

CAPITULO 8 - TRANSPORTADOR PNEUMÁTICO

O transporte pneumático tem sua aplicação industrial destacada desde o início do Século XX, devido a algumas de suas características principais: os baixos custos de manutenção e operação; a grande variabilidade de produtos transportados; a alta flexibilidade dos projetos, podendo haver o transporte vertical e/ou horizontal, além de diversos sistemas de alimentação de sólidos.

A utilização do ar para a movimentação de materiais representa vantagens a este processo se comparado à movimentação mecânica (elevadores, redler, transportador helicoidal, etc.), pois oferece maior segurança ao produto uma vez que o mesmo é transportado por meio de tubulações, onde o ar como fluido possibilita o seu escoamento até o local desejado.



Fig. 68 - Torres de alimentação de areia

Um projeto adequado deverá prever o tipo de tubulação a ser utilizada, de acordo com o grau de abrasividade e corrosão possivelmente gerados pela composição dos materiais. O levantamento criterioso destas características poderá exigir do projeto a utilização de materiais resistentes como aço inox ou até mesmo PVC, sendo que os raios de curvatura deverão ser largos com a possibilidade de "chapas de desgaste" que propiciem sua substituição. O correto estudo das quantidades e pesos dos materiais, bem como velocidades e pressões nos dutos são indispensáveis para o sucesso do funcionamento.



Fig. 69 - Sistema de transporte pneumático para negro de fumo

8.1 – Transporte pneumático fase densa x fase diluída

O transporte pneumático em fase densa pode ser o método mais confiável e eficiente para a manipulação de uma grande variedade de sólidos secos a granel. A definição de transporte pneumático em fase densa significa uma pequena quantidade de ar para movimentar uma grande quantidade de sólidos a granel de forma pulsante, em porções através da linha de transporte, sendo um processo similar à extrusão.



Fig. 70 - Linhas múltiplas de transporte de fase densa.

Os sistemas pneumáticos em fase diluída utilizam grande quantidade de ar para remover quantidades relativamente pequenas de material em suspensão a altas velocidades. A fase densa tem a vantagem de empurrar eficientemente uma concentração muito mais densa de material sólido a velocidades relativamente baixas (1,5 a 10 m/s) através da linha de transporte, o que resulta em uma manipulação mais delicada dos sólidos altamente abrasivos que não toleram degradação. Para muitos materiais frágeis, granulares ou cristalinos, não existe processo mais adequado.



Fig. 71 - Sistema de vácuo de alta velocidade transportando negro de fumo

O transporte pneumático em fase densa é:

- Eficiente em consumo de energia e mão de obra.
- Confiável, devido às poucas partes móveis e menor desgaste do sistema;
- Flexível, permitindo instalações de sistemas completos em espaços bem reduzidos ou cheios por sistemas mecânicos, com interrupções mínimas em seu programa de produção.

Os materiais tipicamente transportados são:

Alumina, óxido de alumínio, alimento para bebês, argila, barita, bauxita, bentonita, bórax, carbonato de cálcio, cloreto de cálcio, negro de fumo, cimento, café (cru, torrado, moído), detergente, feldspato, carvão, farinha, cinza, fluorita, areia, mistura para vidro, caco de vidro, gesso, óxido de ferro, caulim, cianita, calcário, magnésio, leite em pó, amendoim, resina de PVC, sal, sílica, barrilha, sulfato de sódio, metal, enxofre, açúcar, dióxido de titânio e muito mais.

Os primeiros sistemas de transporte pneumático em fase densa eram, simplesmente, um recipiente e uma linha de transporte, alguns sistemas ainda são. Nestes sistemas, todo o ar requerido para retirar o material do recipiente e vencer a fricção na linha de transporte é adicionado no recipiente. Esses sistemas mais primitivos têm graves pontos negativos, dentre eles, principalmente, a reduzida eficiência já que precisam de maiores volumes de ar e estão limitados a transportar menores lotes de material, além do mais, as grandes quantidades de ar que devem ser introduzidas nesses sistemas para evitar entupimento levam ao aumento da velocidade de transporte. Essa velocidade provoca alguns dos muitos problemas que os sistemas em fase densa foram desenvolvidos para evitar (maior abrasão e/ou degradação do produto).

Nos sistemas mais modernos, só é introduzido o volume de ar necessário para levar o produto até a linha, em densidade máxima. Depois que o material começa a movimentar-se na linha é adicionado apenas o ar necessário para superar o atrito na linha de transporte à medida que ela ocorre.

A fricção pode aumentar dentro do sistema por várias razões, como por exemplo, numa curva na linha de transporte ou numa mudança nas características do produto.

8.2 - Velocidade do gás e da partícula

Temos que ter cuidado na definição das velocidades do gás e da partícula e na velocidade relativa entre eles, a velocidade relativa ou de deslizamento. Os termos que freqüentemente são usados livremente na literatura são definidos abaixo.

O termo velocidade superficial também é usado comumente. A velocidade superficial do gás é definida como:

$$U_{fs} = [\text{vazão volumétrica do gás}] / [\text{área da seção reta do tubo}] = Q_f / A$$

A velocidade superficial das partículas é definida como:

$$U_{ps} = [\text{vazão volumétrica de sólidos}] / [\text{área da seção reta do tubo}] = Q_p / A$$

Onde o subscrito "s" denota superficial e os subscritos "f" e "p" se referem ao fluido e as partículas respectivamente. A fração da área transversal disponível do tubo para o fluxo de gás normalmente é assumida ser igual à fração de volume ocupada pelo gás, quer dizer, a porosidade ou fração de vazios λ . A fração da área do tubo disponível para o fluxo de sólidos é, portanto, $(1 - \lambda)$.

E assim, a velocidade real do gás, é:

$$U_f = Q_f / [A \lambda]$$

e a velocidade real da partícula,

$$U_p = Q_p / [A (1 - \lambda)]$$

Assim, as velocidades superficiais são relacionadas às velocidades reais pelas equações:

$$U_f = U_{fs} / \lambda$$

$$U_p = U_{ps} / (1 - \lambda)$$

É prática comum, quando lidamos com fluidização e com transporte pneumático, usar simplesmente o símbolo U para denotar a velocidade superficial do fluido. Também, de acordo com a prática comum, o símbolo G será usado para denotar o fluxo de massa de sólidos, quer dizer, $G = M_p / A$, onde M_p é a taxa de fluxo de massa de sólidos.

A velocidade relativa entre partícula e fluido U_{rel} é definida como:

$$U_{rel} = U_f - U_p$$

Esta velocidade freqüentemente também é chamada a "velocidade de deslizamento" USLIP.

Freqüentemente se considera que, no fluxo vertical de fase diluída, a velocidade de deslizamento é igual à velocidade terminal de única partícula, UT.

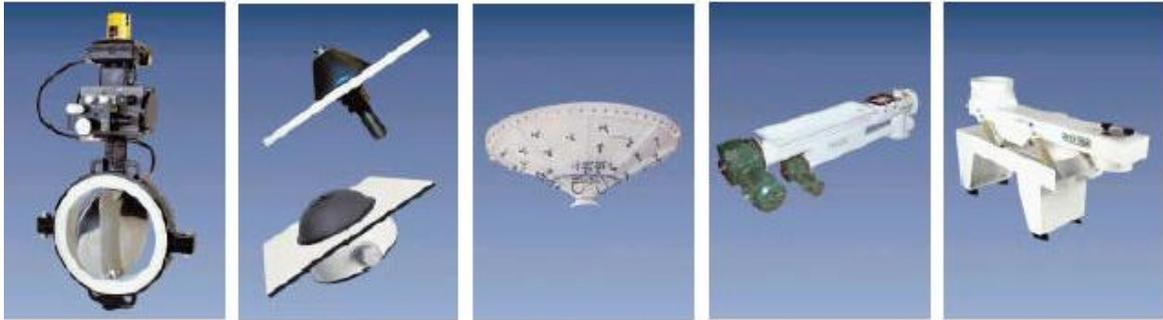
8.3 - Componentes



(1) (2)
(1) Misturador de zona,
(2) Misturador continuo



(1) (2) (3) (4) (5)
(1) Cabeça misturadora de silo 10 portas,
(2) Cabeça misturadora de silo 16 portas,
(3) Areador/desgrumador,
(4) Separador vibratório,
(5) Soprador.



(1) (2) (3) (4) (5)

- (1) Válvula borboleta de sede inflável,
 (2) Areador de silo,
 (3) Bin Discharger,
 (4) Alimentador,
 (5) Alimentador vibratório.



(1) (2) (3) (4) (5)

- (1) Transportador e alimentador por gravidade ativado a ar,
 (2) Moega receptora de ensacados/compactador de sacos,
 (3) Descarregador de bags,
 (4) Descarregador de bag com moega receptora de ensacados,
 (5) Abridor automático de bags.



