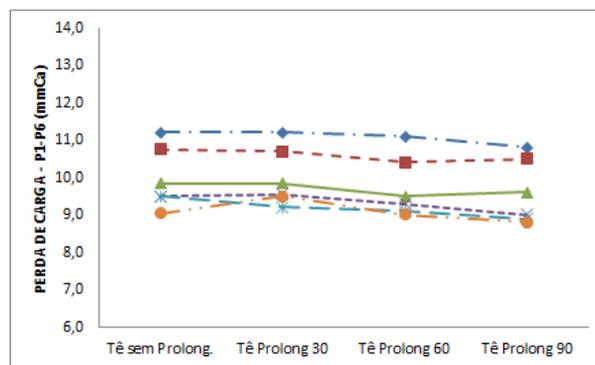
Na Figura 27, os gráficos representam o comportamento da perda de carga entre os pontos P1 a P6 para Vazão Mássica de grãos de milho a 0,1105 kg/s e a velocidade da mistura ar-milho para: 10,0 m/s (A), 11,29 m/s (B), 12,48 m/s (C), 13,34 m/s (D) e 14,36 m/s (E) para Tê sem prolongamento e nos prolongamentos de 30, 60 e 90 mm, respectivamente. Os dados foram retirados das Tabelas C11, C12, C13, C14 e C15, apêndice C.



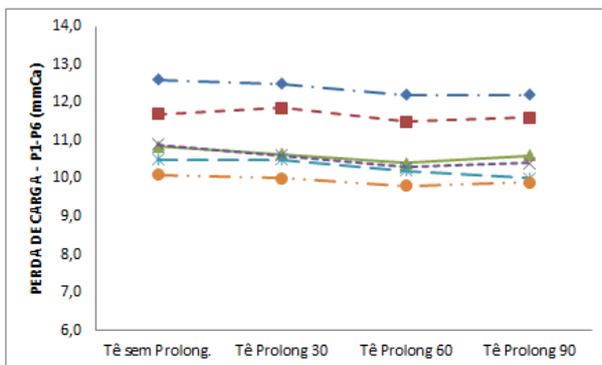
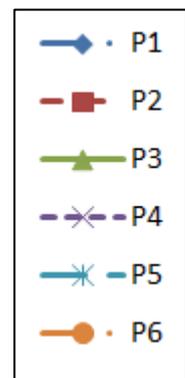
(A)



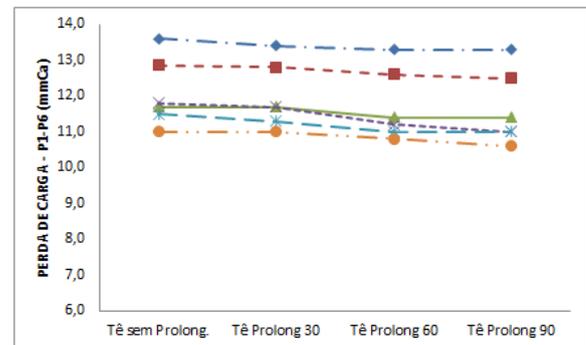
(B)



(C)



(D)



(E)

**Figura 27 – Curvas das Perdas de Carga no Trecho Horizontal para Vazão Mássica de grãos de milho a 0,1105 kg/s, nas velocidades de descarga (A) 10,00 m/s, (B) 11,29 m/s, (C) 12,48 m/s, (D) 13,34 m/s e (E) 14,36 m/s.**

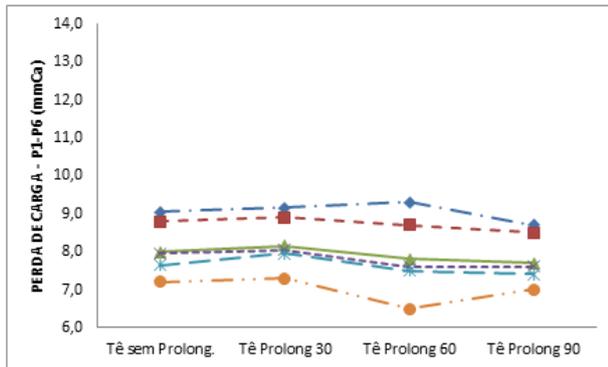
O resultado dos gráficos agrupados na figura 27, elaborados através das Tabelas C11, C12, C13, C14 e C15, mostra a perda de carga em cada ponto da tubulação para os quatro tipos de acessórios estudados.

Na apresentação dos gráficos, verifica-se o aumento da perda de carga á partir do ponto P3, devido ao aumento da concentração de sólidos na entrada da singularidade Tê saída de lado, principalmente com a velocidade de 10,0 m/s.

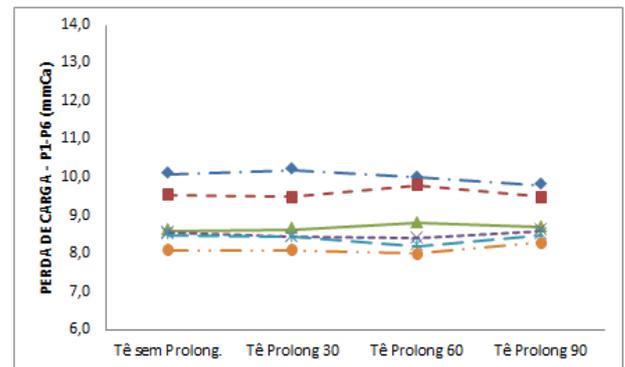
Os ensaios mostraram a diminuição da perda de carga ao longo do trecho horizontal e no sentido do fluxo, pontos P1 a P6, com o emprego dos prolongamentos.

O comportamento das curvas, por ponto de pressão, mostra um aumento da perda de carga com o aumento da velocidade do ar, ao longo do trecho horizontal.

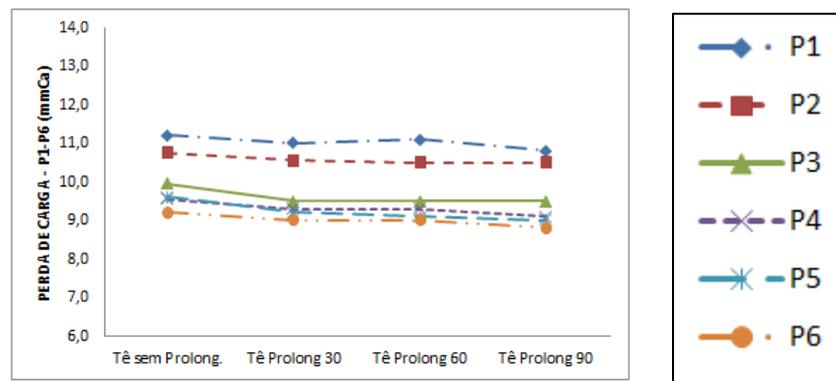
Na Figura 28, os gráficos representam o comportamento da perda de carga entre os pontos P1 a P6 para Vazão Mássica de grãos de milho a 0,1319 kg/s e as velocidades da mistura ar-milho de: 10,0 m/s (A), 11,29 m/s (B), 12,48 m/s (C), 13,34 m/s (D) e 14,36 m/s (E) para Tê sem prolongamento e nos prolongamentos de 30, 60 e 90 mm, respectivamente. Os dados foram retirados das Tabelas C16, C17, C18, C19 e C20, apêndice C.



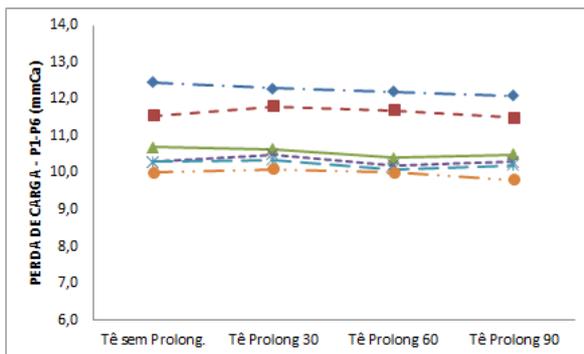
(A)



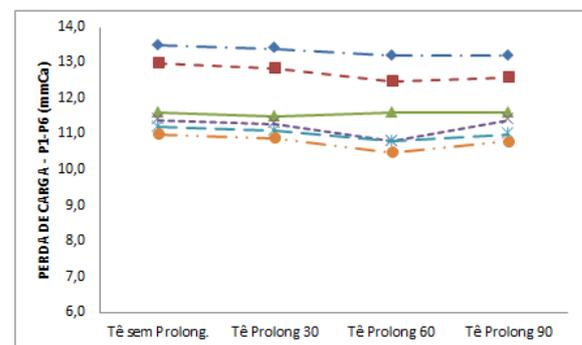
(B)



(C)



(D)



(E)

**Figura 28 – Curvas das Perdas de Carga no Trecho Horizontal para Vazão Mássica de grãos de milho a 0,1319 kg/s, nas velocidades de descarga (A) 10,00 m/s, (B) 11,29 m/s, (C) 12,48 m/s, (D) 13,34 m/s e (E) 14,36 m/s.**

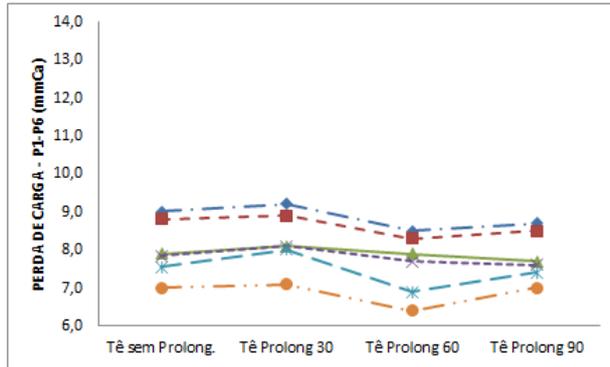
O resultado dos gráficos agrupados na figura 28, elaborados através das Tabelas C16, C17, C18, C19 e C20, mostra a perda de carga em cada ponto da tubulação para os quatro tipos de acessórios estudados.

Na apresentação dos gráficos, verifica-se o aumento da perda de carga entre os pontos P5 e P6 relacionado com o aumento da concentração de sólidos na entrada da singularidade Tê saída de lado, principalmente com a velocidade de 10,0 m/s. Neste caso foi detectado visualmente o acúmulo de sólidos e comprovado com o aumento brusco da perda de carga no ponto P6 do gráfico (A), figura 28.

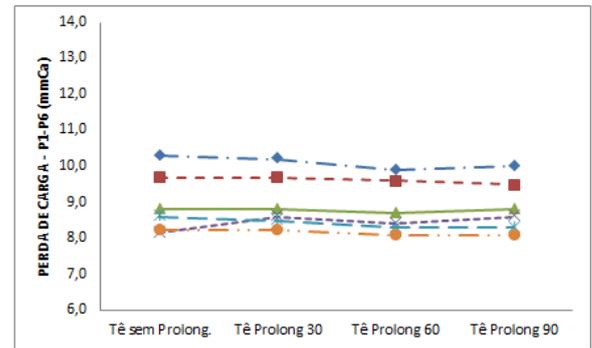
Os ensaios mostraram a diminuição da perda de carga ao longo do trecho horizontal e no sentido do fluxo, pontos P1 a P6, com o emprego dos prolongamentos.

O comportamento das curvas, por ponto de pressão, mostra um aumento da perda de carga com o aumento da velocidade do ar, ao longo do trecho horizontal.

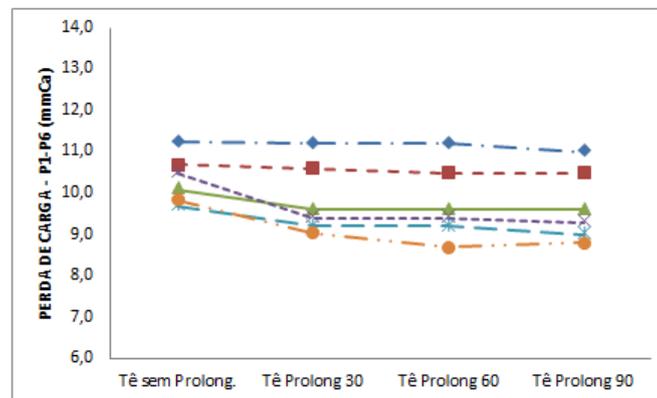
Na Figura 29, os gráficos representam o comportamento da perda de carga entre os pontos P1 a P6 para Vazão Mássica de grãos de milho a 0,1646 kg/s e as velocidades da mistura ar-milho de: 10,0 m/s (A), 11,29 m/s (B), 12,48 m/s (C), 13,34 m/s (D) e 14,36 m/s (E) para Tê sem prolongamento e nos prolongamentos de 30, 60 e 90 mm, respectivamente. Os dados foram retirados das Tabelas C21, C22, C23, C24 e C25, apêndice C.



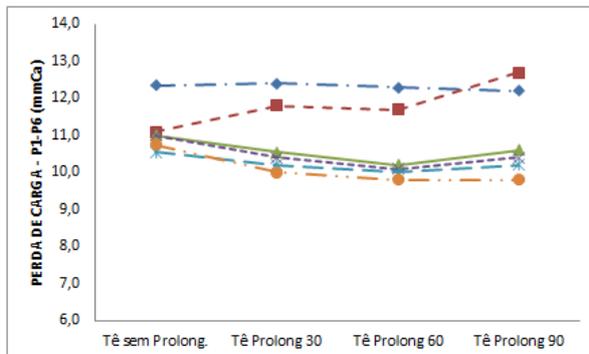
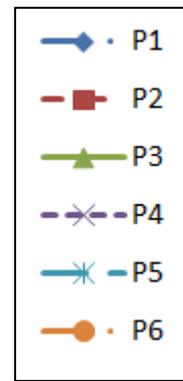
(A)



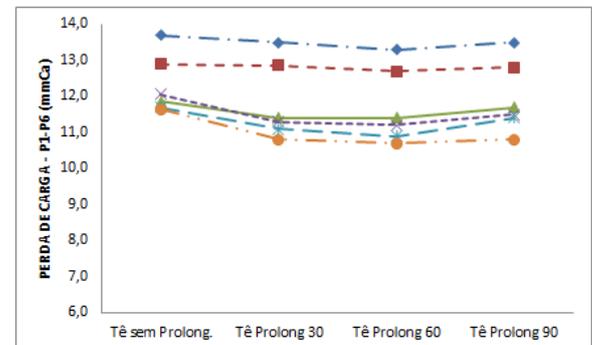
(B)



(C)



(D)



(E)

Figura 29 – Curvas das Perdas de Carga no Trecho Horizontal para Vazão Mássica de grão de milho a 0,1646 kg/s, nas velocidades de descarga (A) 10,00 m/s, (B) 11,29 m/s, (C) 12,48 m/s, (D) 13,34 m/s e (E) 14,36 m/s.

O resultado dos gráficos agrupados na figura 29, elaborados através das Tabelas C21, C22, C23, C24 e C25, mostra a perda de carga em cada ponto da tubulação para os quatro tipos de acessórios estudados.

Na apresentação dos gráficos, verifica-se o aumento da perda de carga entre os pontos P5 e P6 relacionado com o aumento da concentração de sólidos na entrada da singularidade Tê saída de lado, principalmente com a velocidade de 10,0 m/s. Neste caso foi detectado visualmente o acúmulo de sólidos e comprovado com o aumento brusco da perda de carga no ponto P6 do gráfico (A), figura 27.

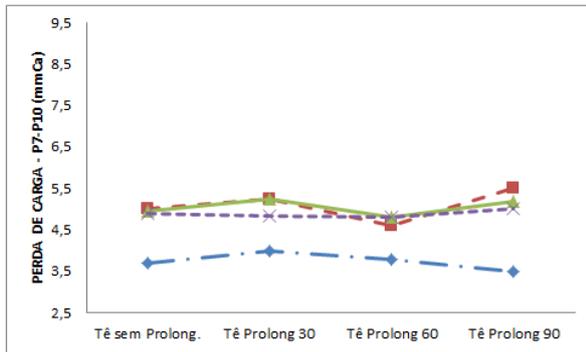
Os ensaios mostraram a diminuição da perda de carga ao longo do trecho horizontal e no sentido do fluxo, pontos P1 a P6, com o emprego dos prolongamentos.

O comportamento das curvas, por ponto de pressão, mostra um aumento da perda de carga com o aumento da velocidade do ar, ao longo do trecho horizontal.

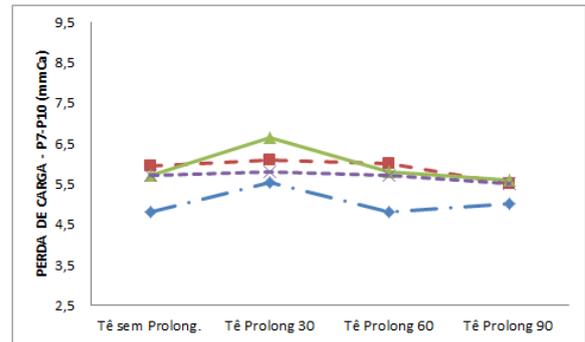
#### **4.4.2 Trecho Vertical**

A análise e comportamento da perda de carga da mistura ar e grãos de milho no Tubo Vertical da Unidade Experimental foi plotada em gráficos em Linha do aplicativo Excel 2010 representado pelas figuras 30 à 34 e, foram construídas com os dados das tabelas D1 à D25 (Apêndice D), referenciando as perdas de carga pelas tomadas de Pressão P7 a P10, em milímetros de coluna de água (mmca), em 05 (cinco) vazões mássicas de grãos de milho (0,0495 kg/s, 0,0736 kg/s, 0,1105 kg/s, 0,1319 kg/s e 0,1646 kg/s), 05 (cinco) velocidades da mistura ar-grãos de milho (10,00 m/s, 11,29 m/s, 12,48 m/s, 13,34 m/s e 14,36 m/s) e aplicada nas singularidades Tê sem prolongamento, Tês com prolongamento de 30, 60 e 90 mm.