(1) (2) (3) (4) (5)

- (1) Coletador de pó tipo cartucho com fluxo de ar descendente,
 (2) Filtro "Bin-Vent" tipo mangas,
 (3) Filtro "Bin-vent" tipo cartucho,
 (4) Filtro tipo cartucho com remoção pela parte superior,
 (5) Filtro/receptor a vácuo tipo cartucho (5).



(1)

(2)

(3)

(4)

(5)

- (1) Receptor final,
 (2) Válvula receptora,
 (3) Registro receptor,
 (4) Desviador 90°,
 (5) Desviador 15° 2 e 3 vias.



(1)

(2)

(3)

(4)

(5)

- (1) Desviador crossover,
 (2) Comutador multi-entrada,
 (3) Desviador deslizante 2 vias,
 (4) Rotary spout,
 (5) Transportador.



(1)

(2)

(3)

(4)

(5)

- (1) Curvas tubulares resistentes a abrasão,
 (2) Curvas/cotovelos tubulares simples de ferro e cerâmica,
 (3) Curva tubular de cerâmica de raio longo,
 (4) Acoplamentos para tubulação,
 (5) Visor de tubo.

8.4 - Aplicações

Abaixo serão listadas algumas aplicações praticas deste tipo de transportador em vários tipos de industrias.

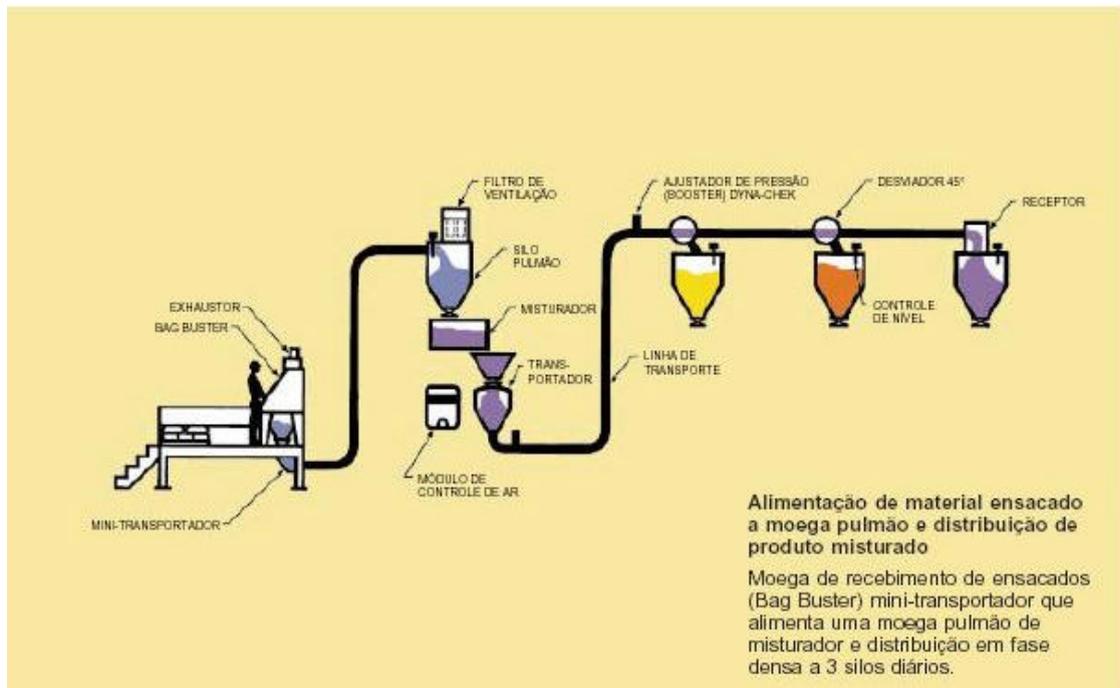


Fig. 72 – Alimentação de material ensacado

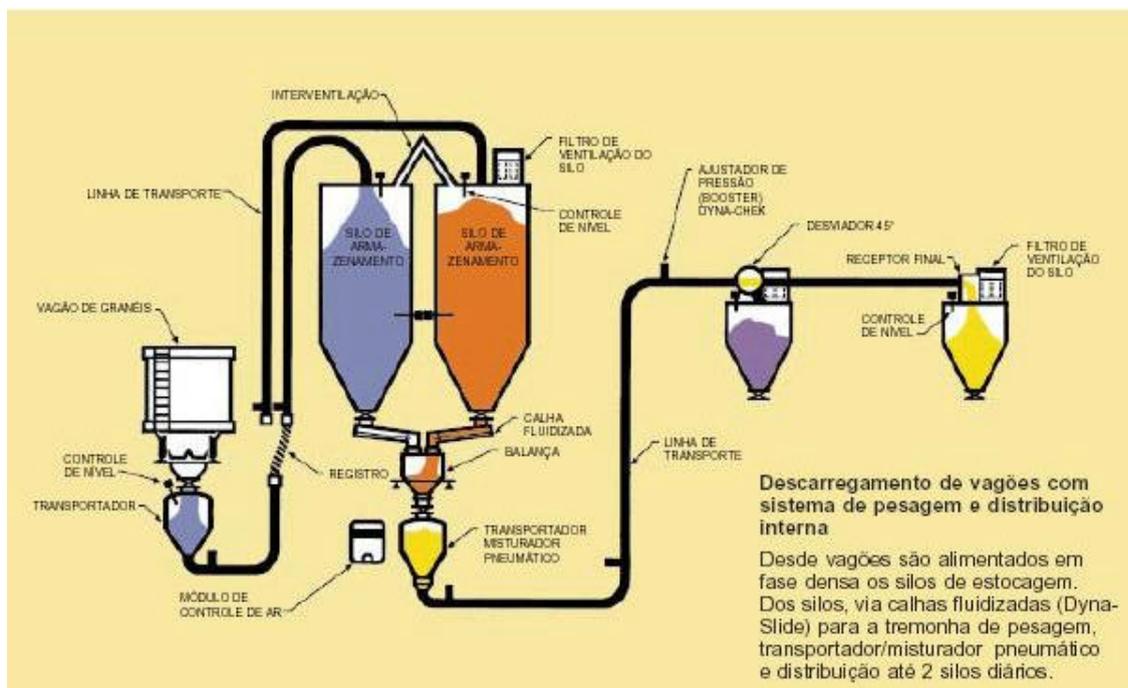


Fig. 73 – Descarregamento de vagões com sistema de pesagem e distribuição

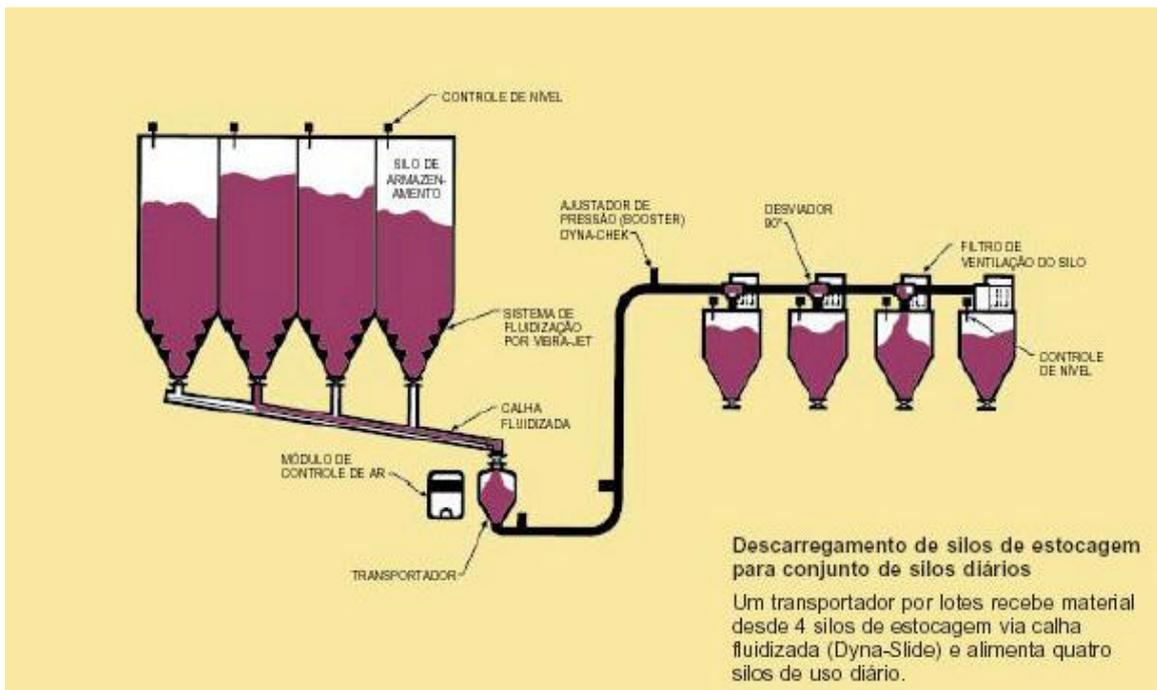


Fig. 74 – Descarreg. de silos de estocagem para conjunto de silos diários

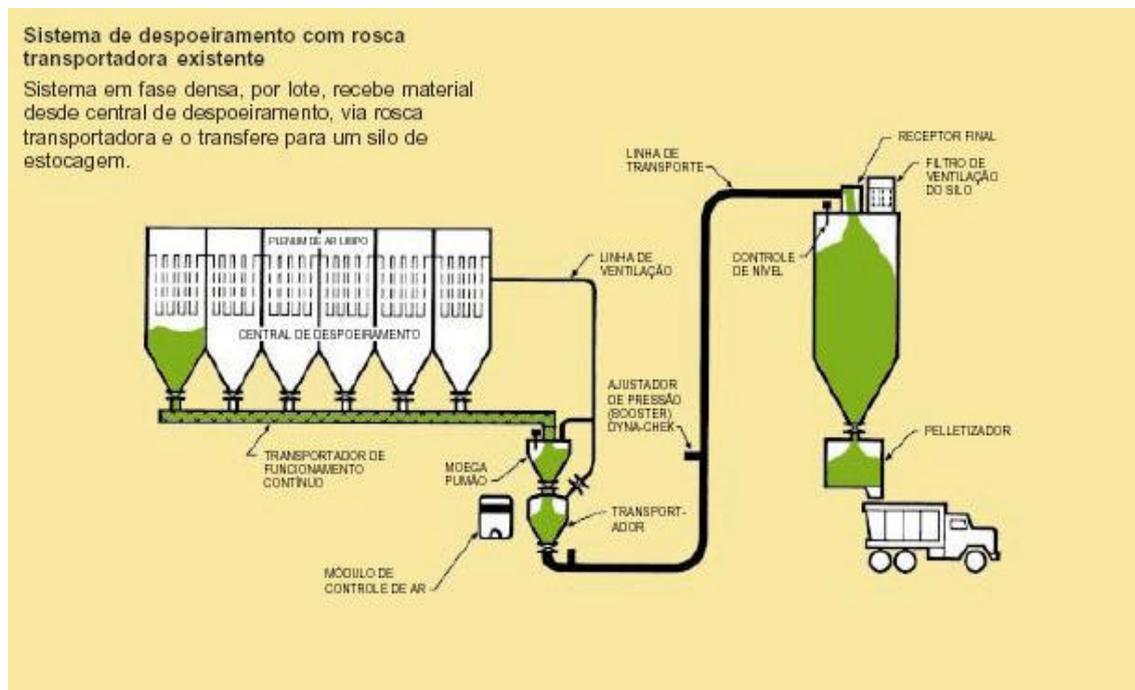


Fig. 75 – Sistema de despeiramento com rosca transportadora existente

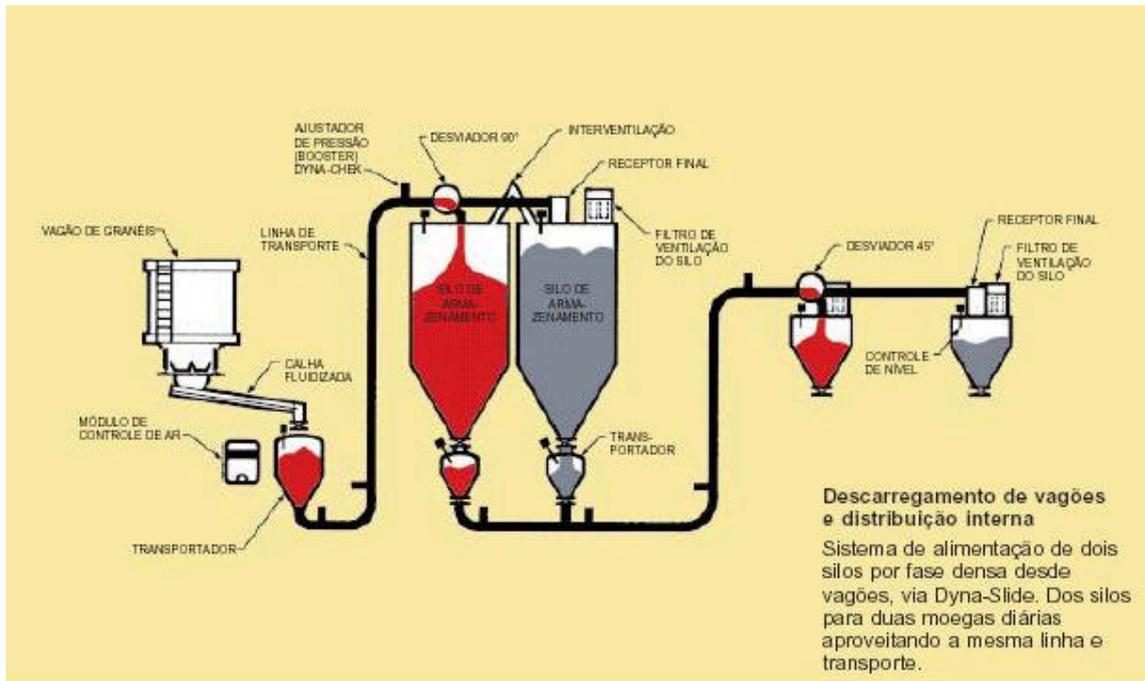


Fig. 76 – Descarregamento de vagões e distribuição interna

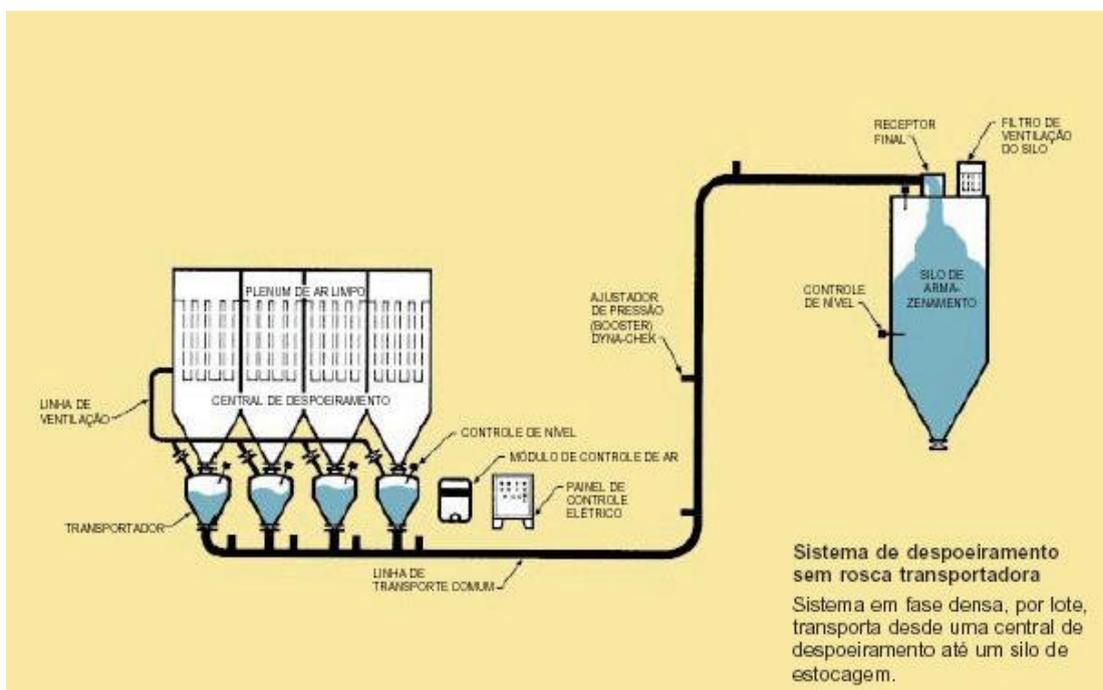


Fig. 77 – Sistema de despoeiramento sem rosca transportadora

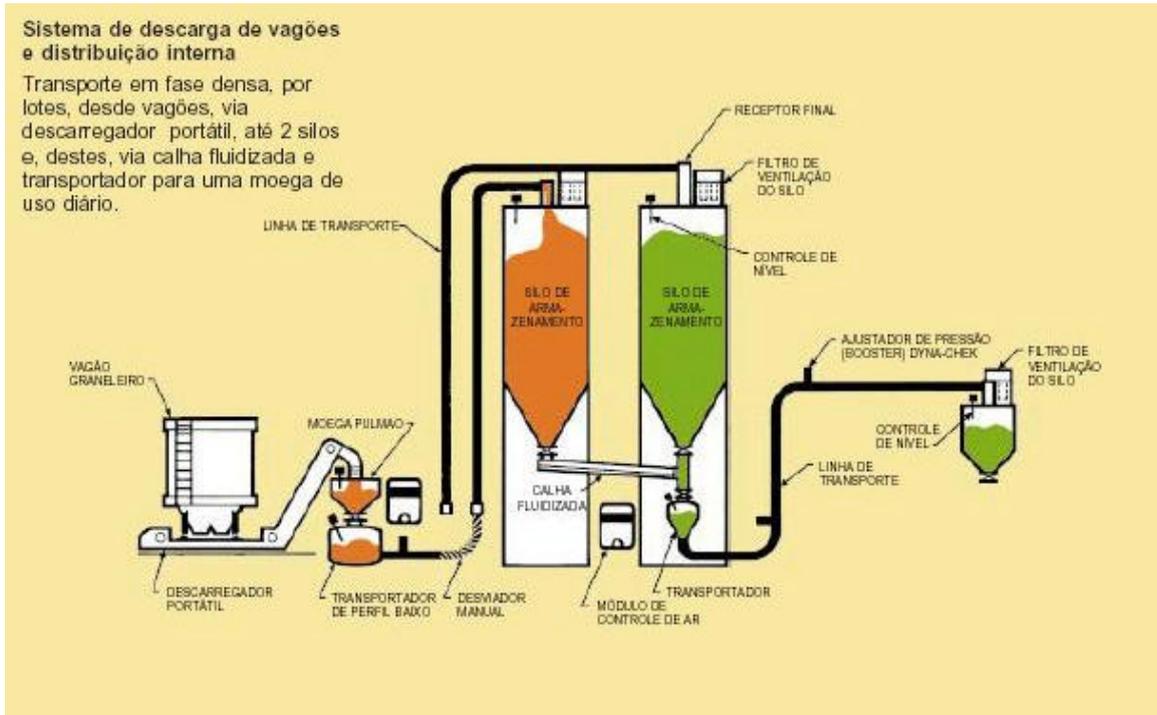


Fig. 78 – Sistema de descarga de vagões e distribuição interna

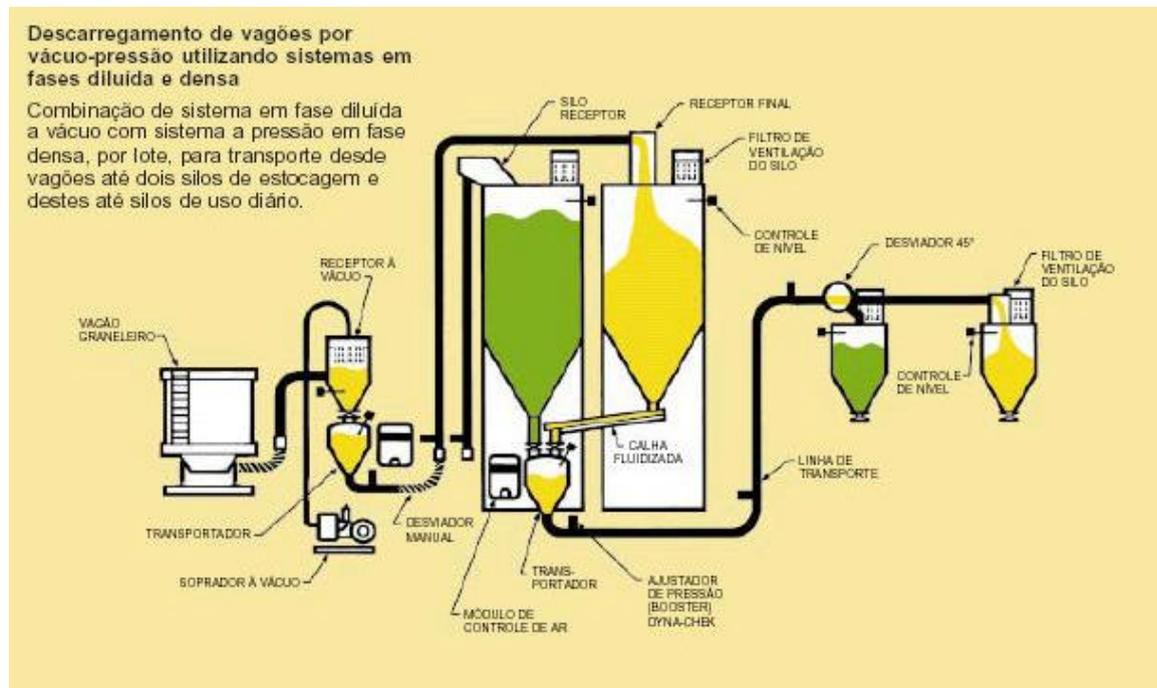


Fig. 79 – Descarregamento de vagões por vácuo em fases diluída e densa

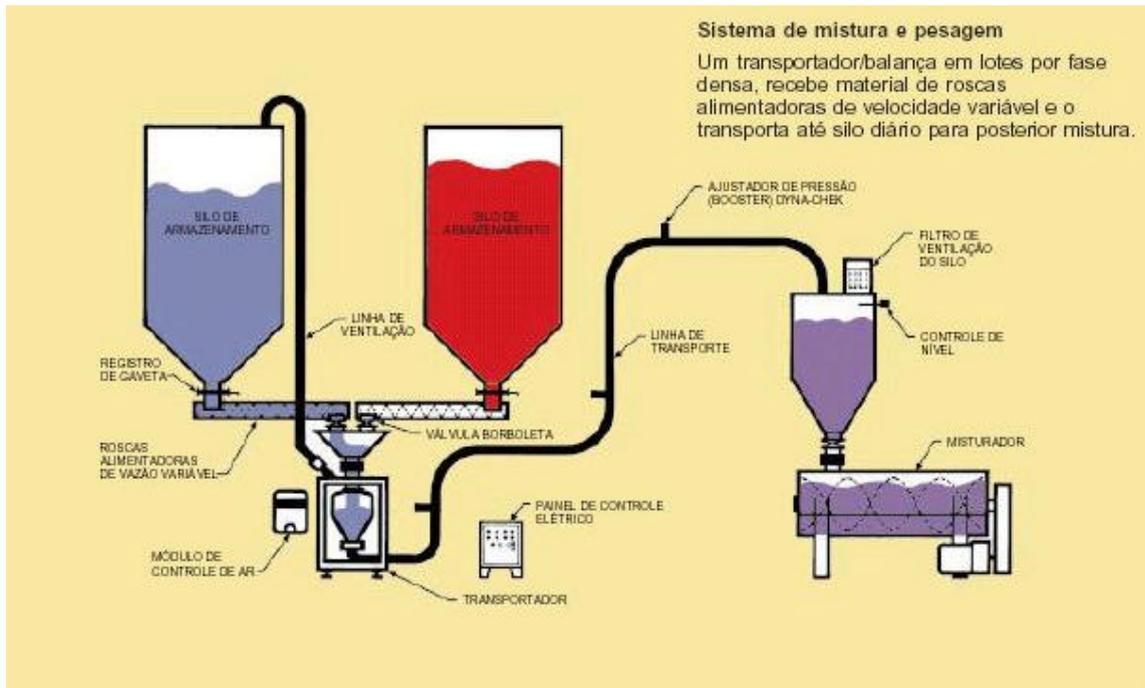


Fig. 80 – Sistema de mistura e pesagem

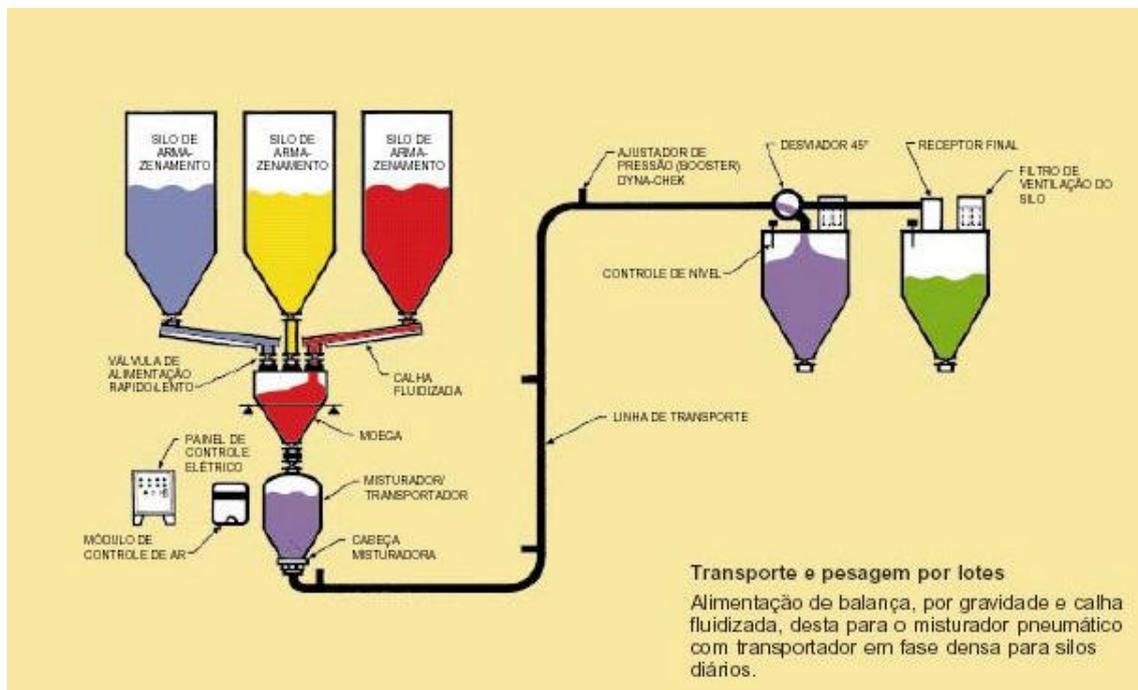


Fig. 81 – Transporte e pesagem por lotes

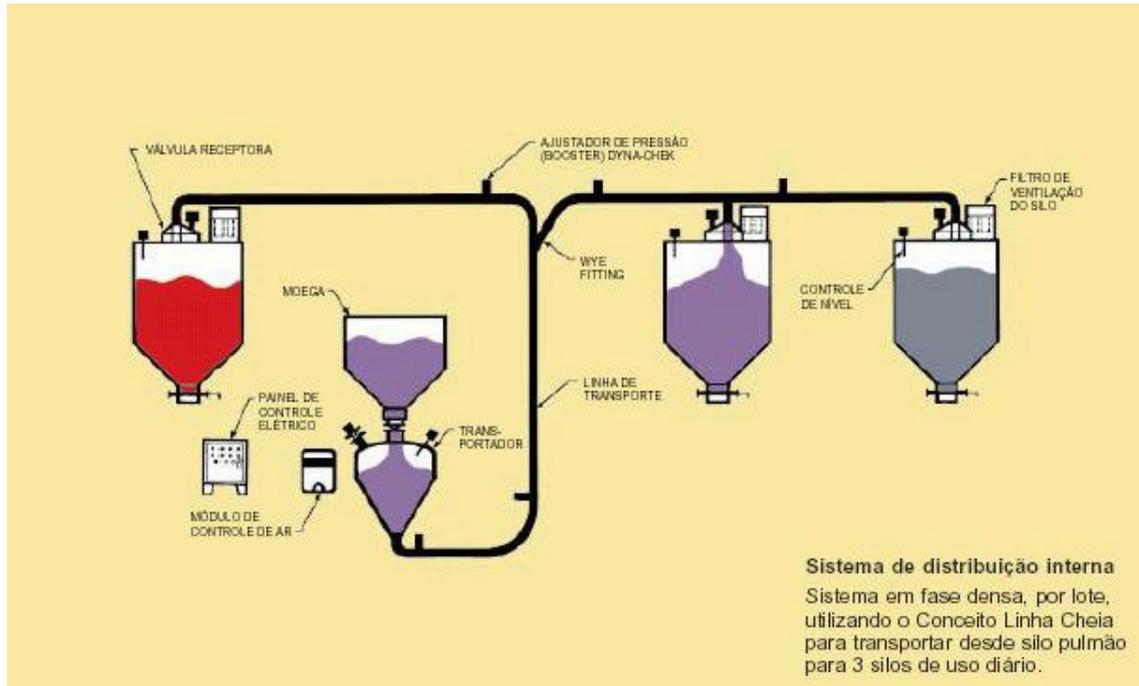