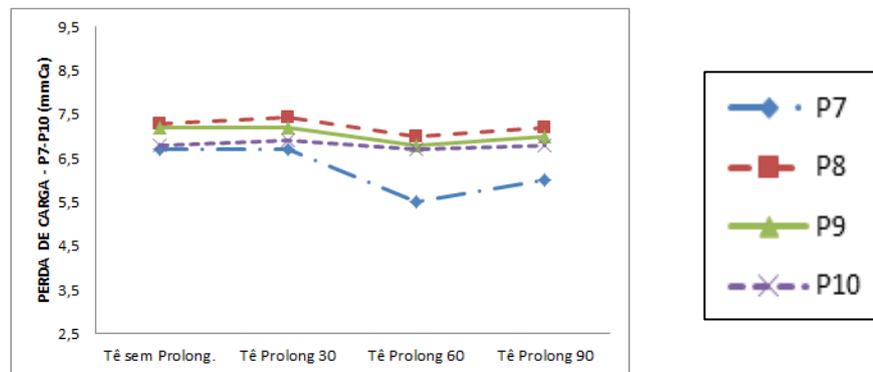
Na Figura 30, os gráficos representam o comportamento da perda de carga entre os pontos P7 a P10 para Vazão Mássica de grãos de milho a 0,0495 kg/s e as velocidades da mistura ar-milho de: 10,0 m/s (A), 11,29 m/s (B), 12,48 m/s (C), 13,34 m/s (D) e 14,36 m/s (E) para Tê sem prolongamento e nos prolongamento de 30, 60 e 90 mm, respectivamente. Os dados foram retirados das Tabelas D1, D2, D3, D4 e D5, apêndice D.



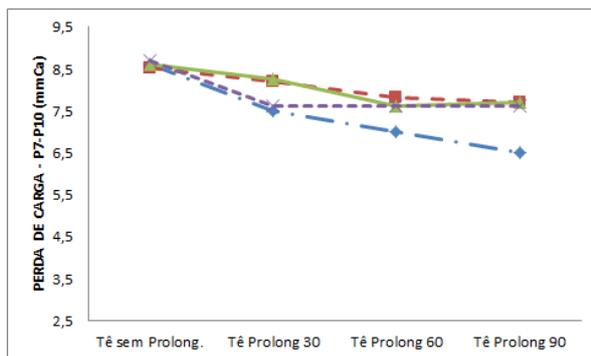
(A)



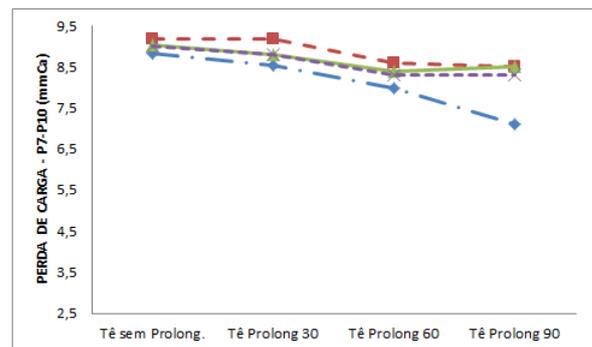
(B)



(C)



(D)



(E)

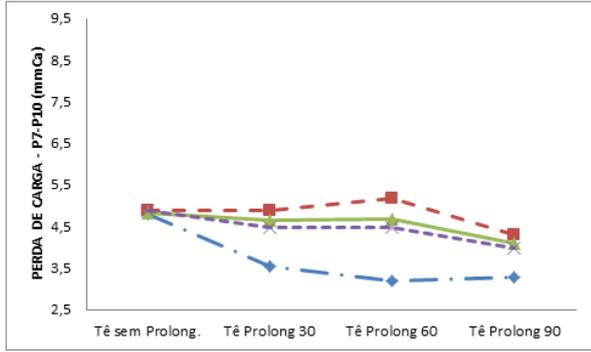
Figura 30 – Curvas das Perdas de Carga no Trecho Vertical para Vazão Mássica de grão de milho a 0,0495 kg/s, nas velocidades de descarga (A) 10,00 m/s, (B) 11,29 m/s, (C) 12,48 m/s, (D) 13,34 m/s e (E) 14,36 m/s.

Com o resultado dos gráficos agrupados na Figura 30, elaborados através das Tabelas D1, D2, D3, D4 e D5, observou-se a perda de carga no trecho vertical em função da velocidade mássica da mistura, uma diminuição nos pontos de pressão com a instalação dos prolongamentos, principalmente, nos Tê's de 60 e 90 mm em relação da curva de perda de carga para o Tê sem prolongamento e Tê de 30 mm.

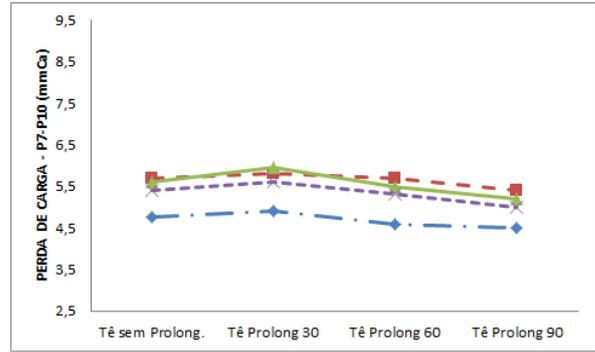
O comportamento dos grãos de milho com velocidade média de 10 m/s, entre os pontos P9 e P10, mostra uma inversão da curva, provavelmente, gerada pela concentração de grãos no trecho horizontal e turbulência gerada no fluxo vertical.

Os gráficos mostram uma diminuição da perda de carga ao longo do trecho vertical para maioria dos casos. A singularidade Tê Saída de lado de 60 mm apresenta os menores valores de pressão, comparado as outras singularidades utilizadas.

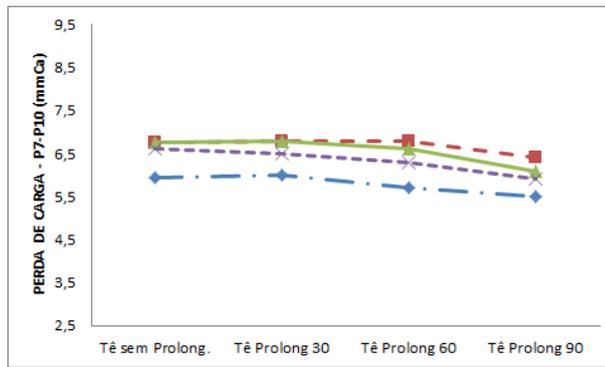
Na Figura 31, os gráficos representam o comportamento da perda de carga entre os pontos P7 a P10 para Vazão Mássica de grãos de milho a 0,0736 kg/s e as velocidades da mistura ar-milho de: 10,0 m/s (A), 11,29 m/s (B), 12,48 m/s (C), 13,34 m/s (D) e 14,36 m/s (E) para Tê sem prolongamento e nos prolongamento de 30, 60 e 90 mm, respectivamente. Os dados foram retirados das Tabelas D6, D7, D8, D9 e D10, apêndice D.



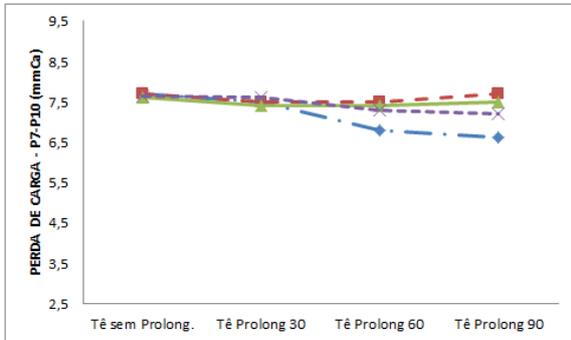
(A)



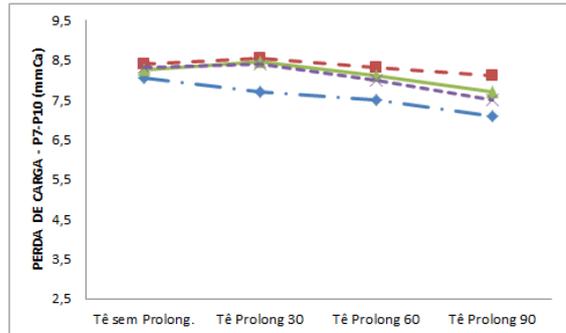
(B)



(C)



(D)



(E)

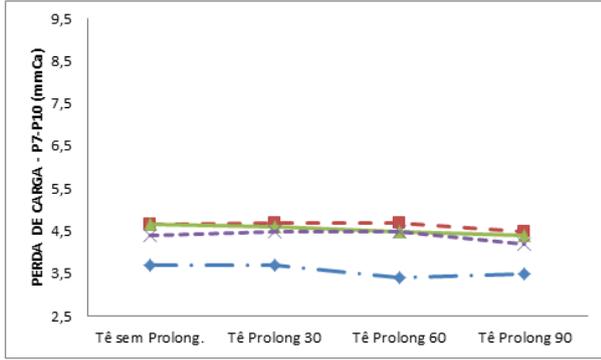
**Figura 31 – Curvas das Perdas de Carga no Trecho Vertical para Vazão Mássica de grão de milho a 0,0736 kg/s, nas velocidades de descarga (A) 10,00 m/s, (B) 11,29 m/s, (C) 12,48 m/s, (D) 13,34 m/s e (E) 14,36 m/s.**

Com o resultado dos gráficos agrupados na Figura 31, elaborados através das Tabelas D6, D7, D8, D9 e D10, observou-se a perda de carga no trecho vertical em função da velocidade mássica da mistura e uma diminuição nos pontos de pressão com a instalação dos prolongamentos, principalmente, nos Tê's de 60 e 90 mm em relação da curva de perda de carga para o Tê sem prolongamento e Tê de 30 mm.

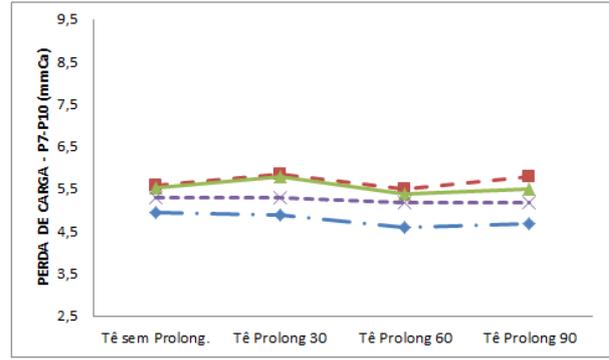
Os gráficos mostram uma diminuição da perda de carga ao longo do trecho vertical para maioria dos casos. A singularidade Tê Saída de lado de 60 mm apresenta os menores valores de pressão, comparado às outras singularidades utilizadas.

O comportamento da perda de carga na velocidade média de 10 m/s, mostra um distanciamento e aumento entre os pontos de pressão com a aplicação das singularidades.

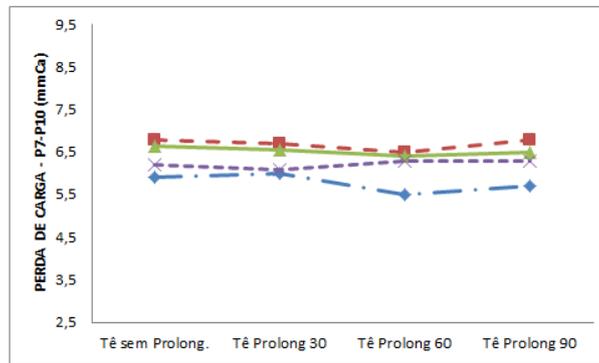
Na Figura 32, os gráficos representam o comportamento da perda de carga entre os pontos P7 a P10 para Vazão Mássica de grãos de milho a 0,1105 kg/s e as velocidades da mistura ar-milho de: 10,0 m/s (A), 11,29 m/s (B), 12,48 m/s (C), 13,34 m/s (D) e 14,36 m/s (E) para Tê sem prolongamento e nos prolongamentos de 30, 60 e 90 mm, respectivamente. Os dados foram retirados das Tabelas D11, D12, D13, D14 e D15, apêndice D.



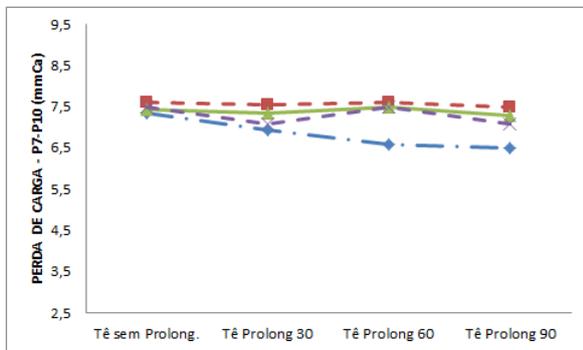
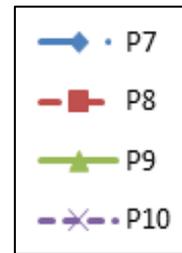
(A)



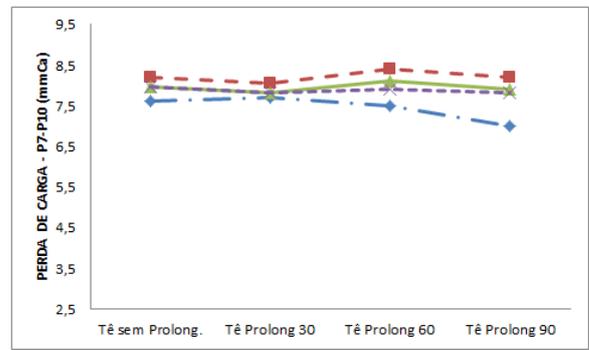
(B)



(C)



(D)



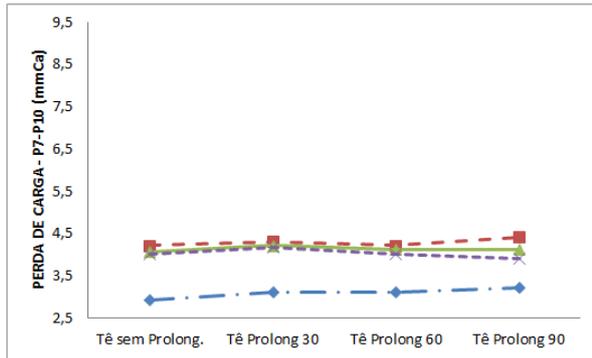
(E)

**Figura 32 – Curvas das Perdas de Carga no Trecho Vertical para Vazão Mássica de grão de milho a 0,1105 kg/s, nas velocidades de descarga (A) 10,00 m/s, (B) 11,29 m/s, (C) 12,48 m/s, (D) 13,34 m/s e (E) 14,36 m/s.**

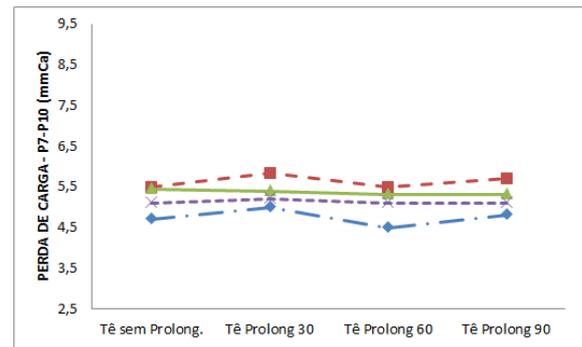
Com o resultado dos gráficos agrupados na Figura 32, elaborados pelas Tabelas D11, D12, D13, D14 e D15, observou-se a perda de carga no trecho vertical em função da velocidade mássica da mistura e pouca variação dos pontos de pressão com a instalação das singularidades na Unidade Piloto.

Os gráficos mostram um aumento da tomada de pressão (pontos P7, P8, P9 e P10), quando aplicado o aumento da velocidade da mistura ar-milho.