Fig. 82 – Sistema de distribuição interna

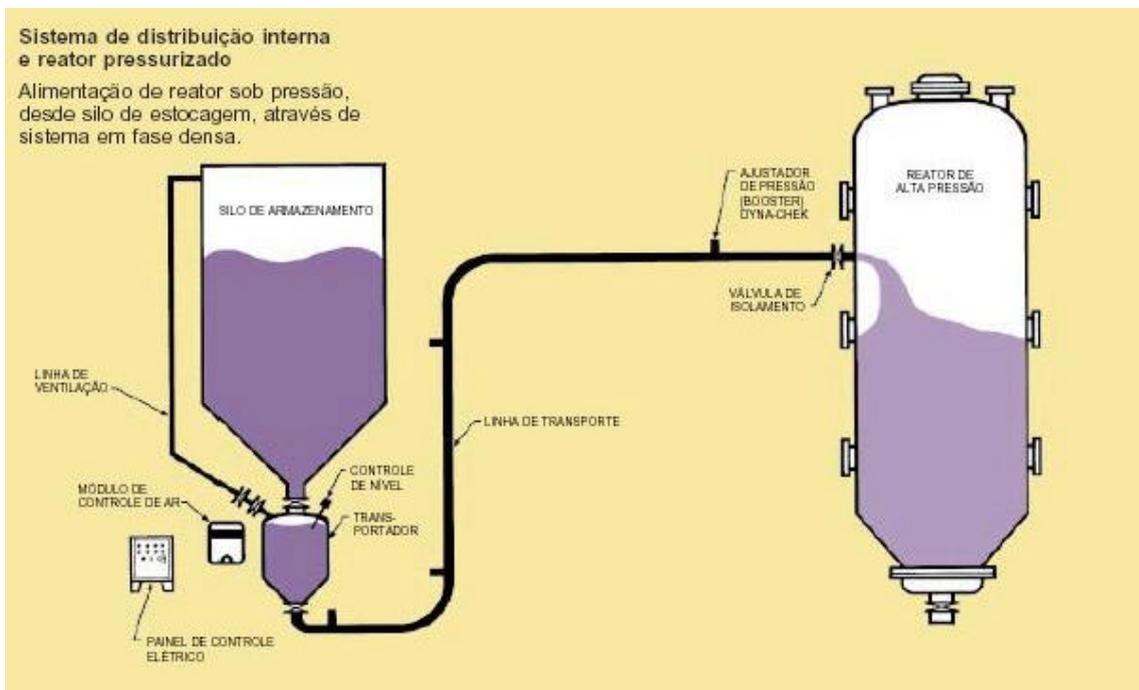


Fig. 83 – Sistema de distribuição interna e reator pressurizado

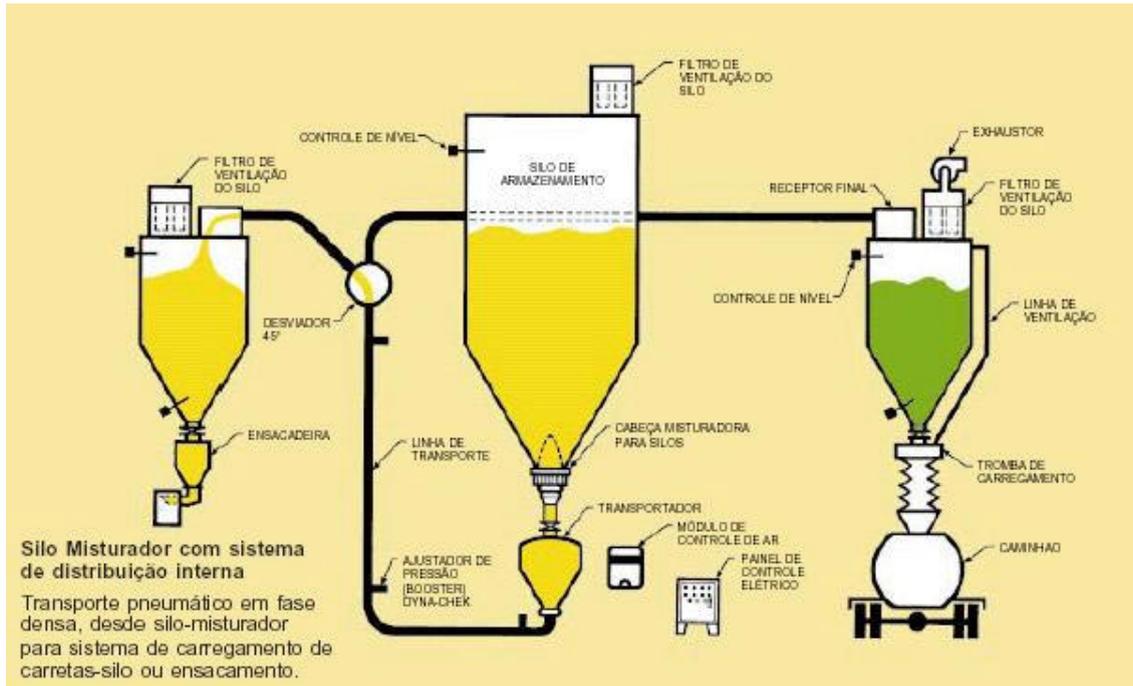


Fig. 84 – Silo misturador com sistema de distribuição interna

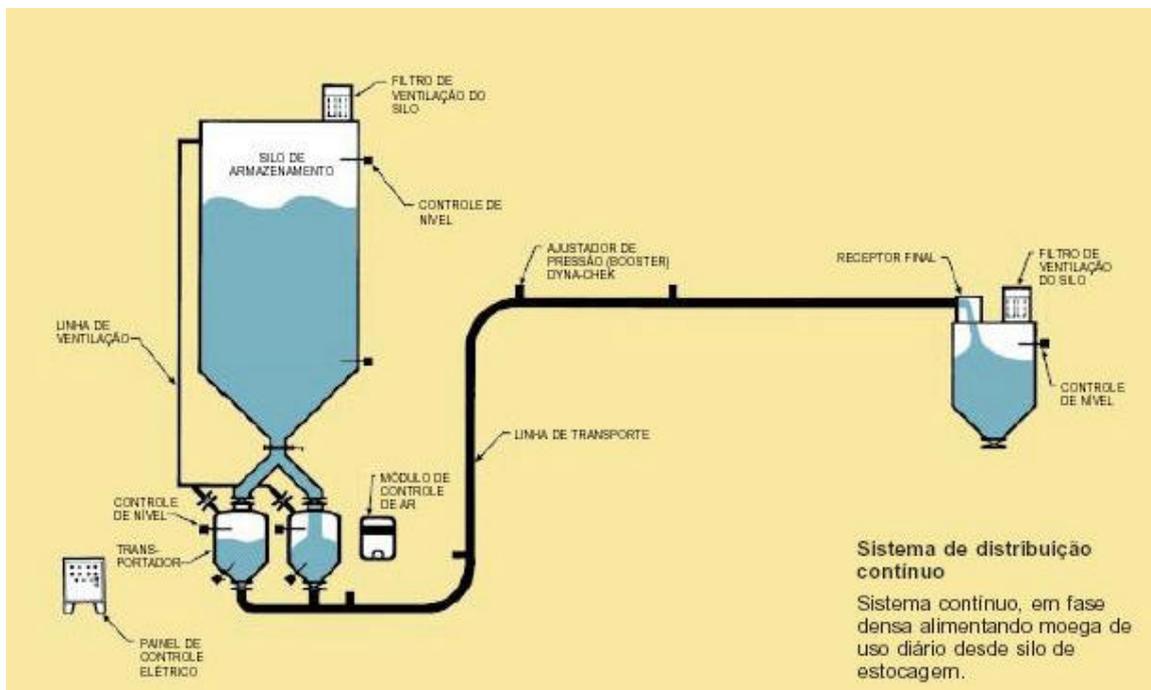


Fig. 85 – Sistema de distribuição contínuo

8.5 - Projeto de um Transportador Pneumático

O Transporte Pneumático se refere ao movimento de sólidos suspensos em (ou forçado por) um fluxo de gás através de tubos horizontais e/ou verticais. É

um dos métodos mais populares para deslocar sólidos na indústria química, em curtas distâncias. Os transportadores pneumáticos podem ser usados para partículas que variam de pós finos a pelotas, com densidades aparentes de 16 a 3200 kg/m³ (1 a 200 lb/ft³).

a) Transportar em regime de fase diluída ou fase densa ?

O engenheiro projetista tem quatro escolhas típicas para especificação de um sistema de transporte pneumático.

1. Operação de fase diluída a vácuo
2. Operação de fase diluída sob pressão
3. Operação de fase diluída a vácuo-pressão
4. Operação em regime de fase densa sob pressão

Os sistemas à vácuo permitem a admissão de múltiplos produtos, pelo uso de válvulas desviadoras simples. Porém, fica caro ter destinos múltiplos porque cada um tem que ter seu próprio filtro receptor com capacidade de vácuo parcial. Sistemas de vácuo também são mais “sensíveis a distâncias” que os sistemas de pressão, devido ao diferencial máximo de pressão ser de 5,5 a 6,0 Psi. Já os sistemas de fase diluída sob pressão, podem alcançar um diferencial de pressão de 12 Psi facilmente. A operação utilizando ambos os métodos (pressão-vácuo) às vezes é ideal para uma determinada instalação. Uma aplicação muito comum é a descarga de um vagão-de-trem padrão. Considerando que os carros não podem ser pressurizados, o ar é puxado do exterior, através do carro (levando sólidos com ele) para um filtro. Então depois do filtro, um soprador pode ser usado para enviar os sólidos para o receptor final.

A escolha entre operar em regime de fase diluída ou densa, depende tipicamente das propriedades dos sólidos. Por exemplo, a operação a uma velocidade de mistura mais baixa é comum para os produtos altamente abrasivos ou para aqueles que degradam facilmente. Este método é popular, por exemplo, no transporte de caulim.