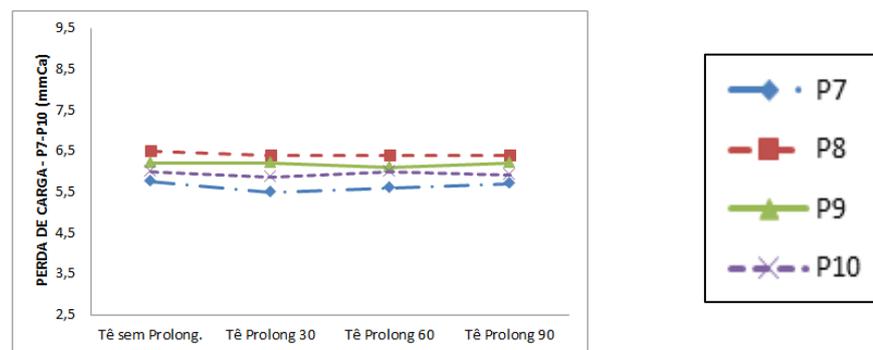
Na Figura 33, os gráficos representam o comportamento da perda de carga entre os pontos P7 a P10 para Vazão Mássica de grãos de milho a 0,1319 kg/s e as velocidades da mistura ar-milho de: 10,0 m/s (A), 11,29 m/s (B), 12,48 m/s (C), 13,34 m/s (D) e 14,36 m/s (E) para Tê sem prolongamento e nos prolongamentos de 30, 60 e 90 mm, respectivamente. Os dados foram retirados das Tabelas D16, D17, D18, D19 e D20, apêndice D.



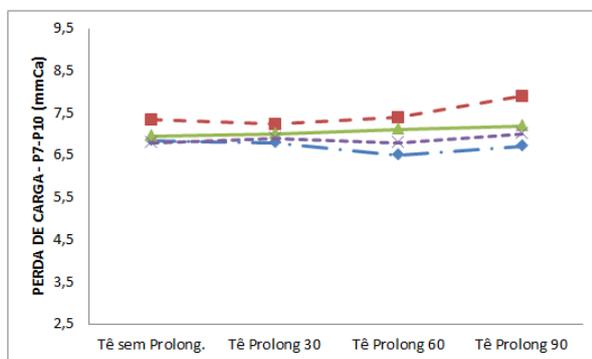
(A)



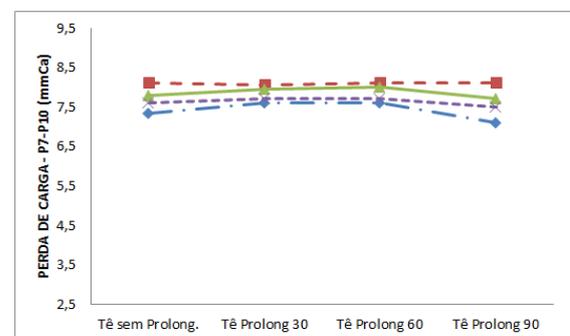
(B)



(C)



(D)



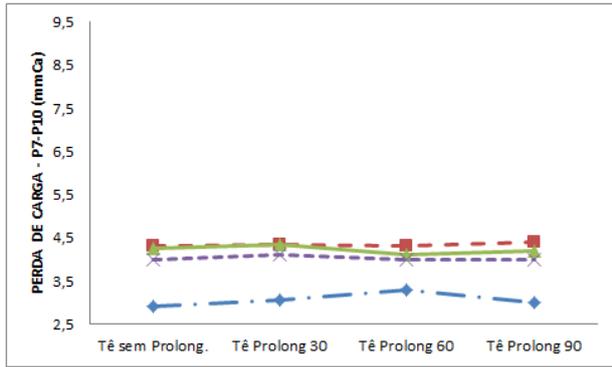
(E)

**Figura 33 – Curvas das Perdas de Carga no Trecho Vertical para Vazão Mássica de grão de milho a 0,1319 kg/s, nas velocidades de descarga (A) 10,00 m/s, (B) 11,29 m/s, (C) 12,48 m/s, (D) 13,34 m/s e (E) 14,36 m/s.**

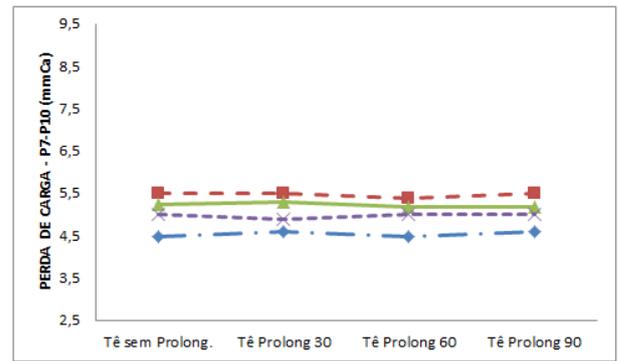
Com o resultado dos gráficos agrupados na Figura 33, elaborados através das Tabelas D16, D17, D18, D19 e D20, observou-se a perda de carga no trecho vertical em função da velocidade mássica da mistura e pouca variação dos pontos de pressão com a instalação das singularidades na Unidade Piloto.

Os gráficos mostram um aumento da tomada de pressão (pontos P7, P8, P9 e P10), quando aplicado o aumento da velocidade da mistura ar-milho.

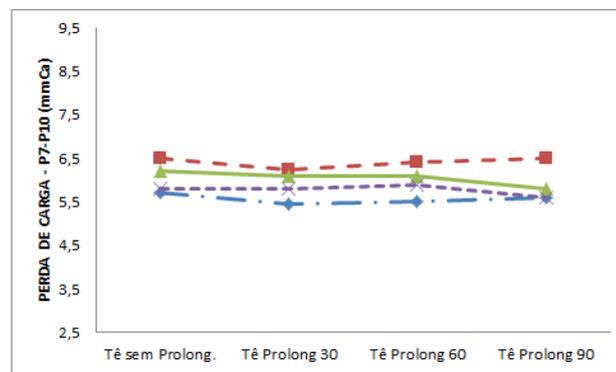
Na Figura 34, os gráficos representam o comportamento da perda de carga entre os pontos P7 a P10 para Vazão Mássica de grãos de milho a 0,1636 kg/s e as velocidades da mistura ar-milho de: 10,0 m/s (A), 11,29 m/s (B), 12,48 m/s (C), 13,34 m/s (D) e 14,36 m/s (E) para Tê sem prolongamento e nos prolongamento de 30, 60 e 90 mm, respectivamente. Os dados foram retirados das Tabelas D21, D22, D23, D24 e D25, apêndice D.



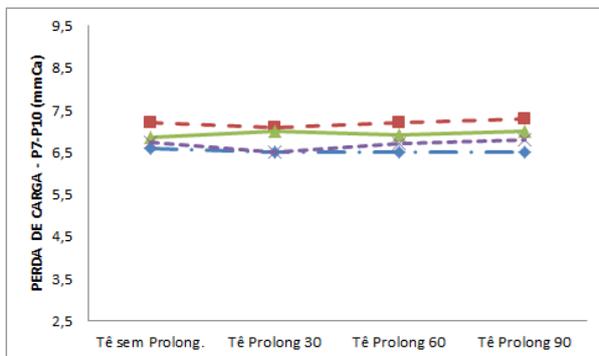
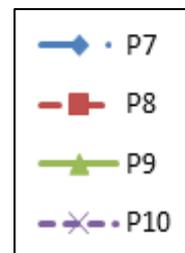
(A)



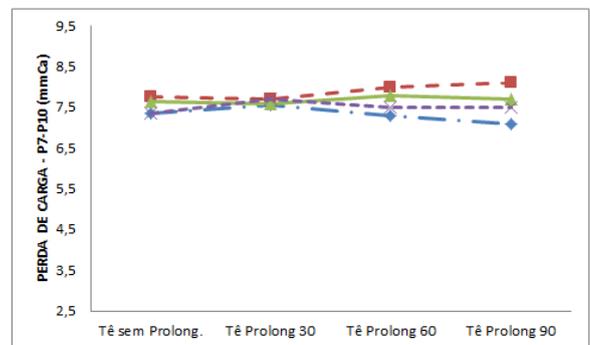
(B)



(C)



(D)



(E)

**Figura 34 – Curvas das Perdas de Carga no Trecho Vertical para Vazão Mássica de grão de milho a 0,1646 kg/s, nas velocidades de descarga (A) 10,00 m/s, (B) 11,29 m/s, (C) 12,48 m/s, (D) 13,34 m/s e (E) 14,36 m/s.**

Com o resultado dos gráficos agrupados na Figura 34, elaborados através das Tabelas D21, D22, D23, D24 e D25, observou-se a perda de carga no trecho vertical em função da velocidade mássica da mistura e pouca variação dos pontos de pressão com a instalação das singularidades na Unidade Piloto.

Os gráficos mostram um aumento da tomada de pressão (pontos P7, P8, P9 e P10), quando aplicado o aumento da velocidade da mistura ar-milho.

#### 4.4.3 Determinação do Fator K e a Perda de Carga Equivalente

O resultado que concerne à obtenção do coeficiente multiplicador K da carga cinética da expressão geral da perda de carga localizada foi obtido na aplicação da Equação 26.

Aplicando para vazão mássica de 0,0495 kg/s, Tê sem prolongamento, velocidade média de ar no duto de descarga de 10,0 m/s e frequência do inversor de 30 Hz, tem-se a perda de carga localizada de 33 mmca. Desta forma, o coeficiente K resultado da Equação 26 estão agrupadas nas Tabelas B1 à B20, apêndice B deste trabalho. Para os resultados, foram considerados todas as variáveis de Vazão do ar e Vazão mássica do sólido, nas singularidades Tê sem prolongamento e Tê com prolongamentos de 30, 60 e 90 mm.

$$K = \frac{33 \text{ mmca}}{1,2 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^3}} \frac{2,9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{\left(10,0 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2} \frac{1 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}}{0,1 \text{ mmca}} \frac{1 \text{ kgf}}{9,81 \text{ N}} = 5,50 \quad (26)$$

O valor médio de K nas 5 (cinco) velocidades da mistura ar-sólido estudadas podem ser vistos na Tabela 11. Os dados foram agrupados a partir das Tabelas B1 à B20, apêndice B.

**Tabela 11 – Médias do coeficiente K, nas velocidades médias da mistura ar-sólido estudadas.**

Vazão da mistura Ar-Sólidos (kg/s)	Tê sem Prolongamento	Tê Prolongamento de 30 mm	Tê Prolongamento de 60 mm	Tê Prolongamento de 90 mm
0,0495	3,42	3,00	3,92	3,47
0,0736	3,75	4,17	3,53	3,80
0,1105	3,42	3,75	3,75	3,32
0,1319	3,64	3,75	3,64	3,32
0,1646	3,85	3,85	3,42	3,42
<b>Média Coeficiente K</b>	<b>3,64</b>	<b>3,75</b>	<b>3,64</b>	<b>3,42</b>

O valor médio de K, considerando as 5 (cinco) velocidades mássicas dos grãos de milho estudadas podem ser vistos na Tabela 12 abaixo. Os dados foram agrupados à partir das Tabelas B1 à B20, apêndice B.

**Tabela 12 – Médias do coeficiente K, nas velocidades mássicas do sólido**

Velocidade Média no Duto de Descarga (m/s)	Tê sem Prolongamento	Tê Prolongamento de 30 mm	Tê Prolongamento de 60 mm	Tê Prolongamento de 90 mm
10,00	6,03	6,20	5,77	6,23
11,29	4,45	4,26	4,50	4,42
12,48	3,62	3,70	3,68	3,34
13,34	2,81	3,07	3,03	3,20
14,36	2,59	2,60	2,57	3,14
<b>Média Coeficiente K</b>	<b>3,62</b>	<b>3,70</b>	<b>3,68</b>	<b>3,34</b>

Na análise das curvas de perda de carga, o Tê com prolongamento de 30 mm gerou uma maior turbulência e um maior coeficiente K. Neste caso, recomendam-se o prolongamento de 90 mm (K de 3,42, média das velocidades ar-sólido e K de 3,34,

média das vazões mássicas de sólido) e em consequência uma menor perda de carga pela formação de uma pseudo-curva formada pelos pellets.

Considerando que a Unidade Piloto foi projetada para a vazão de polipropileno, (MORAES, 2012), a maior velocidade aplicada foi de 21,39 m/s e a maior vazão mássica de sólido aplicado foi de 0,233 kg/s. O K médio nas cinco velocidades, para Tê com prolongamento de 90 mm foi  $K = 1,5$ .

Aplicando as mesmas vazões e velocidades, o K aproximado para Tê prolongamento de 90 mm, está estimado em  $K = 1,908$ . Este dado corresponde a um aumento de 27,2 % na perda de carga singular. Este aumento está relacionado principalmente com a geometria e diâmetro dos grãos de milho, que causam uma maior turbulência no duto da Unidade Piloto.

## 5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES

Os dados obtidos na Unidade Piloto para o transporte de grãos de milho pelo método de Transporte Pneumático em Fase Diluída, nos pontos de pressões P1 a P7, determinaram conclusões importantes no comportamento das variáveis do processo, tais como:

- a) O aumento da velocidade da mistura ar sólidos, gerou um aumento nos pontos de tomada de pressão, porém as perdas de carga entre os pontos diminuíram sensivelmente.
- b) A aplicação da singularidade Tê saída de lado com prolongamentos apresentou um declínio na perda de carga singular, devido a diminuição do atrito entre os grãos e a parede do equipamento ocupada por grãos acumulados. Este acúmulo formou um “colchão” de grãos de milho, amortecendo o impacto e criando um fluxo uniforme da mistura ar-milho.

Esta pesquisa realizada no Laboratório de Operações Unitárias da UNISANTA, na Unidade Experimental de Transporte Pneumático, permitiu obter dados significativos, das quais podemos concluir que:

- a) A velocidade de operação, abaixo de 15 m/s, aplicada para os grãos de milho nesta Unidade Experimental, não influenciou no resultado obtido devido à geometria e à densidade do milho utilizado neste experimento.
- b) O comportamento da perda de carga no trecho horizontal e vertical promoveu um declínio com a instalação dos prolongamentos, ficando claro que no prolongamento de 60 mm a queda de pressão e o comportamento foi menor nas velocidades média de ar de 13,34 e 14.36 m/s.
- c) A constante de perda de carga (K), com a utilização dos Tê's saída de lado sem prolongamento e os prolongamentos de 30, 60 e 90 mm está condizente com a literatura apresentada.

Como aplicação para novos trabalhos científicos e sugestão de continuidade da linha de pesquisa com a unidade piloto, sugere-se:

- a) Aumento da vazão de ar com aplicação de um novo motor elétrico, e em consequência o aumento da vazão mássica de sólidos, ou aumentar a rotação do ventilador com a instalação de uma polia menor conectada à atual.
- b) Quantificar as perdas de carga, comprimento equivalente e valor do coeficiente K no trecho, para diferentes condições do fluido de transporte como temperatura, umidade e vazão.
- c) Determinar a distribuição dos grãos de milho no intuito de entender o comportamento da distribuição das partículas no trecho vertical e horizontal.
- d) A utilização de outro tipo de singularidade como: curvas de  $90^\circ$  e  $45^\circ$  comparando com a literatura.
- e) Estudar a degradação dos grãos de milhos na aplicação de singularidades, como meio de apresentar melhorias no transporte destes grãos.
- f) Realizar um estudo aprofundado de viabilidade econômica, na utilização de transportadores pneumáticos, comparando com outros métodos de transporte.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BITENCOURT, L. L.; **Substituição de milho moído reidratado e ensilado ou melaço de soja em vacas leiteiras**, Tese Doutorado – Universidade Federal de Lavras, 2012.

BORTOLAIA, L. A.; ANDRIGHETTO, P. L.; BENATTI, M.. **Avaliação Técnica de um Transportador Pneumático de Grãos por Aspiração**. *Ciência Rural*, Santa Maria. 38:(2); março/abril. Disponível em: < <http://scielo.br> > Acesso em: 01.06.2015.

COSTA, E. C da, **Ventilação**. São Paulo: Edgard Blücher, 2005.

CRUZ, F.D.R., **Transporte pneumático de granulados em fase diluída**. Coimbra, 2013. 111f. (Dissertação). Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, 2013.

Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA). Milho - **Análise da Conjuntura Agropecuária**, Outubro 2012.

DICKOW, S. R., **Dimensionamento de transportador pneumático para resíduos de cereais**. 2013. 66fls. Trabalho de Conclusão de Curso (Monografia). Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUI Panambi, 2013. 66fs. Disponível em: <http://www.bibliodigital.unijui.edu.br:8080>. Acesso em: 1.06.2015.

DYNAMIC AIR CONVEYING SYSTEMS, **Princípios Fundamentais do transporte pneumático**. 2015. Disponível em <http://www.dynamicair.com/br/systems.html>. Acesso em 08.10.2015

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, **Cultivo do Milho**. ISSN 1679-012X. 2011, Disponível em: [http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milho\\_7\\_ed/mercado.htm](http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milho_7_ed/mercado.htm) Acesso em 15.06.2015.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Produção de Milho na Agricultura Familiar**. ISSN 1679-1150. 2011, Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/905143/1/circ159.pdf> Acesso em 15.06.2015.

FAO (Food and Agriculture Organization of United Nations). **Agricultural Outlook Statistical**. Disponível em <[www.fao.org/home/en](http://www.fao.org/home/en)> Acesso em 03/06/2015.

GOMIDE, R. **Operações Unitárias: Operações com Sistemas Granulares**, 1983. São Paulo. V.1.

HOOPER, B. W.; **Chemical Engineering**, August 24, 1981.