b) Variantes de operação para o transporte pneumático em regime de fase diluída:

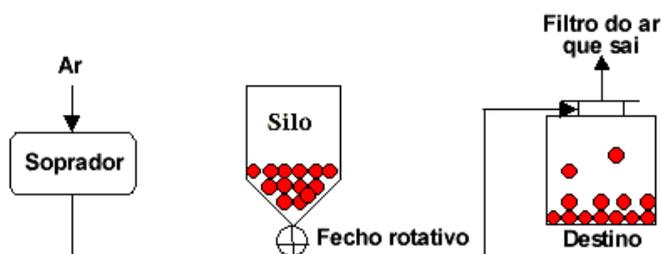


Fig. 86 – Fase diluída: operação sob pressão

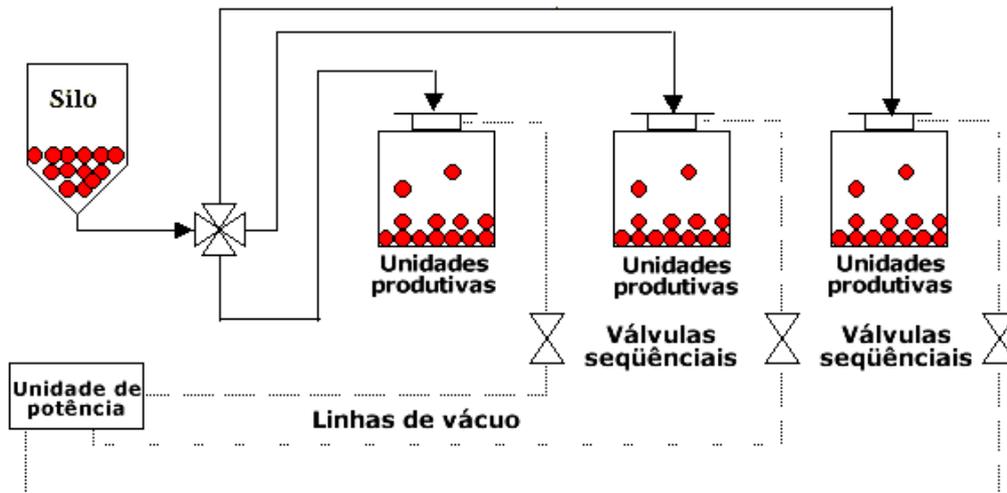


Fig. 87 – Fase Diluída: operação a vácuo

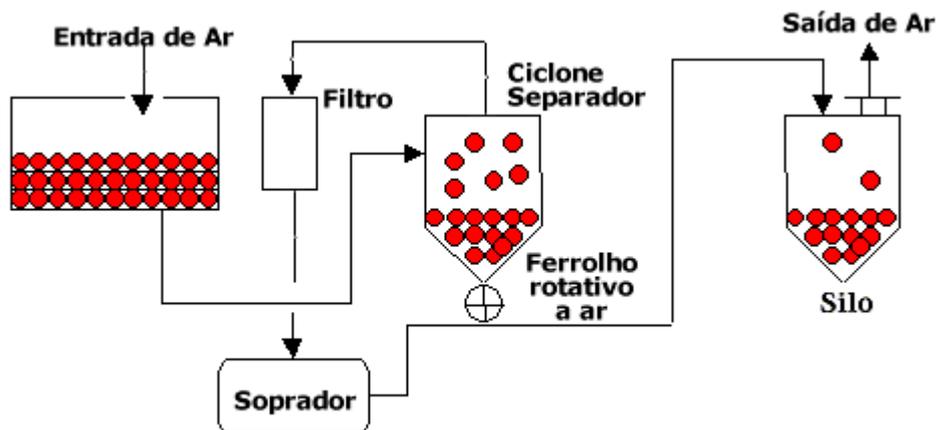


Fig. 88 – Fase Diluída: operação vácuo - pressão

8.6 - Projetando um sistema para operar com fase diluída

Admita um sistema com os seguintes parâmetros:

- Comprimento: 200 pés de tubo reto
- Acessórios: 2 cotovelos de 90 graus
- Densidade aparente: 60 lb/ft³ (960 kg/m³)
- Capacidade do sistema: 25.000 lb/h (cerca de 11.340 kg/h)

As informações de projeto usadas aqui assumem que o ar é o gás de arraste, mas para um projeto preliminar, estas cartas serão suficientes para outros gases, como nitrogênio. Esteja atento ao usar ar como gás de arraste pois alguns pós, quando são misturados com oxigênio, formam uma mistura explosiva!