JONES M. Pneumatic Conveying – Handbook of Power Science, 1988

KLINZING, GE., RIZK F., MARCUS R., LEUNG L.S. **Pneumatic Conveying of Solids. A Theoretical and Practical Approach.** Third Edition. Springer Dordrecht Heidelberg London New York, 2009.

MAGALHÃES, A. C., **Desenvolvimento e Avaliação de uma Máquina Recolhedora de Café em Terreiro Utilizando Transporte Pneumático.** Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal de Viçosa, 2003.

MARCUS, R.D.; LEUNG L.S., KLINZING G.E.; RIZK F – **Pneumatic Conveying of Solid.** London: Chapman and Hall. 2010

MARCUS R. D., LEUNG L. S., KLINZING G. E., RIZK F. **Pneumatic conveying of solids,** London: Chapman and Hall, 1990, 455p.

MILLS D. (2004). **Pneumatic Conveying Design Guide.** Second Edition. Elsevier Butterworth-Heinemann, 2004.

**MINISTÉRIO DA AGRICULTURA.** Disponível em:  
<<http://www.agricultura.gov.br/vegetal/culturas/milho>>. Acesso em: 27 maio 2015.

MOISES, R. **O transporte pneumático na indústria de alimentos,** 2014. Disponível em: <http://www.pt.scribd.com>. Acesso em 18.06.2015.

MORAES, M. S. de, **Convecção forçada de partículas poliméricas em fase diluída: Curvas de pressão e distribuição de partículas** (Tese Doutorado), UNICAMP, Campinas, 2012.

MORAES, Jr. D.; SILVA, E. L.; MORAES, M. S.; **Aplicações de Estática e Dinâmica dos Fluidos,** Santos: UNISANTA, 2011

NONNENMACHER, H. **Curso de transporte pneumático.** Santa Maria: FATEC, 1994. 71p.

NOVAIS JÚNIOR, N. **Economia Agrícola da Produção de Milho nos EUA e suas implicações para o Brasil GT 6 – Economia Agrícola e do Meio Ambiente.** IV Semana do Economista. IV Encontro de Egressos. 07 a 10 de outubro de 2014. Universidade Estadual de Santa Cruz – UESC Ilhéus - Bahia

PAIXÃO, A. E. A. **Modelagem do Transporte Pneumático Vertical em Fase Diluída: Aplicações em Transferência de Calor e Secagem.** (Tese de Doutorado), UNICAMP, Campinas, 1995.

PERRY R. H., GREEN D. W., MALONEY J. O., **Perry's Chemical Engineers' Handbook,** 7ed, New York, McGraw-Hill, 1997

PERRY, RH. **Chemical Engineers' Handbook.** 7ª. Ed. Nova York: McGraw-Hill, 1999.

RIBEIRO, D. S. **Transporte Pneumático – Tecnologia, projetos e aplicações na indústria e nos serviços,** ARTLIBER, 2005.

RHODES, M. **Transporte Pneumático de Partículas**. Department of Chemical Engineering Monash University, Melbourne, Australia, 2004. Tradução para o português: Prof. Lair Pereira de Carvalho - DEQ-UFRN. Disponível em: <http://www.ufrnet.ufm.br>. Acesso em: 05.06.2015.

ROBERTS, J. T. **Splitting Techniques in Vertical Pneumatic Conveying**. PhD thesis of University of Nottingham, 2007.

SANTOS, S. M.; TAMBOURGI, E. B.; FERNANDES, F. A. N.; MORAES, D. J.; MORAES, M. S; **Dilute-phase pneumatic conveying of polystyrene particles: Pressure drop curve and particle distribution over the pipe cross-section. Brazilian Journal of Chemical Engineering**, v.28, No. 01, p. 81-88, January-March. 2011

SANTOS, S. M. **Projeto e montagem de unidade piloto de transporte pneumático em fase diluída para estudo da distribuição de partículas granulares**. (Tese de Doutorado). UNICAMP, Campinas, 2009

SCHULZE, D. **Powders and Bulk Solids - Behavior, Characterization, Storage and Flow**. Springer Dordrecht Heidelberg London New York, 2008.

SILVA, C S; MENTEN, J. F. M; TRALDI, A. B.; SANTAROSA, J.; PEREIRA, P. W. Z.; **Avaliação de Milhos de diferentes densidades para frangos de corte**. Departamento de Zootecnia, Universidade de São Paulo, 2011.

SOUZA, D. V. de; FRANÇA, A. V. A. de; LOPES, F. C. F.; COSTA, L.; **Estudo da perda de carga em uma unidade piloto de transporte pneumático em fase diluída**. Anais do Conic-Semesp. 2013 - Faculdade Anhanguera de Campinas - Unidade 3. ISSN 2357-8904.

USP – ESALQ. **Análises Completas de Logística Agroindustrial (ESALQ-LOG)**, Universidade de São Paulo 2012, Disponível em: <http://www5.usp.br/4844/grupo-da-esalq-faz-analises-completas-de-logistica-para-a-agroindustria> . Acesso em: 30.05.2015.

**Transporte pneumático no processamento de alimentos**. Disponível em: [www.abgtecalim.yolasite.com/.../Transporte%20Pneumático](http://www.abgtecalim.yolasite.com/.../Transporte%20Pneumático)

USDA (United States Department of Agriculture). **Agricultural Baseline Database**. Disponível em <[www.usda.gov](http://www.usda.gov)> Acesso em 13/03/2015.

WEBER, E.A. **Excelência em beneficiamento e armazenagem de grãos**. Canoas: Salles, 2005. 586p.

### Sites consultados

[www.agroanalysis.com.br](http://www.agroanalysis.com.br). **Mercado & Negócios.**

[www.pioneersementes.com.br/Media-Center/.../Detalhe-do-Artigo.aspx?](http://www.pioneersementes.com.br/Media-Center/.../Detalhe-do-Artigo.aspx?).

**O milho no Brasil, sua importância e evolução**

## APÊNDICE A

As tabelas de A1 até A20 referenciam às pressões no banco de tubos em “U” da Unidade Experimental, a vazão mássica dos grãos de milho e a velocidade da válvula rotativa através do potenciômetro. A distância entre as tomadas de pressão P3 e P6, duto horizontal e Figura 19, é de 1,647 m; entre P6 e P7, equivalência Tê saída de lado e Figura 23, é de 0,485 m; e entre P7 e P10, duto vertical e Figura 20, é de 1,275 m e a distância total (P3 até P10) é igual a 3,407 m.

**Tabela A1 – Pressões no Banco de Tubos em “U” de P1 até P10 em função da Velocidade Média no Duto de Descarga – 10,00 m/s, com Tê sem prolongamento.**

Velocidade Média no Duto de Descarga - 10,0 m/s - TÊ Sem Prolongamento										
Vazão Mássica do Milho (kg/s)	Pressão (mmca)									
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10
0,0495	8,3	7,9	7,4	7,4	7,4	7,0	3,7	5,0	5,0	4,9
0,0736	8,9	8,4	7,8	7,8	7,4	7,4	4,8	4,9	4,9	4,6
0,1105	8,8	8,4	7,8	7,8	7,8	7,5	3,7	4,7	4,7	4,4
0,1319	9,1	8,8	8,0	8,0	7,7	7,2	2,9	4,2	4,1	4,0
0,1646	9,0	8,8	7,9	7,9	7,6	7,0	2,9	4,3	4,3	4,0

**Tabela A2 – Pressões no Banco de Tubos em “U” de P1 até P10 em função da Velocidade Média no Duto de Descarga – 11,29 m/s, com Tê sem prolongamento.**

Velocidade Média no Duto de Descarga - 11,29 m/s - TÊ Sem Prolongamento										
Vazão Mássica do Milho (kg/s)	Pressão (mmca)									
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10
0,0495	10,0	9,2	8,5	8,4	8,5	8,0	4,8	6,0	5,7	5,7
0,0736	9,8	9,3	8,5	8,3	8,2	8,2	4,8	5,7	5,6	5,4
0,1105	9,9	9,4	8,6	8,5	8,4	8,2	5,0	5,6	5,6	5,3
0,1319	10,1	9,6	8,6	8,6	8,5	8,1	4,7	5,5	5,5	5,1
0,1646	10,3	9,7	8,8	8,2	8,6	8,3	4,5	5,5	5,3	5,0

**Tabela A3 – Pressões no Banco de Tubos em “U” de P1 até P10 em função da Velocidade Média no Duto de Descarga – 12,48 m/s, com Tê sem prolongamento.**

Velocidade Média no Duto de Descarga - 12,48 m/s - TÊ Sem Prolongamento										
Vazão Mássica do Milho (kg/s)	Pressão (mmca)									
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10
0,0495	11,3	10,7	10,1	10,5	9,7	9,9	6,7	7,3	7,2	6,8
0,0736	11,2	10,5	10,2	10,0	10,1	9,5	6,0	6,8	6,8	6,6
0,1105	11,2	10,8	9,9	9,5	9,5	9,1	5,9	6,8	6,7	6,2
0,1319	11,2	10,8	10,0	9,6	9,6	9,2	5,8	6,5	6,2	6,0
0,1646	11,5	10,9	9,7	9,7	9,7	9,3	5,7	6,5	6,2	5,8

**Tabela A4 – Pressões no Banco de Tubos em “U” de P1 até P10 em função da Velocidade Média no Duto de Descarga – 13,34 m/s, com Tê sem prolongamento.**

Velocidade Média no Duto de Descarga - 13,34 m/s - TÊ Sem Prolongamento										
Vazão Mássica do Milho (kg/s)	Pressão (mmca)									
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10
0,0495	12,4	11,1	11,0	11,0	10,6	10,8	8,6	8,5	8,0	8,2
0,0736	12,4	11,8	11,0	11,3	10,8	10,3	7,7	7,7	7,6	7,7
0,1105	12,6	11,7	10,9	10,9	10,5	10,1	7,4	7,6	7,5	7,1
0,1319	12,5	11,6	10,7	10,3	10,3	10,0	6,9	7,4	7,0	6,8
0,1646	12,7	11,9	10,6	10,5	10,3	10,0	6,6	7,2	6,9	6,8

**Tabela A5 – Pressões no Banco de Tubos em “U” de P1 até P10 em função da Velocidade Média no Duto de Descarga – 14,36 m/s, com Tê sem prolongamento.**

Velocidade Média no Duto de Descarga - 14,36 m/s - TÊ Sem Prolongamento										
Vazão Mássica do Milho (kg/s)	Pressão (mmca)									
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10
0,0495	13,7	12,9	11,9	12,1	11,7	11,7	8,9	9,2	9,1	8,8
0,0736	13,6	12,8	12,0	11,9	11,3	11,2	8,1	8,4	8,3	8,3
0,1105	13,6	12,9	11,7	11,8	11,5	11,0	7,6	8,2	8,0	8,0
0,1319	13,5	13,0	11,6	11,4	11,2	11,0	7,4	8,1	7,8	7,6
0,1646	13,5	12,9	11,5	11,4	11,2	10,5	7,4	7,8	7,7	7,4

**Tabela A6 – Pressões no Banco de Tubos em “U” de P1 até P10 em função da Velocidade Média no Duto de Descarga – 10,00 m/s, e Tê com prolongamento de 30 mm.**

Velocidade Média no Duto de Descarga - 10,0 m/s - TÊ Prolongamento 30 mm										
Vazão Mássica do Milho (kg/s)	Pressão (mmca)									
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10
0,0495	8,7	8,2	7,7	7,8	7,5	7,1	4,0	5,3	5,3	4,9
0,0736	8,8	8,4	7,7	7,8	7,5	7,3	3,6	4,9	4,7	4,5
0,1105	8,9	8,5	8,0	7,9	7,8	7,3	3,7	4,7	4,6	4,5
0,1319	9,2	8,9	8,2	8,1	8,0	7,3	3,1	4,3	4,2	4,2
0,1646	9,2	8,9	8,1	8,1	8,0	7,1	3,1	4,4	4,4	4,1

**Tabela A7 – Pressões no Banco de Tubos em “U” de P1 até P10 em função da Velocidade Média no Duto de Descarga – 11,29 m/s, e Tê com prolongamento de 30 mm.**

Velocidade Média no Duto de Descarga - 11,29 m/s - TÊ Prolongamento 30 mm										
Vazão Mássica do Milho (kg/s)	Pressão (mmca)									
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10
0,0495	10,0	9,4	8,7	8,7	8,7	8,3	5,6	6,1	6,7	5,8
0,0736	10,1	9,5	8,7	8,7	8,6	8,4	4,9	5,8	6,0	5,6
0,1105	10,2	9,6	8,9	8,6	8,4	8,2	4,9	5,9	5,8	5,3
0,1319	10,2	9,5	8,7	8,5	8,5	8,1	5,0	5,9	5,4	5,2
0,1646	10,2	9,7	8,8	8,6	8,5	8,3	4,6	5,5	5,3	4,9

**Tabela A8 – Pressões no Banco de Tubos em “U” de P1 até P10 em função da Velocidade Média no Duto de Descarga – 12,48 m/s, e Tê com prolongamento de 30 mm.**

Velocidade Média no Duto de Descarga - 12,48 m/s - TÊ Prolongamento 30 mm										
Vazão Mássica do Milho (kg/s)	Pressão (mmca)									
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10
0,0495	11,2	10,6	10,0	10,1	9,9	9,5	6,7	7,5	7,2	6,9
0,0736	11,1	10,8	10,0	10,1	10,0	9,9	6,0	6,8	6,8	6,5
0,1105	11,2	10,7	9,9	9,6	9,2	9,5	6,0	6,8	6,6	6,1
0,1319	11,0	10,6	9,5	9,3	9,2	9,0	5,5	6,4	6,2	5,9
0,1646	11,2	10,6	9,6	9,4	9,2	9,1	5,5	6,3	6,1	5,8

**Tabela A9 – Pressões no Banco de Tubos em “U” de P1 até P10 em função da Velocidade Média no Duto de Descarga – 13,34 m/s, e Tê com prolongamento de 30 mm.**

Velocidade Média no Duto de Descarga - 13,34 m/s - TÊ Prolongamento 30 mm										
Vazão Mássica do Milho (kg/s)	Pressão (mmca)									
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10
0,0495	12,2	11,5	11,0	11,2	10,8	10,6	7,5	8,2	8,3	7,6
0,0736	12,2	11,7	11,0	11,3	10,9	10,6	7,5	7,5	7,4	7,3
0,1105	12,5	11,9	10,7	10,6	10,5	10,0	7,0	7,6	7,4	7,1
0,1319	12,3	11,8	10,7	10,5	10,4	10,1	6,8	7,3	7,0	6,9
0,1646	12,4	11,8	10,6	10,4	10,2	10,0	6,5	7,1	7,0	6,5

**Tabela A10 – Pressões no Banco de Tubos em “U” de P1 até P10 em função da Velocidade Média no Duto de Descarga – 14,36 m/s, e Tê com prolongamento de 30 mm.**

Velocidade Média no Duto de Descarga - 14,36 m/s - TÊ Prolongamento 30 mm										
Vazão Mássica do Milho (kg/s)	Pressão (mmca)									
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10
0,0495	13,4	12,6	12,1	12,0	11,8	11,4	8,6	9,2	8,8	8,8
0,0736	13,3	12,8	11,7	11,8	11,4	11,2	7,7	8,6	8,5	8,4
0,1105	13,4	12,8	11,7	11,7	11,3	11,0	7,7	8,1	7,8	7,8
0,1319	13,4	12,9	11,5	11,3	11,1	10,9	7,6	8,1	8,0	7,5
0,1646	13,5	12,9	11,4	11,3	11,1	10,8	7,6	7,7	7,6	7,3

**Tabela A11 – Pressões no Banco de Tubos em “U” de P1 até P10 em função da Velocidade Média no Duto de Descarga – 10,00 m/s, e Tê com prolongamento de 60 mm.**

Velocidade Média no Duto de Descarga - 10,0 m/s - TÊ Prolongamento 60 mm										
Vazão Mássica do Milho (kg/s)	Pressão (mmca)									
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10
0,0495	8,4	7,9	7,5	7,3	7,2	6,8	3,8	4,6	4,8	4,8
0,0736	8,6	8,3	7,4	7,4	7,3	7,2	3,2	5,2	4,7	4,5
0,1105	8,7	8,5	7,7	7,5	7,5	7,2	3,4	4,7	4,5	4,5
0,1319	9,3	8,7	7,8	7,6	7,5	6,5	3,1	4,2	4,1	4,0
0,1646	8,5	8,3	7,9	7,7	6,9	6,4	3,3	4,3	4,1	4,0

**Tabela A12 – Pressões no Banco de Tubos em “U” de P1 até P10 em função da Velocidade Média no Duto de Descarga – 11,29 m/s, e Tê com prolongamento de 60 mm.**

Velocidade Média no Duto de Descarga - 11,29 m/s - TÊ Prolongamento 60 mm										
Vazão Mássica do Milho (kg/s)	Pressão (mmca)									
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10
0,0495	9,2	9,0	8,5	8,0	8,0	7,8	4,8	6,0	5,8	5,7
0,0736	9,7	9,4	8,5	8,5	8,4	8,3	4,6	5,7	5,5	5,3
0,1105	9,4	8,5	8,5	8,2	8,2	8,0	4,6	5,5	5,4	5,2
0,1319	10,0	9,8	8,8	8,4	8,2	8,0	4,5	5,5	5,3	5,1
0,1646	9,9	9,6	8,7	8,4	8,3	8,1	4,5	5,4	5,2	5,0