Os nomogramas mostrados adiante, juntamente com as tabelas adicionais, podem ser usados para um projeto inicial.

Etapa - 1: Determine o comprimento equivalente da tubulação para o sistema

Para este tipo de cálculo, cotovelos de 90 graus têm um comprimento equivalente de 25 pés (7.6 m) enquanto cotovelos de 45 graus têm um comprimento equivalente de 15 ft (4.6 m). Então, para o nosso exemplo:

$$\text{Comprimento equivalente} = 200 \text{ ft} + 2 (25 \text{ ft}) = 250 \text{ ft}$$

Etapa - 2: Escolha uma velocidade de gás inicial para mover as partículas

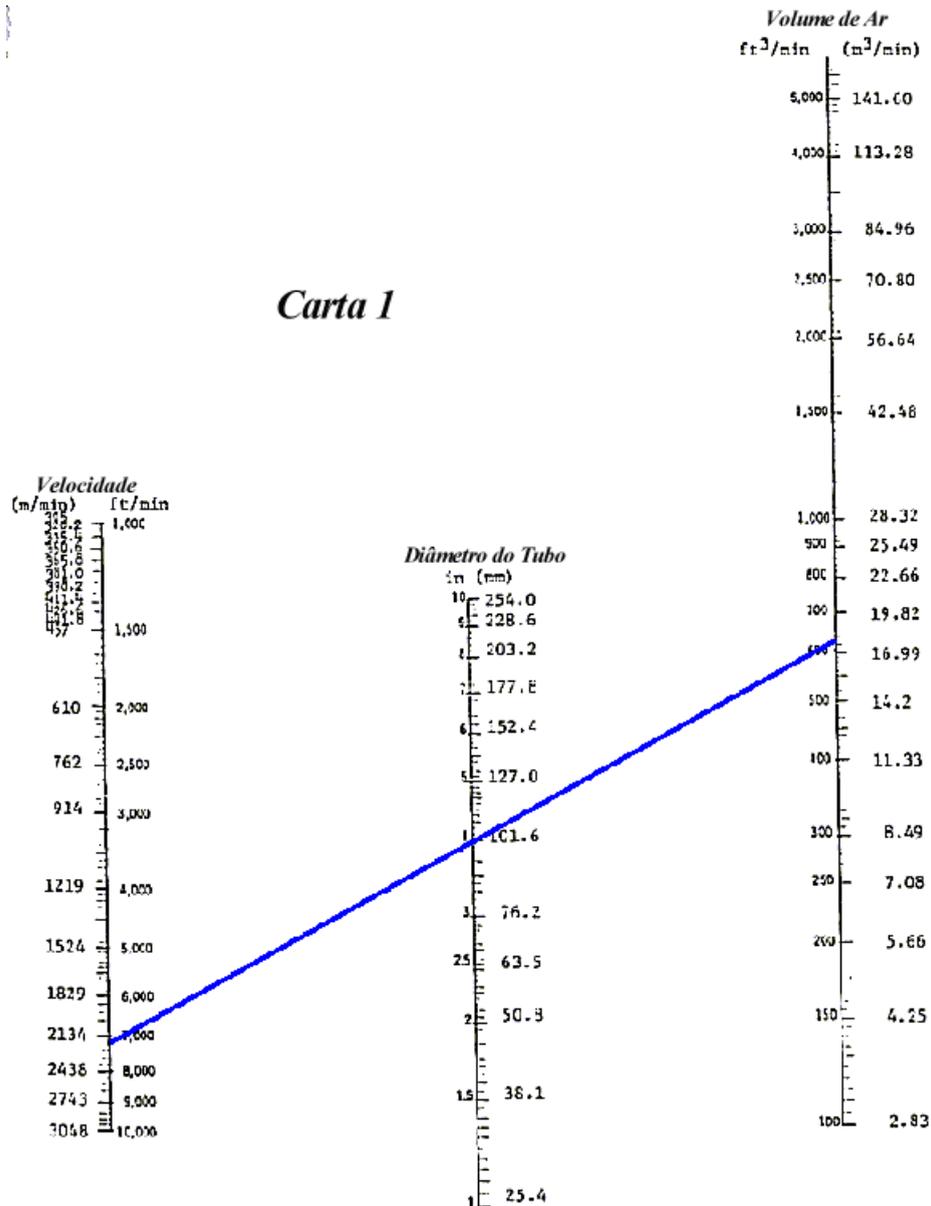
Usando a tabela abaixo, nós escolhemos nossa velocidade inicial de gás.

Densidade bulk		Velocidade do Ar	
lb/ft ³	kg/m ³	ft/min	m/min
10	160	2900	884
15	240	3590	1094
20	320	4120	1256
25	400	4600	1402
30	480	5050	1539
35	560	5500	1676
40	640	5840	1780
45	720	6175	1882
50	800	6500	1981
55	880	6800	2072
60	960	7150	2179
65	1040	7450	2270
70	1120	7700	2347
75	1200	8000	2438
80	1280	8250	2515
85	1360	8500	2591
90	1440	8700	2652
95	1520	9000	2743
100	1600	9200	2804
105	1680	9450	2880
110	1760	9700	2957
115	1840	9900	3118
120	1920	10500	3200

Para nosso sistema, nós temos uma velocidade inicial de gás de 7.150 ft/min (2.179 m/min).

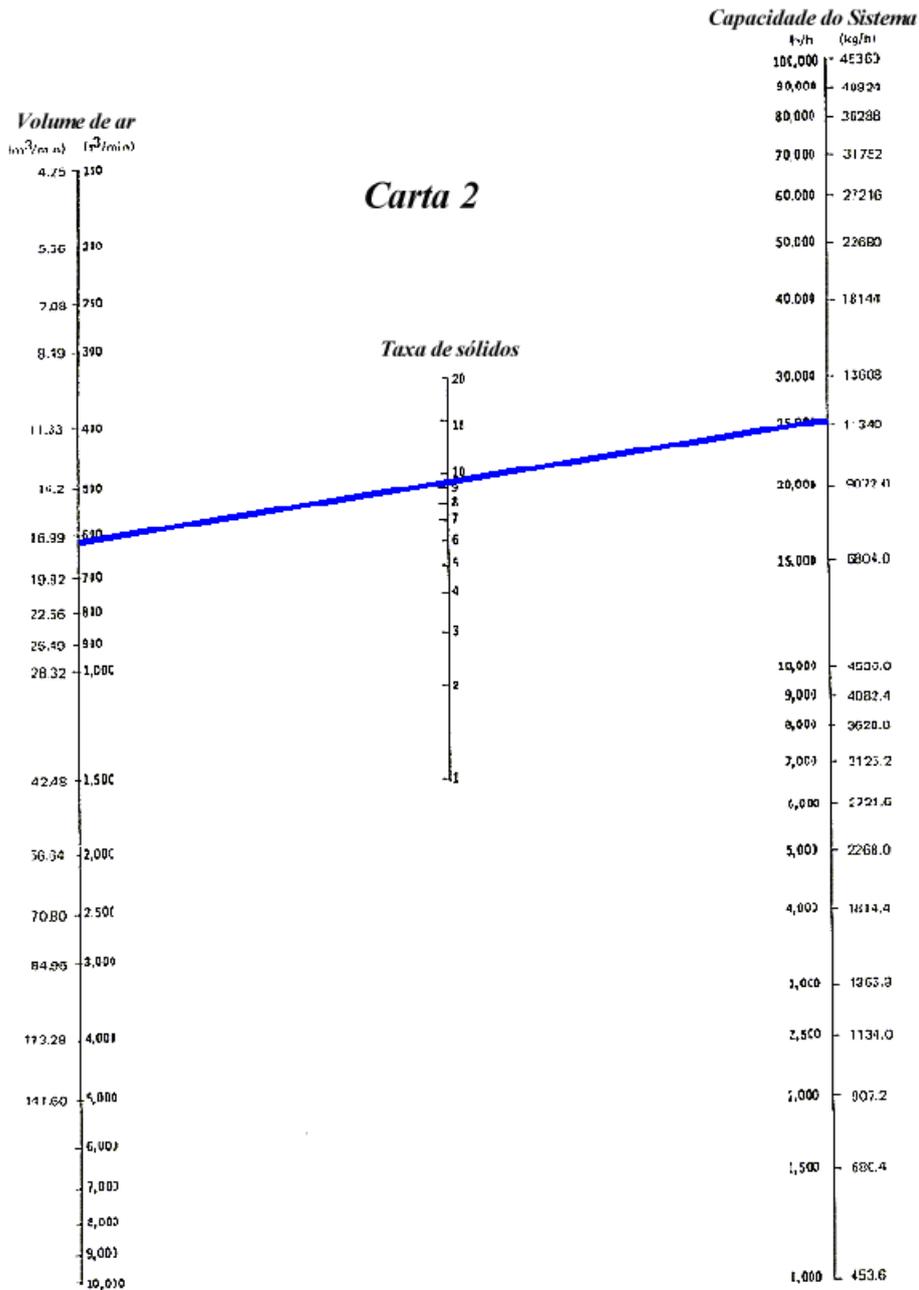
Etapa - 3: Assuma um diâmetro de tubo e leia o volume de ar exigido

Na Carta 1, trace uma linha reta da velocidade inicial para o diâmetro de tubo assumido e prolongue a linha para encontrar o volume de ar. Para nosso sistema, nós começaremos com um tubo comum de 4 polegadas de diâmetro. Este procedimento resulta um volume de ar inicial de 610 ft³/min.