**Tabela A13 – Pressões no Banco de Tubos em “U” de P1 até P10 em função da Velocidade Média no Duto de Descarga – 12,48 m/s, e Tê com prolongamento de 60 mm.**

Velocidade Média no Duto de Descarga - 12,48 m/s - TÊ Prolongamento 60 mm										
Vazão Mássica do Milho (kg/s)	Pressão (mmca)									
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10
0,0495	10,9	10,4	9,7	9,5	9,4	9,3	5,5	7,0	6,8	6,7
0,0736	11,0	10,5	9,9	9,5	9,3	9,0	5,7	6,8	6,6	6,3
0,1105	11,1	10,4	9,5	9,3	9,1	9,0	5,5	6,5	6,4	6,3
0,1319	11,1	10,5	9,5	9,3	9,1	9,0	5,6	6,4	6,1	6,0
0,1646	11,2	10,5	9,6	9,4	9,2	8,7	5,5	6,4	6,1	5,9

**Tabela A14 – Pressões no Banco de Tubos em “U” de P1 até P10 em função da Velocidade Média no Duto de Descarga – 13,34 m/s, e Tê com prolongamento de 60 mm.**

Velocidade Média no Duto de Descarga - 13,34 m/s - TÊ Prolongamento 60 mm										
Vazão Mássica do Milho (kg/s)	Pressão (mmca)									
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10
0,0495	12,1	11,7	10,6	10,3	10,3	10,1	7,0	7,8	7,6	7,6
0,0736	12,5	11,6	10,6	10,5	10,3	9,9	6,8	7,5	7,4	7,3
0,1105	12,2	11,5	10,4	10,3	10,2	9,8	6,6	7,6	7,5	7,5
0,1319	12,2	11,7	10,4	10,2	10,1	10,0	6,5	7,4	7,1	6,8
0,1646	12,3	11,7	10,2	10,1	10,0	9,8	6,5	7,2	6,9	6,7

**Tabela A15 – Pressões no Banco de Tubos em “U” de P1 até P10 em função da Velocidade Média no Duto de Descarga – 14,36 m/s, e Tê com prolongamento de 60 mm.**

Velocidade Média no Duto de Descarga - 14,36 m/s - TÊ Prolongamento 60 mm										
Vazão Mássica do Milho (kg/s)	Pressão (mmca)									
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10
0,0495	13,4	12,6	12,7	11,2	11,2	11,0	8,0	8,6	8,4	8,3
0,0736	13,3	12,5	11,5	11,4	11,1	10,8	7,5	8,3	8,1	8,0
0,1105	13,3	12,6	11,4	11,2	11,0	10,8	7,5	8,4	8,1	7,9
0,1319	13,2	12,5	11,6	10,8	10,8	10,5	7,6	8,1	8,0	7,7
0,1646	13,3	12,7	11,4	11,2	10,9	10,7	7,3	8,0	7,8	7,5

**Tabela A16 – Pressões no Banco de Tubos em “U” de P1 até P10 em função da Velocidade Média no Duto de Descarga – 10,00 m/s, e Tê com prolongamento de 90 mm.**

Velocidade Média no Duto de Descarga - 10,0 m/s - TÊ Prolongamento 90 mm										
Vazão Mássica do Milho (kg/s)	Pressão (mmca)									
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10
0,0495	8,5	8,4	7,7	7,4	7,3	7,0	3,5	5,5	5,2	5,0
0,0736	8,6	8,5	7,7	7,5	7,3	7,2	3,6	5,0	4,8	4,6
0,1105	8,7	8,5	8,4	8,0	7,6	7,5	3,5	4,5	4,4	4,2
0,1319	8,8	8,5	8,0	7,8	7,5	6,8	3,2	4,4	4,1	3,9
0,1646	8,7	8,5	7,7	7,6	7,4	7,0	3,0	4,4	4,2	4,0

**Tabela A17 – Pressões no Banco de Tubos em “U” de P1 até P10 em função da Velocidade Média no Duto de Descarga – 11,29 m/s, e Tê com prolongamento de 90 mm.**

Velocidade Média no Duto de Descarga - 11,29 m/s - TÊ Prolongamento 90 mm										
Vazão Mássica do Milho (kg/s)	Pressão (mmca)									
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10
0,0495	9,5	9,0	8,4	8,1	8,1	8,0	5,0	5,5	5,6	5,5
0,0736	9,6	9,4	8,7	8,6	8,4	8,4	4,8	6,0	5,6	5,5
0,1105	9,7	9,5	8,7	8,6	8,5	8,0	4,7	5,8	5,5	5,2
0,1319	9,8	9,5	8,7	8,6	8,5	8,3	4,8	5,7	5,3	5,1
0,1646	10,0	9,5	8,8	8,6	8,3	8,1	4,6	5,5	5,2	5,0

**Tabela A18 – Pressões no Banco de Tubos em “U” de P1 até P10 em função da Velocidade Média no Duto de Descarga – 12,48 m/s, e Tê com prolongamento de 90 mm.**

Velocidade Média no Duto de Descarga - 12,48 m/s - TÊ Prolongamento 90 mm										
Vazão Mássica do Milho (kg/s)	Pressão (mmca)									
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10
0,0495	10,5	10,0	9,7	9,6	9,2	9,0	6,0	7,2	7,0	6,8
0,0736	10,7	10,2	9,4	9,4	9,1	9,0	5,8	6,8	6,5	6,3
0,1105	10,8	10,5	9,6	9,0	8,9	8,8	5,7	6,8	6,5	6,3
0,1319	10,8	10,5	9,5	9,1	9,0	8,8	5,7	6,4	6,2	5,9
0,1646	11,0	10,5	9,6	9,3	9,0	8,8	5,6	6,5	5,8	5,6

**Tabela A19 – Pressões no Banco de Tubos em “U” de P1 até P10 em função da Velocidade Média no Duto de Descarga – 13,34 m/s, e Tê com prolongamento de 90 mm.**

Velocidade Média no Duto de Descarga - 13,34 m/s - TÊ Prolongamento 90 mm										
Vazão Mássica do Milho (kg/s)	Pressão (mmca)									
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10
0,0495	12,0	11,5	11,0	10,6	10,5	10,2	6,5	7,7	7,7	7,6
0,0736	12,2	11,6	10,5	10,5	10,4	10,2	6,6	7,7	7,5	7,2
0,1105	12,2	11,6	10,6	10,4	10,0	9,9	6,5	7,5	7,3	7,1
0,1319	12,1	11,5	10,5	10,3	10,2	9,8	6,7	7,9	7,2	7,0
0,1646	12,2	12,7	10,6	10,4	10,2	9,8	6,5	7,3	7,0	6,8

**Tabela A20 – Pressões no Banco de Tubos em “U” de P1 até P10 em função da Velocidade Média no Duto de Descarga – 14,36 m/s, e Tê com prolongamento de 90 mm.**

Velocidade Média no Duto de Descarga - 14,36 m/s - TÊ Prolongamento 90 mm										
Vazão Mássica do Milho (kg/s)	Pressão (mmca)									
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10
0,0495	13,3	12,6	11,5	11,5	11,3	11,0	7,1	8,5	8,5	8,3
0,0736	13,2	12,4	11,5	11,0	11,8	11,7	7,0	8,2	8,0	7,9
0,1105	13,3	12,5	11,4	11,0	11,0	10,6	7,0	8,2	7,9	7,8
0,1319	13,2	12,6	11,6	11,4	11,0	10,8	7,3	8,1	7,9	7,8
0,1646	13,5	12,8	11,7	11,5	11,4	10,8	7,1	8,1	7,7	7,5

## APÊNDICE B

As tabelas de B1 até B20 referenciam os valores do coeficiente K na Unidade Experimental às vazões mássicas dos grãos de milho e a velocidade da válvula rotativa através do potenciômetro.

**Tabela B1 – Calculo do Coeficiente K, entre os pontos P6 e P7, para Vazão Mássica de milho de 0,0495 kg/s e Tê sem prolongamento.**

<b>Vazão Mássica de Milho de 0,0495 kg/s - Tê Sem Prologamento</b>				
Velocidade Média no Duto de Descarga (m/s)	Pressão (mmca)			K (adimensional)
	P6	P7	Lw(6-7) = P6 - P7	
10,00	70,0	37,0	33,0	5,500
11,29	80,0	48,0	32,0	4,184
12,48	99,0	67,0	32,0	3,424
13,34	108,0	76,0	32,0	2,997
14,36	117,0	89,0	28,0	2,263

**Tabela B2 – Calculo do Coeficiente K, entre os pontos P6 e P7, para Vazão Mássica de milho de 0,0736 kg/s e Tê sem prolongamento.**

<b>Vazão Mássica de Milho de 0,0736 kg/s - Tê Sem Prologamento</b>				
Velocidade Média no Duto de Descarga (m/s)	Pressão (mmca)			K (adimensional)
	P6	P7	Lw(6-7) = P6 - P7	
10,00	74,0	48,0	26,0	4,333
11,29	82,0	48,0	34,0	4,446
12,48	95,0	60,0	35,0	3,745
13,34	103,0	77,0	26,0	2,435
14,36	112,0	81,0	31,0	2,506

**Tabela B3 – Calculo do Coeficiente K, entre os pontos P6 e P7, para Vazão Mássica de milho de 0,1105 kg/s e Tê sem prolongamento.**

<b>Vazão Mássica de Milho de 0,1105 kg/s - Tê Sem Prologamento</b>				
Velocidade Média no Duto de Descarga (m/s)	Pressão (mmca)			K (adimensional)
	P6	P7	Lw(6-7) = P6 - P7	
10,00	75,0	37,0	38,0	6,333
11,29	82,0	50,0	32,0	4,184
12,48	91,0	59,0	32,0	3,424
13,34	101,0	74,0	27,0	2,529
14,36	110,0	76,0	34,0	2,748

**Tabela B4 – Calculo do Coeficiente K, entre os pontos P6 e P7, para Vazão Mássica de milho de 0,1319 kg/s e Tê sem prolongamento.**

<b>Vazão Mássica de Milho de 0,1319 kg/s - Tê Sem Prologamento</b>				
Velocidade Média no Duto de Descarga (m/s)	Pressão (mmca)			K (adimensional)
	P6	P7	Lw(6-7) = P6 - P7	
10,00	72,0	29,0	43,0	7,167
11,29	81,0	47,0	34,0	4,446
12,48	92,0	58,0	34,0	3,638
13,34	100,0	69,0	31,0	2,903
14,36	110,0	74,0	36,0	2,910

**Tabela B5 – Calculo do Coeficiente K, entre os pontos P6 e P7, para Vazão Mássica de milho de 0,1646 kg/s e Tê sem prolongamento.**

<b>Vazão Mássica de Milho de 0,1646 kg/s - Tê Sem Prologamento</b>				
Velocidade Média no Duto de Descarga (m/s)	Pressão (mmca)			K (adimensional)
	P6	P7	Lw(6-7) = P6 - P7	
10,00	70,0	29,0	41,0	6,833
11,29	83,0	45,0	38,0	4,969
12,48	93,0	57,0	36,0	3,852
13,34	100,0	66,0	34,0	3,184
14,36	105,0	74,0	31,0	2,506

**Tabela B6 – Calculo do Coeficiente K, entre os pontos P6 e P7, para Vazão Mássica de milho de 0,0495 kg/s e Tê com prolongamento de 30 mm.**

<b>Vazão Mássica de Milho de 0,0495 kg/s - Tê Prologamento de 30 mm</b>				
Velocidade Média no Duto de Descarga (m/s)	Pressão (mmca)			K (adimensional)
	P6	P7	Lw(6-7) = P6 - P7	
10,00	71,0	40,0	31,0	5,167
11,29	83,0	56,0	27,0	3,530
12,48	95,0	67,0	28,0	2,996
13,34	106,0	75,0	31,0	2,903
14,36	114,0	86,0	28,0	2,263

**Tabela B7 – Calculo do Coeficiente K, entre os pontos P6 e P7, para Vazão Mássica de milho de 0,0736 kg/s e Tê com prolongamento de 30 mm.**

<b>Vazão Mássica de Milho de 0,0736 kg/s - Tê Prologamento de 30 mm</b>				
Velocidade Média no Duto de Descarga (m/s)	Pressão (mmca)			K (adimensional)
	P6	P7	Lw(6-7) = P6 - P7	
10,00	73,0	36,0	37,0	6,167
11,29	84,0	49,0	35,0	4,576
12,48	99,0	60,0	39,0	4,173
13,34	108,0	73,0	35,0	3,278
14,36	112,0	77,0	35,0	2,829

**Tabela B8 – Calculo do Coeficiente K, entre os pontos P6 e P7, para Vazão Mássica de milho de 0,1105 kg/s e Tê com prolongamento de 30 mm.**

<b>Vazão Mássica de Milho de 0,1105 kg/s - Tê Prologamento de 30 mm</b>				
Velocidade Média no Duto de Descarga (m/s)	Pressão (mmca)			K (adimensional)
	P6	P7	Lw(6-7) = P6 - P7	
10,00	73,0	37,0	36,0	6,000
11,29	82,0	49,0	33,0	4,315
12,48	95,0	60,0	35,0	3,745
13,34	100,0	70,0	30,0	2,810
14,36	110,0	77,0	33,0	2,667

**Tabela B9 – Calculo do Coeficiente K, entre os pontos P6 e P7, para Vazão Mássica de milho de 0,1319 kg/s e Tê com prolongamento de 30 mm.**

<b>Vazão Mássica de Milho de 0,1319 kg/s - Tê Prologamento de 30 mm</b>				
Velocidade Média no Duto de Descarga (m/s)	Pressão (mmca)			K (adimensional)
	P6	P7	Lw(6-7) = P6 - P7	
10,00	73,0	31,0	42,0	7,000
11,29	81,0	50,0	31,0	4,053
12,48	90,0	55,0	35,0	3,745
13,34	101,0	68,0	33,0	3,091
14,36	109,0	76,0	33,0	2,667

**Tabela B10 – Calculo do Coeficiente K, entre os pontos P6 e P7, para Vazão Mássica de milho de 0,1646 kg/s e Tê com prolongamento de 30 mm.**

<b>Vazão Mássica de Milho de 0,1646 kg/s - Tê Prologamento de 30 mm</b>				
Velocidade Média no Duto de Descarga (m/s)	Pressão (mmca)			K (adimensional)
	P6	P7	Lw(6-7) = P6 - P7	
10,00	71,0	31,0	40,0	6,667
11,29	83,0	46,0	37,0	4,838
12,48	91,0	55,0	36,0	3,852
13,34	100,0	65,0	35,0	3,278
14,36	108,0	76,0	32,0	2,586

**Tabela B11 – Calculo do Coeficiente K, entre os pontos P6 e P7, para Vazão Mássica de milho de 0,0495 kg/s e Tê com prolongamento de 60 mm.**

<b>Vazão Mássica de Milho de 0,0495 kg/s - Tê Prologamento de 60 mm</b>				
Velocidade Média no Duto de Descarga (m/s)	Pressão (mmca)			K (adimensional)
	P6	P7	Lw(6-7) = P6 - P7	
10,00	68,0	38,0	30,0	5,000
11,29	78,0	48,0	30,0	3,923
12,48	93,0	55,0	38,0	4,066
13,34	101,0	70,0	31,0	2,903
14,36	110,0	80,0	30,0	2,425

**Tabela B12 – Calculo do Coeficiente K, entre os pontos P6 e P7, para Vazão Mássica de milho de 0,0736 kg/s e Tê com prolongamento de 60 mm.**

<b>Vazão Mássica de Milho de 0,0736 kg/s - Tê Prologamento de 60 mm</b>				
Velocidade Média no Duto de Descarga (m/s)	Pressão (mmca)			K (adimensional)
	P6	P7	Lw(6-7) = P6 - P7	
10,00	72,0	32,0	40,0	6,667
11,29	83,0	46,0	37,0	4,838
12,48	90,0	57,0	33,0	3,531
13,34	99,0	68,0	31,0	2,903
14,36	108,0	75,0	33,0	2,667

**Tabela B13 – Calculo do Coeficiente K, entre os pontos P6 e P7, para Vazão Mássica de milho de 0,1105 kg/s e Tê com prolongamento de 60 mm.**

<b>Vazão Mássica de Milho de 0,1105 kg/s - Tê Prologamento de 60 mm</b>				
Velocidade Média no Duto de Descarga (m/s)	Pressão (mmca)			K (adimensional)
	P6	P7	Lw(6-7) = P6 - P7	
10,00	72,0	34,0	38,0	6,333
11,29	80,0	46,0	34,0	4,446
12,48	90,0	55,0	35,0	3,745
13,34	98,0	66,0	32,0	2,997
14,36	108,0	75,0	33,0	2,667

**Tabela B14 – Calculo do Coeficiente K, entre os pontos P6 e P7, para Vazão Mássica de milho de 0,1319 kg/s e Tê com prolongamento de 60 mm.**

<b>Vazão Mássica de Milho de 0,1319 kg/s - Tê Prologamento de 60 mm</b>				
Velocidade Média no Duto de Descarga (m/s)	Pressão (mmca)			K (adimensional)
	P6	P7	Lw(6-7) = P6 - P7	
10,00	65,0	31,0	34,0	5,667
11,29	80,0	45,0	35,0	4,576
12,48	90,0	56,0	34,0	3,638
13,34	100,0	65,0	35,0	3,278
14,36	105,0	76,0	29,0	2,344

**Tabela B15 – Calculo do Coeficiente K, entre os pontos P6 e P7, para Vazão Mássica de milho de 0,1646 kg/s e Tê com prolongamento de 60 mm.**

<b>Vazão Mássica de Milho de 0,1646 kg/s - Tê Prologamento de 60 mm</b>				
Velocidade Média no Duto de Descarga (m/s)	Pressão (mmca)			K (adimensional)
	P6	P7	Lw(6-7) = P6 - P7	
10,00	64,0	33,0	31,0	5,167
11,29	81,0	45,0	36,0	4,707
12,48	87,0	55,0	32,0	3,424
13,34	98,0	65,0	33,0	3,091
14,36	107,0	73,0	34,0	2,748

**Tabela B16 – Calculo do Coeficiente K, entre os pontos P6 e P7, para Vazão Mássica de milho de 0,0495 kg/s e Tê com prolongamento de 90 mm.**

<b>Vazão Mássica de Milho de 0,0495 kg/s - Tê Prologamento de 90 mm</b>				
Velocidade Média no Duto de Descarga (m/s)	Pressão (mmca)			K (adimensional)
	P6	P7	Lw(6-7) = P6 - P7	
10,00	70,0	35,0	35,0	5,833
11,29	80,0	50,0	30,0	3,923
12,48	90,0	60,0	30,0	3,210
13,34	102,0	65,0	37,0	3,465
14,36	110,0	71,0	39,0	3,152

**Tabela B17 – Calculo do Coeficiente K, entre os pontos P6 e P7, para Vazão Mássica de milho de 0,0736 kg/s e Tê com prolongamento de 90 mm.**

<b>Vazão Mássica de Milho de 0,0736 kg/s - Tê Prologamento de 90 mm</b>				
Velocidade Média no Duto de Descarga (m/s)	Pressão (mmca)			K (adimensional)
	P6	P7	Lw(6-7) = P6 - P7	
10,00	72,0	36,0	36,0	6,000
11,29	84,0	48,0	36,0	4,707
12,48	90,0	58,0	32,0	3,424
13,34	102,0	66,0	36,0	3,372
14,36	117,0	70,0	47,0	3,799

**Tabela B18 – Calculo do Coeficiente K, entre os pontos P6 e P7, para Vazão Mássica de milho de 0,1105 kg/s e Tê com prolongamento de 90 mm.**

<b>Vazão Mássica de Milho de 0,1105 kg/s - Tê Prologamento de 90 mm</b>				
Velocidade Média no Duto de Descarga (m/s)	Pressão (mmca)			K (adimensional)
	P6	P7	Lw(6-7) = P6 - P7	
10,00	75,0	35,0	40,0	6,667
11,29	80,0	47,0	33,0	4,315
12,48	88,0	57,0	31,0	3,317
13,34	99,0	65,0	34,0	3,184
14,36	106,0	70,0	36,0	2,910

**Tabela B19 – Calculo do Coeficiente K, entre os pontos P6 e P7, para Vazão Mássica de milho de 0,1319 kg/s e Tê com prolongamento de 90 mm.**

<b>Vazão Mássica de Milho de 0,1319 kg/s - Tê Prologamento de 90 mm</b>				
Velocidade Média no Duto de Descarga (m/s)	Pressão (mmca)			K (adimensional)
	P6	P7	$L_w(6-7) = P6 - P7$	
10,00	68,0	32,0	36,0	6,000
11,29	83,0	48,0	35,0	4,576
12,48	88,0	57,0	31,0	3,317
13,34	98,0	67,0	31,0	2,903
14,36	108,0	73,0	35,0	2,829

**Tabela B20 – Calculo do Coeficiente K, entre os pontos P6 e P7, para Vazão Mássica de milho de 0,1646 kg/s e Tê com prolongamento de 90 mm.**

<b>Vazão Mássica de Milho de 0,1646 kg/s - Tê Prologamento de 90 mm</b>				
Velocidade Média no Duto de Descarga (m/s)	Pressão (mmca)			K (adimensional)
	P6	P7	$L_w(6-7) = P6 - P7$	
10,00	70,0	30,0	40,0	6,667
11,29	81,0	46,0	35,0	4,576
12,48	88,0	56,0	32,0	3,424
13,34	98,0	65,0	33,0	3,091
14,36	108,0	71,0	37,0	2,990

## APÊNDICE C

As tabelas de C1 até C25 referenciam os valores e comportamento da Perda de Carga nos Pontos P1 à P6, trecho horizontal, determinando a Perda de Carga no tubo horizontal ( $L_h$ ) em função da singularidade Tê, sem prolongamento e com os prolongamentos de 30, 60 e 90 mm.

**Tabela C01 – Calculo da Perda de Carga no tubo Horizontal, entre os pontos P1 e P6, para Vazão Mássica de milho de 0,0495 kg/s e Velocidade do Ar com os Grãos de Milho de 10,0 m/s, nas singularidades sem prolongamento e com os prolongamentos de 30, 60 e 90 mm.**

PERDA DE CARGA - P1-P6 (mmca) - TRECHO HORIZONTAL - Vazão Mássica 0,0495 kg/s e Velocidade Média Descarga 10,0 m/s							
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	$L_{h1-6}$
Tê sem Prolong.	8,3	7,9	7,4	7,4	7,4	7,0	1,3
Tê Prolong 30	8,7	8,2	7,7	7,8	7,5	7,1	1,6
Tê Prolong 60	8,4	7,9	7,5	7,3	7,2	6,8	1,6
Tê Prolong 90	8,5	8,4	7,7	7,4	7,3	7,0	1,5

**Tabela C02 – Calculo da Perda de Carga no tubo Horizontal, entre os pontos P1 e P6, para Vazão Mássica de milho de 0,0495 kg/s e Velocidade do Ar com os Grãos de Milho de 11,29 m/s, nas singularidades sem prolongamento e com os prolongamentos de 30, 60 e 90 mm.**

PERDA DE CARGA - P1-P6 (mmca) - TRECHO HORIZONTAL - Vazão Mássica 0,0495 kg/s e Velocidade Média Descarga 11,29 m/s							
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	$L_{h1-6}$
Tê sem Prolong.	10,0	9,2	8,5	8,4	8,5	8,0	2,0
Tê Prolong 30	10,0	9,4	8,7	8,7	8,7	8,3	1,7
Tê Prolong 60	9,2	9,0	8,5	8,0	8,0	7,8	1,4
Tê Prolong 90	9,5	9,0	8,4	8,1	8,1	8,0	1,5

**Tabela C03 – Calculo da Perda de Carga no tubo Horizontal, entre os pontos P1 e P6, para Vazão Mássica de milho de 0,0495 kg/s e Velocidade do Ar com os Grãos de Milho de 12,48 m/s, nas singularidades sem prolongamento e com os prolongamentos de 30, 60 e 90 mm.**

PERDA DE CARGA - P1-P6 (mmca) - TRECHO HORIZONTAL - Vazão Mássica 0,0495 kg/s e Velocidade Média Descarga 12,48 m/s							
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	L <sub>h 1-6</sub>
Tê sem Prolong.	11,3	10,7	10,1	10,5	9,7	9,9	1,4
Tê Prolong 30	11,2	10,6	10,0	10,1	9,9	9,5	1,7
Tê Prolong 60	10,9	10,4	9,7	9,5	9,4	9,3	1,6
Tê Prolong 90	10,5	10,0	9,7	9,6	9,2	9,0	1,5

**Tabela C04 – Calculo da Perda de Carga no tubo Horizontal, entre os pontos P1 e P6, para Vazão Mássica de milho de 0,0495 kg/s e Velocidade do Ar com os Grãos de Milho de 13,34 m/s, nas singularidades sem prolongamento e com os prolongamentos de 30, 60 e 90 mm.**

PERDA DE CARGA - P1-P6 (mmca) - TRECHO HORIZONTAL - Vazão Mássica 0,0495 kg/s e Velocidade Média Descarga 13,34 m/s							
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	L <sub>h 1-6</sub>
Tê sem Prolong.	12,4	11,1	11,0	11,0	10,6	10,8	1,6
Tê Prolong 30	12,2	11,5	11,0	11,2	10,8	10,6	1,7
Tê Prolong 60	12,1	11,7	10,6	10,3	10,3	10,1	2,0
Tê Prolong 90	12,0	11,5	11,0	10,6	10,5	10,2	1,8

**Tabela C05 – Calculo da Perda de Carga no tubo Horizontal, entre os pontos P1 e P6, para Vazão Mássica de milho de 0,0495 kg/s e Velocidade do Ar com os Grãos de Milho de 14,36 m/s, nas singularidades sem prolongamento e com os prolongamentos de 30, 60 e 90 mm.**

PERDA DE CARGA - P1-P6 (mmca) - TRECHO HORIZONTAL - Vazão Mássica 0,0495 kg/s e Velocidade Média Descarga 14,36 m/s							
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	L <sub>h 1-6</sub>
Tê sem Prolong.	13,7	12,9	11,9	12,1	11,7	11,7	2,1
Tê Prolong 30	13,4	12,6	12,1	12,0	11,8	11,4	2,0
Tê Prolong 60	13,4	12,6	12,7	11,2	11,2	11,0	2,4
Tê Prolong 90	13,3	12,6	11,5	11,5	11,3	11,0	2,3

**Tabela C06 – Calculo da Perda de Carga no tubo Horizontal, entre os pontos P1 e P6, para Vazão Mássica de milho de 0,0736 kg/s e Velocidade do Ar com os Grãos de Milho de 10,0 m/s, nas singularidades sem prolongamento e com os prolongamentos de 30, 60 e 90 mm.**

PERDA DE CARGA - P1-P6 (mmca) - TRECHO HORIZONTAL - Vazão Mássica 0,0736 kg/s e Velocidade Média Descarga 10,0 m/s							
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	L <sub>h 1-6</sub>
Tê sem Prolong.	8,9	8,4	7,8	7,8	7,4	7,4	1,5
Tê Prolong 30	8,8	8,4	7,7	7,8	7,5	7,3	1,6
Tê Prolong 60	8,6	8,3	7,4	7,4	7,3	7,2	1,4
Tê Prolong 90	8,6	8,5	7,7	7,5	7,3	7,2	1,4

**Tabela C07 – Calculo da Perda de Carga no tubo Horizontal, entre os pontos P1 e P6, para Vazão Mássica de milho de 0,0736 kg/s e Velocidade do Ar com os Grãos de Milho de 11,29 m/s, nas singularidades sem prolongamento e com os prolongamentos de 30, 60 e 90 mm.**

PERDA DE CARGA - P1-P6 (mmca) - TRECHO HORIZONTAL - Vazão Mássica 0,0736 kg/s e Velocidade Média Descarga 11,29 m/s							
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	L <sub>h 1-6</sub>
Tê sem Prolong.	9,8	9,3	8,5	8,3	8,2	8,2	1,6
Tê Prolong 30	10,1	9,5	8,7	8,7	8,6	8,4	1,7
Tê Prolong 60	9,4	8,5	8,5	8,2	8,2	8,0	1,4
Tê Prolong 90	9,6	9,4	8,7	8,6	8,4	8,4	1,2

**Tabela C08 – Calculo da Perda de Carga no tubo Horizontal, entre os pontos P1 e P6, para Vazão Mássica de milho de 0,0736 kg/s e Velocidade do Ar com os Grãos de Milho de 12,48 m/s, nas singularidades sem prolongamento e com os prolongamentos de 30, 60 e 90 mm.**

PERDA DE CARGA - P1-P6 (mmca) - TRECHO HORIZONTAL - Vazão Mássica 0,0736 kg/s e Velocidade Média Descarga 12,48 m/s							
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	L <sub>h 1-6</sub>
Tê sem Prolong.	11,2	10,5	10,2	10,0	10,1	9,5	1,7
Tê Prolong 30	11,1	10,8	10,0	10,1	10,0	9,9	1,2
Tê Prolong 60	11,0	10,5	9,9	9,5	9,3	9,0	2,0
Tê Prolong 90	10,7	10,2	9,4	9,4	9,1	9,0	1,7

Tabela C09 – Calculo da Perda de Carga no tubo Horizontal, entre os pontos P1 e P6, para Vazão Mássica de milho de 0,0736 kg/s e Velocidade do Ar com os Grãos de Milho de 13,34 m/s, nas singularidades sem prolongamento e com os prolongamentos de 30, 60 e 90 mm.

PERDA DE CARGA - P1-P6 (mmca) - TRECHO HORIZONTAL - Vazão Mássica 0,0736 kg/s e Velocidade Média Descarga 13,34 m/s							
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	L <sub>h 1-6</sub>
Tê sem Prolong.	12,4	11,8	11,0	11,3	10,8	10,3	2,1
Tê Prolong 30	12,2	11,7	11,0	11,3	10,9	10,6	1,6
Tê Prolong 60	12,5	11,6	10,6	10,5	10,3	9,9	2,6
Tê Prolong 90	12,2	11,6	10,5	10,5	10,4	10,2	2,0

Tabela C10 – Calculo da Perda de Carga no tubo Horizontal, entre os pontos P1 e P6, para Vazão Mássica de milho de 0,0736 kg/s e Velocidade do Ar com os Grãos de Milho de 14,36 m/s, nas singularidades sem prolongamento e com os prolongamentos de 30, 60 e 90 mm.

PERDA DE CARGA - P1-P6 (mmca) - TRECHO HORIZONTAL - Vazão Mássica 0,0736 kg/s e Velocidade Média Descarga 14,36 m/s							
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	L <sub>h 1-6</sub>
Tê sem Prolong.	13,6	12,8	12,0	11,9	11,3	11,2	2,5
Tê Prolong 30	13,3	12,8	11,7	11,8	11,4	11,2	2,1
Tê Prolong 60	13,3	12,5	11,5	11,4	11,1	10,8	2,5
Tê Prolong 90	13,2	12,4	11,5	11,0	11,8	11,7	1,5

Tabela C11 – Calculo da Perda de Carga no tubo Horizontal, entre os pontos P1 e P6, para Vazão Mássica de milho de 0,1105 kg/s e Velocidade do Ar com os Grãos de Milho de 10,00 m/s, nas singularidades sem prolongamento e com os prolongamentos de 30, 60 e 90 mm.

PERDA DE CARGA - P1-P6 (mmca) - TRECHO HORIZONTAL - Vazão Mássica 0,1105 kg/s e Velocidade Média Descarga 10,0 m/s							
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	L <sub>h 1-6</sub>
Tê sem Prolong.	8,8	8,4	7,8	7,8	7,8	7,5	1,3
Tê Prolong 30	8,9	8,5	8,0	7,9	7,8	7,3	1,6
Tê Prolong 60	8,7	8,5	7,7	7,5	7,5	7,2	1,5
Tê Prolong 90	8,7	8,5	8,4	8,0	7,6	7,5	1,2

**Tabela C12 – Calculo da Perda de Carga no tubo Horizontal, entre os pontos P1 e P6, para Vazão Mássica de milho de 0,1105 kg/s e Velocidade do Ar com os Grãos de Milho de 11,29 m/s, nas singularidades sem prolongamento e com os prolongamentos de 30, 60 e 90 mm.**

PERDA DE CARGA - P1-P6 (mmca) - TRECHO HORIZONTAL - Vazão Mássica 0,1105 kg/s e Velocidade Média Descarga 11,29 m/s							
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	L <sub>h 1-6</sub>
Tê sem Prolong.	9,9	9,4	8,6	8,5	8,4	8,2	1,8
Tê Prolong 30	10,2	9,6	8,9	8,6	8,4	8,2	2,0
Tê Prolong 60	9,4	8,5	8,5	8,2	8,2	8,0	1,4
Tê Prolong 90	9,7	9,5	8,7	8,6	8,5	8,0	1,7

**Tabela C13 – Calculo da Perda de Carga no tubo Horizontal, entre os pontos P1 e P6, para Vazão Mássica de milho de 0,1105 kg/s e Velocidade do Ar com os Grãos de Milho de 12,48 m/s, nas singularidades sem prolongamento e com os prolongamentos de 30, 60 e 90 mm.**

PERDA DE CARGA - P1-P6 (mmca) - TRECHO HORIZONTAL - Vazão Mássica 0,1105 kg/s e Velocidade Média Descarga 12,48 m/s							
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	L <sub>h 1-6</sub>
Tê sem Prolong.	11,2	10,8	9,9	9,5	9,5	9,1	2,2
Tê Prolong 30	11,2	10,7	9,9	9,6	9,2	9,5	1,7
Tê Prolong 60	11,1	10,4	9,5	9,3	9,1	9,0	2,1
Tê Prolong 90	10,8	10,5	9,6	9,0	8,9	8,8	2,0

**Tabela C14 – Calculo da Perda de Carga no tubo Horizontal, entre os pontos P1 e P6, para Vazão Mássica de milho de 0,1105 kg/s e Velocidade do Ar com os Grãos de Milho de 13,34 m/s, nas singularidades sem prolongamento e com os prolongamentos de 30, 60 e 90 mm.**

PERDA DE CARGA - P1-P6 (mmca) - TRECHO HORIZONTAL - Vazão Mássica 0,1105 kg/s e Velocidade Média Descarga 13,34 m/s							
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	L <sub>h 1-6</sub>
Tê sem Prolong.	12,6	11,7	10,9	10,9	10,5	10,1	2,5
Tê Prolong 30	12,5	11,9	10,7	10,6	10,5	10,0	2,5
Tê Prolong 60	12,2	11,5	10,4	10,3	10,2	9,8	2,4
Tê Prolong 90	12,2	11,6	10,6	10,4	10,0	9,9	2,3

**Tabela C15 – Cálculo da Perda de Carga no tubo Horizontal, entre os pontos P1 e P6, para Vazão Mássica de milho de 0,1105 kg/s e Velocidade do Ar com os Grãos de Milho de 14,36 m/s, nas singularidades sem prolongamento e com os prolongamentos de 30, 60 e 90 mm.**

PERDA DE CARGA - P1-P6 (mmca) - TRECHO HORIZONTAL - Vazão Mássica 0,1105 kg/s e Velocidade Média Descarga 14,36 m/s							
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	L <sub>h1-6</sub>
Tê sem Prolong.	13,6	12,9	11,7	11,8	11,5	11,0	2,6
Tê Prolong 30	13,4	12,8	11,7	11,7	11,3	11,0	2,4
Tê Prolong 60	13,3	12,6	11,4	11,2	11,0	10,8	2,5
Tê Prolong 90	13,3	12,5	11,4	11,0	11,0	10,6	2,7

**Tabela C16 – Cálculo da Perda de Carga no tubo Horizontal, entre os pontos P1 e P6, para Vazão Mássica de milho de 0,1319 kg/s e Velocidade do Ar com os Grãos de Milho de 10,0 m/s, nas singularidades sem prolongamento e com os prolongamentos de 30, 60 e 90 mm.**

PERDA DE CARGA - P1-P6 (mmca) - TRECHO HORIZONTAL - Vazão Mássica 0,1319 kg/s e Velocidade Média Descarga 10,0 m/s							
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	L <sub>h1-6</sub>
Tê sem Prolong.	9,1	8,8	8,0	8,0	7,7	7,2	1,9
Tê Prolong 30	9,2	8,9	8,2	8,1	8,0	7,3	1,9
Tê Prolong 60	9,3	8,7	7,8	7,6	7,5	6,5	2,8
Tê Prolong 90	8,7	8,5	7,7	7,6	7,4	7,0	1,7

**Tabela C17 – Cálculo da Perda de Carga no tubo Horizontal, entre os pontos P1 e P6, para Vazão Mássica de milho de 0,1319 kg/s e Velocidade do Ar com os Grãos de Milho de 11,29 m/s, nas singularidades sem prolongamento e com os prolongamentos de 30, 60 e 90 mm.**

PERDA DE CARGA - P1-P6 (mmca) - TRECHO HORIZONTAL - Vazão Mássica 0,1319 kg/s e Velocidade Média Descarga 11,29 m/s							
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	L <sub>h1-6</sub>
Tê sem Prolong.	10,1	9,6	8,6	8,6	8,5	8,1	2,0
Tê Prolong 30	10,2	9,5	8,7	8,5	8,5	8,1	2,1
Tê Prolong 60	10,0	9,8	8,8	8,4	8,2	8,0	2,0
Tê Prolong 90	9,8	9,5	8,7	8,6	8,5	8,3	1,5

**Tabela C18 – Cálculo da Perda de Carga no tubo Horizontal, entre os pontos P1 e P6, para Vazão Mássica de milho de 0,1319 kg/s e Velocidade do Ar com os Grãos de Milho de 12,48 m/s, nas singularidades sem prolongamento e com os prolongamentos de 30, 60 e 90 mm.**

PERDA DE CARGA - P1-P6 (mmca) - TRECHO HORIZONTAL - Vazão Mássica 0,1319 kg/s e Velocidade Média Descarga 12,48 m/s							
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	L <sub>h 1-6</sub>
Tê sem Prolong.	11,2	10,8	10,0	9,6	9,6	9,2	2,0
Tê Prolong 30	11,0	10,6	9,5	9,3	9,2	9,0	2,0
Tê Prolong 60	11,1	10,5	9,5	9,3	9,1	9,0	2,1
Tê Prolong 90	10,8	10,5	9,5	9,1	9,0	8,8	2,0

**Tabela C19 – Cálculo da Perda de Carga no tubo Horizontal, entre os pontos P1 e P6, para Vazão Mássica de milho de 0,1319 kg/s e Velocidade do Ar com os Grãos de Milho de 13,34 m/s, nas singularidades sem prolongamento e com os prolongamentos de 30, 60 e 90 mm.**

PERDA DE CARGA - P1-P6 (mmca) - TRECHO HORIZONTAL - Vazão Mássica 0,1319 kg/s e Velocidade Média Descarga 13,34 m/s							
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	L <sub>h 1-6</sub>
Tê sem Prolong.	12,5	11,6	10,7	10,3	10,3	10,0	2,5
Tê Prolong 30	12,3	11,8	10,7	10,5	10,4	10,1	2,2
Tê Prolong 60	12,2	11,7	10,4	10,2	10,1	10,0	2,2
Tê Prolong 90	12,1	11,5	10,5	10,3	10,2	9,8	2,3

**Tabela C20 – Cálculo da Perda de Carga no tubo Horizontal, entre os pontos P1 e P6, para Vazão Mássica de milho de 0,1319 kg/s e Velocidade do Ar com os Grãos de Milho de 14,36 m/s, nas singularidades sem prolongamento e com os prolongamentos de 30, 60 e 90 mm.**

PERDA DE CARGA - P1-P6 (mmca) - TRECHO HORIZONTAL - Vazão Mássica 0,1319 kg/s e Velocidade Média Descarga 14,36 m/s							
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	L <sub>h 1-6</sub>
Tê sem Prolong.	13,5	13,0	11,6	11,4	11,2	11,0	2,5
Tê Prolong 30	13,4	12,9	11,5	11,3	11,1	10,9	2,5
Tê Prolong 60	13,2	12,5	11,6	10,8	10,8	10,5	2,7
Tê Prolong 90	13,2	12,6	11,6	11,4	11,0	10,8	2,4

**Tabela C21 – Cálculo da Perda de Carga no tubo Horizontal, entre os pontos P1 e P6, para Vazão Mássica de milho de 0,1646 kg/s e Velocidade do Ar com os Grãos de Milho de 10,0 m/s, nas singularidades sem prolongamento e com os prolongamentos de 30, 60 e 90 mm.**

PERDA DE CARGA - P1-P6 (mmca) - TRECHO HORIZONTAL - Vazão Mássica 0,1646 kg/s e Velocidade Média Descarga 10,0 m/s							
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	L <sub>h 1-6</sub>
Tê sem Prolong.	9,0	8,8	7,9	7,9	7,6	7,0	2,0
Tê Prolong 30	9,2	8,9	8,1	8,1	8,0	7,1	2,1
Tê Prolong 60	8,5	8,3	7,9	7,7	6,9	6,4	2,1
Tê Prolong 90	8,7	8,5	7,7	7,6	7,4	7,0	1,7

**Tabela C22 – Cálculo da Perda de Carga no tubo Horizontal, entre os pontos P1 e P6, para Vazão Mássica de milho de 0,1646 kg/s e Velocidade do Ar com os Grãos de Milho de 11,29 m/s, nas singularidades sem prolongamento e com os prolongamentos de 30, 60 e 90 mm.**

PERDA DE CARGA - P1-P6 (mmca) - TRECHO HORIZONTAL - Vazão Mássica 0,1646 kg/s e Velocidade Média Descarga 11,29 m/s							
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	L <sub>h 1-6</sub>
Tê sem Prolong.	10,3	9,7	8,8	8,2	8,6	8,3	2,1
Tê Prolong 30	10,2	9,7	8,8	8,6	8,5	8,3	2,0
Tê Prolong 60	9,9	9,6	8,7	8,4	8,3	8,1	1,8
Tê Prolong 90	10,0	9,5	8,8	8,6	8,3	8,1	1,9

**Tabela C23 – Cálculo da Perda de Carga no tubo Horizontal, entre os pontos P1 e P6, para Vazão Mássica de milho de 0,1646 kg/s e Velocidade do Ar com os Grãos de Milho de 12,48 m/s, nas singularidades sem prolongamento e com os prolongamentos de 30, 60 e 90 mm.**

PERDA DE CARGA - P1-P6 (mmca) - TRECHO HORIZONTAL - Vazão Mássica 0,1646 kg/s e Velocidade Média Descarga 12,48 m/s							
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	L <sub>h 1-6</sub>
Tê sem Prolong.	11,3	10,7	10,1	10,5	9,7	9,9	1,4
Tê Prolong 30	11,2	10,6	9,6	9,4	9,2	9,1	2,2
Tê Prolong 60	11,2	10,5	9,6	9,4	9,2	8,7	2,5
Tê Prolong 90	11,0	10,5	9,6	9,3	9,0	8,8	2,2

**Tabela C24 – Cálculo da Perda de Carga no tubo Horizontal, entre os pontos P1 e P6, para Vazão Mássica de milho de 0,1646 kg/s e Velocidade do Ar com os Grãos de Milho de 13,34 m/s, nas singularidades sem prolongamento e com os prolongamentos de 30, 60 e 90 mm.**

PERDA DE CARGA - P1-P6 (mmca) - TRECHO HORIZONTAL - Vazão Mássica 0,1646 kg/s e Velocidade Média Descarga 13,34 m/s							
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	L <sub>h 1-6</sub>
Tê sem Prolong.	12,4	11,1	11,0	11,0	10,6	10,8	1,6
Tê Prolong 30	12,4	11,8	10,6	10,4	10,2	10,0	2,4
Tê Prolong 60	12,3	11,7	10,2	10,1	10,0	9,8	2,5
Tê Prolong 90	12,2	12,7	10,6	10,4	10,2	9,8	2,4

**Tabela C25 – Cálculo da Perda de Carga no tubo Horizontal, entre os pontos P1 e P6, para Vazão Mássica de milho de 0,1646 kg/s e Velocidade do Ar com os Grãos de Milho de 14,36 m/s, nas singularidades sem prolongamento e com os prolongamentos de 30, 60 e 90 mm.**

PERDA DE CARGA - P1-P6 (mmca) - TRECHO HORIZONTAL - Vazão Mássica 0,1646 kg/s e Velocidade Média Descarga 14,36 m/s							
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	L <sub>h 1-6</sub>
Tê sem Prolong.	13,7	12,9	11,9	12,1	11,7	11,7	2,1
Tê Prolong 30	13,5	12,9	11,4	11,3	11,1	10,8	2,7
Tê Prolong 60	13,3	12,7	11,4	11,2	10,9	10,7	2,6
Tê Prolong 90	13,5	12,8	11,7	11,5	11,4	10,8	2,7

## APÊNDICE D

As tabelas de D1 até D25 referenciam os valores e comportamento da Perda de Carga dos Pontos P7 à P10, trecho vertical, determinando a Perda de Carga no tubo vertical ( $L_v$ ) em função da singularidade Tê, sem prolongamento e com os prolongamentos de 30, 60 e 90 mm.

**Tabela D01 – Calculo da Perda de Carga no tubo Vertical, entre os pontos P7 e P10, para Vazão Mássica de milho de 0,0495 kg/s e Velocidade do Ar com os Grãos de Milho de 10,0 m/s, nas singularidades sem prolongamento e com os prolongamentos de 30, 60 e 90 mm.**

PERDA DE CARGA - P7-P10 (mmca) - TRECHO VERTICAL - Vazão Mássica 0,0495 kg/s e Velocidade Média Descarga 10,0 m/s					
	P7	P8	P9	P10	$L_{v\ 7-10}$
Tê sem Prolong.	3,7	5,0	5,0	4,9	1,2
Tê Prolong 30	4,0	5,3	5,3	4,9	0,9
Tê Prolong 60	3,8	4,6	4,8	4,8	1,0
Tê Prolong 90	3,5	5,5	5,2	5,0	1,5

**Tabela D02 – Calculo da Perda de Carga no tubo Vertical, entre os pontos P7 e P10, para Vazão Mássica de milho de 0,0495 kg/s e Velocidade do Ar com os Grãos de Milho de 11,29 m/s, nas singularidades sem prolongamento e com os prolongamentos de 30, 60 e 90 mm.**

PERDA DE CARGA - P7-P10 (mmca) - TRECHO VERTICAL - Vazão Mássica 0,0495 kg/s e Velocidade Média Descarga 11,29 m/s					
	P7	P8	P9	P10	$L_{v\ 7-10}$
Tê sem Prolong.	4,8	6,0	5,7	5,7	0,9
Tê Prolong 30	5,6	6,1	6,7	5,8	0,3
Tê Prolong 60	4,8	6,0	5,8	5,7	0,9
Tê Prolong 90	5,0	5,5	5,6	5,5	0,5

**Tabela D03 – Calculo da Perda de Carga no tubo Vertical, entre os pontos P7 e P10, para Vazão Mássica de milho de 0,0495 kg/s e Velocidade do Ar com os Grãos de Milho de 12,48 m/s, nas singularidades sem prolongamento e com os prolongamentos de 30, 60 e 90 mm.**

PERDA DE CARGA - P7-P10 (mmca) - TRECHO VERTICAL - Vazão Mássica 0,0495 kg/s e Velocidade Média Descarga 12,48 m/s					
	P7	P8	P9	P10	L <sub>V</sub> 7-10
Tê sem Prolong.	6,7	7,3	7,2	6,8	0,1
Tê Prolong 30	6,7	7,5	7,2	6,9	0,2
Tê Prolong 60	5,5	7,0	6,8	6,7	1,2
Tê Prolong 90	6,0	7,2	7,0	6,8	0,8

**Tabela D04 – Calculo da Perda de Carga no tubo Vertical, entre os pontos P7 e P10, para Vazão Mássica de milho de 0,0495 kg/s e Velocidade do Ar com os Grãos de Milho de 13,34 m/s, nas singularidades sem prolongamento e com os prolongamentos de 30, 60 e 90 mm.**

PERDA DE CARGA - P7-P10 (mmca) - TRECHO VERTICAL - Vazão Mássica 0,0495 kg/s e Velocidade Média Descarga 13,34 m/s					
	P7	P8	P9	P10	L <sub>V</sub> 7-10
Tê sem Prolong.	8,6	8,5	8,6	8,7	0,1
Tê Prolong 30	7,5	8,2	8,3	7,6	0,1
Tê Prolong 60	7,0	7,8	7,6	7,6	0,6
Tê Prolong 90	6,5	7,7	7,7	7,6	1,1

**Tabela D05 – Calculo da Perda de Carga no tubo Vertical, entre os pontos P7 e P10, para Vazão Mássica de milho de 0,0495 kg/s e Velocidade do Ar com os Grãos de Milho de 14,36 m/s, nas singularidades sem prolongamento e com os prolongamentos de 30, 60 e 90 mm.**

PERDA DE CARGA - P7-P10 (mmca) - TRECHO VERTICAL - Vazão Mássica 0,0495 kg/s e Velocidade Média Descarga 14,36 m/s					
	P7	P8	P9	P10	L <sub>V</sub> 7-10
Tê sem Prolong.	8,9	9,2	9,1	9,0	0,2
Tê Prolong 30	8,6	9,2	8,8	8,8	0,3
Tê Prolong 60	8,0	8,6	8,4	8,3	0,3
Tê Prolong 90	7,1	8,5	8,5	8,3	1,2

**Tabela D06 – Calculo da Perda de Carga no tubo Vertical, entre os pontos P7 e P10, para Vazão Mássica de milho de 0,0736 kg/s e Velocidade do Ar com os Grãos de Milho de 10,0 m/s, nas singularidades sem prolongamento e com os prolongamentos de 30, 60 e 90 mm.**

PERDA DE CARGA - P7-P10 (mmca) - TRECHO VERTICAL - Vazão Mássica 0,0736 kg/s e Velocidade Média Descarga 10,0 m/s					
	P7	P8	P9	P10	L <sub>V 7-10</sub>
Tê sem Prolong.	4,8	4,9	4,9	4,9	0,1
Tê Prolong 30	3,6	4,9	4,7	4,5	1,0
Tê Prolong 60	3,2	5,2	4,7	4,5	1,3
Tê Prolong 90	3,3	4,3	4,1	4,0	0,7

**Tabela D07 – Calculo da Perda de Carga no tubo Vertical, entre os pontos P7 e P10, para Vazão Mássica de milho de 0,0736 kg/s e Velocidade do Ar com os Grãos de Milho de 11,29 m/s, nas singularidades sem prolongamento e com os prolongamentos de 30, 60 e 90 mm.**

PERDA DE CARGA - P7-P10 (mmca) - TRECHO VERTICAL - Vazão Mássica 0,0736 kg/s e Velocidade Média Descarga 11,29 m/s					
	P7	P8	P9	P10	L <sub>V 7-10</sub>
Tê sem Prolong.	4,8	5,7	5,6	5,4	0,7
Tê Prolong 30	4,9	5,8	6,0	5,6	0,7
Tê Prolong 60	4,6	5,7	5,5	5,3	0,7
Tê Prolong 90	4,5	5,4	5,2	5,0	0,5

**Tabela D08 – Calculo da Perda de Carga no tubo Vertical, entre os pontos P7 e P10, para Vazão Mássica de milho de 0,0736 kg/s e Velocidade do Ar com os Grãos de Milho de 12,48 m/s, nas singularidades sem prolongamento e com os prolongamentos de 30, 60 e 90 mm.**

PERDA DE CARGA - P7-P10 (mmca) - TRECHO VERTICAL - Vazão Mássica 0,0736 kg/s e Velocidade Média Descarga 12,48 m/s					
	P7	P8	P9	P10	L <sub>V 7-10</sub>
Tê sem Prolong.	6,0	6,8	6,8	6,6	0,6
Tê Prolong 30	6,0	6,8	6,8	6,5	0,5
Tê Prolong 60	5,7	6,8	6,6	6,3	0,6
Tê Prolong 90	5,5	6,4	6,1	5,9	0,4

**Tabela D09 – Calculo da Perda de Carga no tubo Vertical, entre os pontos P7 e P10, para Vazão Mássica de milho de 0,0736 kg/s e Velocidade do Ar com os Grãos de Milho de 13,34 m/s, nas singularidades sem prolongamento e com os prolongamentos de 30, 60 e 90 mm.**

PERDA DE CARGA - P7-P10 (mmca) - TRECHO VERTICAL - Vazão Mássica 0,0736 kg/s e Velocidade Média Descarga 13,34 m/s					
	P7	P8	P9	P10	L <sub>V</sub> 7-10
Tê sem Prolong.	7,7	7,7	7,6	7,7	0,0
Tê Prolong 30	7,5	7,5	7,4	7,6	0,1
Tê Prolong 60	6,8	7,5	7,4	7,3	0,5
Tê Prolong 90	6,6	7,7	7,5	7,2	0,6

**Tabela D010 – Calculo da Perda de Carga no tubo Vertical, entre os pontos P7 e P10, para Vazão Mássica de milho de 0,0736 kg/s e Velocidade do Ar com os Grãos de Milho de 14,36 m/s, nas singularidades sem prolongamento e com os prolongamentos de 30, 60 e 90 mm.**

PERDA DE CARGA - P7-P10 (mmca) - TRECHO VERTICAL - Vazão Mássica 0,0736 kg/s e Velocidade Média Descarga 14,36 m/s					
	P7	P8	P9	P10	L <sub>V</sub> 7-10
Tê sem Prolong.	8,1	8,4	8,3	8,3	0,3
Tê Prolong 30	7,7	8,6	8,5	8,4	0,7
Tê Prolong 60	7,5	8,3	8,1	8,0	0,5
Tê Prolong 90	7,1	8,1	7,7	7,5	0,4

**Tabela D11 – Calculo da Perda de Carga no tubo Vertical, entre os pontos P7 e P10, para Vazão Mássica de milho de 0,1105 kg/s e Velocidade do Ar com os Grãos de Milho de 10,00 m/s, nas singularidades sem prolongamento e com os prolongamentos de 30, 60 e 90 mm.**

PERDA DE CARGA - P7-P10 (mmca) - TRECHO VERTICAL - Vazão Mássica 0,1105 kg/s e Velocidade Média Descarga 10,0 m/s					
	P7	P8	P9	P10	L <sub>V</sub> 7-10
Tê sem Prolong.	3,7	4,7	4,7	4,4	0,7
Tê Prolong 30	3,7	4,7	4,6	4,5	0,8
Tê Prolong 60	3,4	4,7	4,5	4,5	1,1
Tê Prolong 90	3,5	4,5	4,4	4,2	0,7

**Tabela D12 – Calculo da Perda de Carga no tubo Vertical, entre os pontos P7 e P10, para Vazão Mássica de milho de 0,1105 kg/s kg/s e Velocidade do Ar com os Grãos de Milho de 11,29 m/s, nas singularidades sem prolongamento e com os prolongamentos de 30, 60 e 90 mm.**

<b>PERDA DE CARGA - P7-P10 (mmca) - TRECHO VERTICAL - Vazão Mássica 0,1105 kg/s e Velocidade Média Descarga 11,29 m/s</b>					
	<b>P7</b>	<b>P8</b>	<b>P9</b>	<b>P10</b>	<b>L<sub>V</sub> 7-10</b>
<b>Tê sem Prolong.</b>	5,0	5,6	5,6	5,3	0,4
<b>Tê Prolong 30</b>	4,9	5,9	5,8	5,3	0,4
<b>Tê Prolong 60</b>	4,6	5,5	5,4	5,2	0,6
<b>Tê Prolong 90</b>	4,7	5,8	5,5	5,2	0,5

**Tabela D13 – Calculo da Perda de Carga no tubo Vertical, entre os pontos P7 e P10, para Vazão Mássica de milho de 0,1105 kg/s kg/s e Velocidade do Ar com os Grãos de Milho de 12,48 m/s, nas singularidades sem prolongamento e com os prolongamentos de 30, 60 e 90 mm.**

<b>PERDA DE CARGA - P7-P10 (mmca) - TRECHO VERTICAL - Vazão Mássica 0,1105 kg/s e Velocidade Média Descarga 12,48 m/s</b>					
	<b>P7</b>	<b>P8</b>	<b>P9</b>	<b>P10</b>	<b>L<sub>V</sub> 7-10</b>
<b>Tê sem Prolong.</b>	5,9	6,8	6,7	6,2	0,3
<b>Tê Prolong 30</b>	6,0	6,7	6,6	6,1	0,1
<b>Tê Prolong 60</b>	5,5	6,5	6,4	6,3	0,8
<b>Tê Prolong 90</b>	5,7	6,8	6,5	6,3	0,6

**Tabela D14 – Calculo da Perda de Carga no tubo Vertical, entre os pontos P7 e P10, para Vazão Mássica de milho de 0,1105 kg/s kg/s e Velocidade do Ar com os Grãos de Milho de 13,34 m/s, nas singularidades sem prolongamento e com os prolongamentos de 30, 60 e 90 mm.**

<b>PERDA DE CARGA - P7-P10 (mmca) - TRECHO VERTICAL - Vazão Mássica 0,1105 kg/s e Velocidade Média Descarga 13,34 m/s</b>					
	<b>P7</b>	<b>P8</b>	<b>P9</b>	<b>P10</b>	<b>L<sub>V</sub> 7-10</b>
<b>Tê sem Prolong.</b>	7,4	7,6	7,5	7,5	0,2
<b>Tê Prolong 30</b>	7,0	7,6	7,4	7,1	0,1
<b>Tê Prolong 60</b>	6,6	7,6	7,5	7,5	0,9
<b>Tê Prolong 90</b>	6,5	7,5	7,3	7,1	0,6

**Tabela D15 – Calculo da Perda de Carga no tubo Vertical, entre os pontos P7 e P10, para Vazão Mássica de milho de 0,1105 kg/s kg/s e Velocidade do Ar com os Grãos de Milho de 14,36 m/s, nas singularidades sem prolongamento e com os prolongamentos de 30, 60 e 90 mm.**

PERDA DE CARGA - P7-P10 (mmca) - TRECHO VERTICAL - Vazão Mássica 0,1105 kg/s e Velocidade Média Descarga 14,36 m/s					
	P7	P8	P9	P10	L <sub>V 7-10</sub>
Tê sem Prolong.	7,6	8,2	8,0	8,0	0,4
Tê Prolong 30	7,7	8,1	7,8	7,8	0,1
Tê Prolong 60	7,5	8,4	8,1	7,9	0,4
Tê Prolong 90	7,0	8,2	7,9	7,8	0,8

**Tabela D16 – Calculo da Perda de Carga no tubo Vertical, entre os pontos P7 e P10, para Vazão Mássica de milho de 0,1319 kg/s kg/s e Velocidade do Ar com os Grãos de Milho de 10,00 m/s, nas singularidades sem prolongamento e com os prolongamentos de 30, 60 e 90 mm.**

PERDA DE CARGA - P7-P10 (mmca) - TRECHO VERTICAL - Vazão Mássica 0,1319 kg/s e Velocidade Média Descarga 10,0 m/s					
	P7	P8	P9	P10	L <sub>V 7-10</sub>
Tê sem Prolong.	2,9	4,2	4,1	4,0	1,1
Tê Prolong 30	3,1	4,3	4,2	4,2	1,1
Tê Prolong 60	3,1	4,2	4,1	4,0	0,9
Tê Prolong 90	3,2	4,4	4,1	3,9	0,7

**Tabela D17 – Calculo da Perda de Carga no tubo Vertical, entre os pontos P7 e P10, para Vazão Mássica de milho de 0,1319 kg/s kg/s e Velocidade do Ar com os Grãos de Milho de 11,29 m/s, nas singularidades sem prolongamento e com os prolongamentos de 30, 60 e 90 mm.**

PERDA DE CARGA - P7-P10 (mmca) - TRECHO VERTICAL - Vazão Mássica 0,1319 kg/s e Velocidade Média Descarga 11,29 m/s					
	P7	P8	P9	P10	L <sub>V 7-10</sub>
Tê sem Prolong.	4,7	5,5	5,5	5,1	0,4
Tê Prolong 30	5,0	5,9	5,4	5,2	0,2
Tê Prolong 60	4,5	5,5	5,3	5,1	0,6
Tê Prolong 90	4,8	5,7	5,3	5,1	0,3

**Tabela D18 – Calculo da Perda de Carga no tubo Vertical, entre os pontos P7 e P10, para Vazão Mássica de milho de 0,1319 kg/s kg/s e Velocidade do Ar com os Grãos de Milho de 12,48 m/s, nas singularidades sem prolongamento e com os prolongamentos de 30, 60 e 90 mm.**

PERDA DE CARGA - P7-P10 (mmca) - TRECHO VERTICAL - Vazão Mássica 0,1319 kg/s e Velocidade Média Descarga 12,48 m/s					
	P7	P8	P9	P10	L <sub>v 7-10</sub>
Tê sem Prolong.	5,8	6,5	6,2	6,0	0,3
Tê Prolong 30	5,5	6,4	6,2	5,9	0,4
Tê Prolong 60	5,6	6,4	6,1	6,0	0,4
Tê Prolong 90	5,7	6,4	6,2	5,9	0,2

**Tabela D19 – Calculo da Perda de Carga no tubo Vertical, entre os pontos P7 e P10, para Vazão Mássica de milho de 0,1319 kg/s kg/s e Velocidade do Ar com os Grãos de Milho de 13,34 m/s, nas singularidades sem prolongamento e com os prolongamentos de 30, 60 e 90 mm.**

PERDA DE CARGA - P7-P10 (mmca) - TRECHO VERTICAL - Vazão Mássica 0,1319 kg/s e Velocidade Média Descarga 13,34 m/s					
	P7	P8	P9	P10	L <sub>v 7-10</sub>
Tê sem Prolong.	6,9	7,4	7,0	6,8	0,0
Tê Prolong 30	6,8	7,3	7,0	6,9	0,1
Tê Prolong 60	6,5	7,4	7,1	6,8	0,3
Tê Prolong 90	6,7	7,9	7,2	7,0	0,3

**Tabela D20 – Calculo da Perda de Carga no tubo Vertical, entre os pontos P7 e P10, para Vazão Mássica de milho de 0,1319 kg/s kg/s e Velocidade do Ar com os Grãos de Milho de 14,36 m/s, nas singularidades sem prolongamento e com os prolongamentos de 30, 60 e 90 mm.**

PERDA DE CARGA - P7-P10 (mmca) - TRECHO VERTICAL - Vazão Mássica 0,1319 kg/s e Velocidade Média Descarga 14,36 m/s					
	P7	P8	P9	P10	L <sub>v 7-10</sub>
Tê sem Prolong.	7,4	8,1	7,8	7,6	0,3
Tê Prolong 30	7,6	8,1	8,0	7,7	0,1
Tê Prolong 60	7,6	8,1	8,0	7,7	0,1
Tê Prolong 90	7,1	8,1	7,7	7,5	0,4

**Tabela D21 – Calculo da Perda de Carga no tubo Vertical, entre os pontos P7 e P10, para Vazão Mássica de milho de 0,1646 kg/s kg/s e Velocidade do Ar com os Grãos de Milho de 10,00 m/s, nas singularidades sem prolongamento e com os prolongamentos de 30, 60 e 90 mm.**

<b>PERDA DE CARGA - P7-P10 (mmca) - TRECHO VERTICAL - Vazão Mássica 0,1646 kg/s e Velocidade Média Descarga 10,0 m/s</b>					
	<b>P7</b>	<b>P8</b>	<b>P9</b>	<b>P10</b>	<b>L<sub>V</sub> 7-10</b>
<b>Tê sem Prolong.</b>	2,9	4,3	4,3	4,0	1,1
<b>Tê Prolong 30</b>	3,1	4,4	4,4	4,1	1,1
<b>Tê Prolong 60</b>	3,3	4,3	4,1	4,0	0,7
<b>Tê Prolong 90</b>	3,0	4,4	4,2	4,0	1,0

**Tabela D22 – Calculo da Perda de Carga no tubo Vertical, entre os pontos P7 e P10, para Vazão Mássica de milho de 0,1646 kg/s kg/s e Velocidade do Ar com os Grãos de Milho de 11,29 m/s, nas singularidades sem prolongamento e com os prolongamentos de 30, 60 e 90 mm.**

<b>PERDA DE CARGA - P7-P10 (mmca) - TRECHO VERTICAL - Vazão Mássica 0,1646 kg/s e Velocidade Média Descarga 11,29 m/s</b>					
	<b>P7</b>	<b>P8</b>	<b>P9</b>	<b>P10</b>	<b>L<sub>V</sub> 7-10</b>
<b>Tê sem Prolong.</b>	4,5	5,5	5,3	5,0	0,5
<b>Tê Prolong 30</b>	4,6	5,5	5,3	4,9	0,3
<b>Tê Prolong 60</b>	4,5	5,4	5,2	5,0	0,5
<b>Tê Prolong 90</b>	4,6	5,5	5,2	5,0	0,4

**Tabela D23 – Calculo da Perda de Carga no tubo Vertical, entre os pontos P7 e P10, para Vazão Mássica de milho de 0,1646 kg/s kg/s e Velocidade do Ar com os Grãos de Milho de 12,48 m/s, nas singularidades sem prolongamento e com os prolongamentos de 30, 60 e 90 mm.**

<b>PERDA DE CARGA - P7-P10 (mmca) - TRECHO VERTICAL - Vazão Mássica 0,1646 kg/s e Velocidade Média Descarga 12,48 m/s</b>					
	<b>P7</b>	<b>P8</b>	<b>P9</b>	<b>P10</b>	<b>L<sub>V</sub> 7-10</b>
<b>Tê sem Prolong.</b>	5,7	6,5	6,2	5,8	0,1
<b>Tê Prolong 30</b>	5,5	6,3	6,1	5,8	0,4
<b>Tê Prolong 60</b>	5,5	6,4	6,1	5,9	0,4
<b>Tê Prolong 90</b>	5,6	6,5	5,8	5,6	0,0

**Tabela D24 – Calculo da Perda de Carga no tubo Vertical, entre os pontos P7 e P10, para Vazão Mássica de milho de 0,1646 kg/s kg/s e Velocidade do Ar com os Grãos de Milho de 13,34 m/s, nas singularidades sem prolongamento e com os prolongamentos de 30, 60 e 90 mm.**

PERDA DE CARGA - P7-P10 (mmca) - TRECHO VERTICAL - Vazão Mássica 0,1646 kg/s e Velocidade Média Descarga 13,34 m/s					
	P7	P8	P9	P10	L <sub>V</sub> 7-10
Tê sem Prolong.	6,6	7,2	6,9	6,8	0,2
Tê Prolong 30	6,5	7,1	7,0	6,5	0,0
Tê Prolong 60	6,5	7,2	6,9	6,7	0,2
Tê Prolong 90	6,5	7,3	7,0	6,8	0,3

**Tabela D25 – Calculo da Perda de Carga no tubo Vertical, entre os pontos P7 e P10, para Vazão Mássica de milho de 0,1646 kg/s kg/s e Velocidade do Ar com os Grãos de Milho de 14,36 m/s, nas singularidades sem prolongamento e com os prolongamentos de 30, 60 e 90 mm.**

PERDA DE CARGA - P7-P10 (mmca) - TRECHO VERTICAL - Vazão Mássica 0,1646 kg/s e Velocidade Média Descarga 14,36 m/s					
	P7	P8	P9	P10	L <sub>V</sub> 7-10
Tê sem Prolong.	7,4	7,8	7,7	7,4	0,0
Tê Prolong 30	7,6	7,7	7,6	7,7	0,2
Tê Prolong 60	7,3	8,0	7,8	7,5	0,2
Tê Prolong 90	7,1	8,1	7,7	7,5	0,4