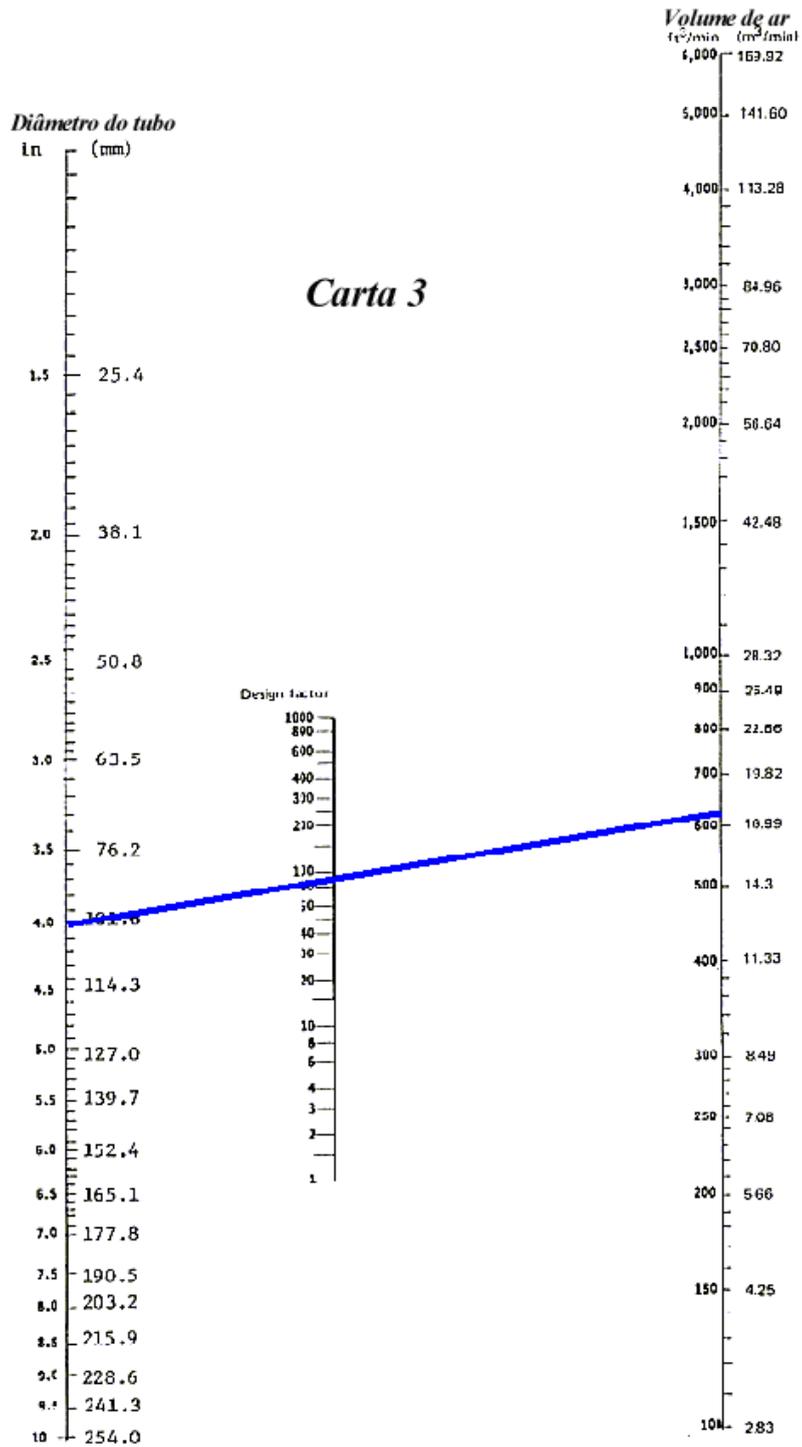
Etapa - 4: Encontre a relação de sólidos

Na Carta 2 trace uma linha conectando o volume de ar da Etapa - 3 e a capacidade requerida do sistema. Esta linha cruzará a linha de relação de sólidos no centro. Registre este valor. Para nosso sistema, nós temos uma relação de sólidos de cerca de 9.5. Se a relação de sólidos estiver acima de 15, retorne à Etapa - 3 e assuma um tamanho de linha maior.



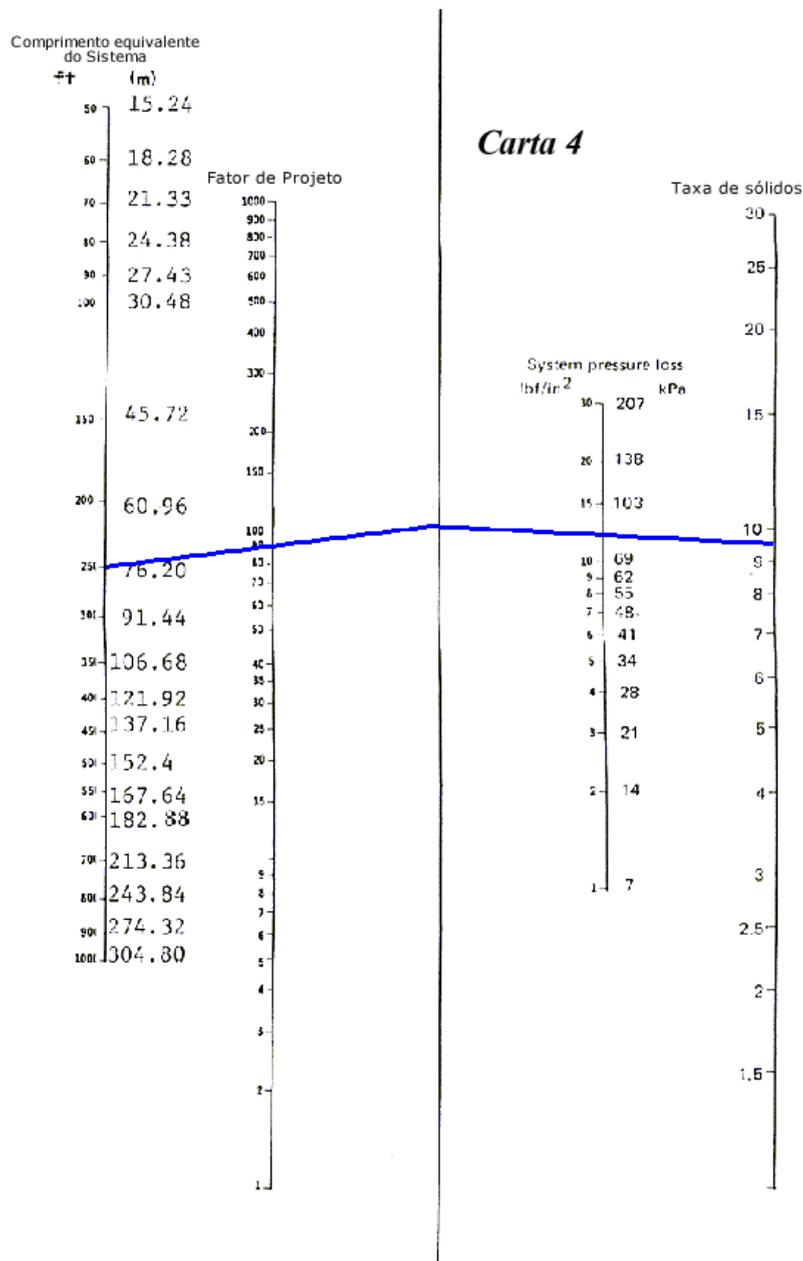
Etapa - 5: Determine o fator de projeto para o seu sistema

Na Carta 3, tire uma linha do diâmetro do tubo para o volume de gás e leia o fator de projeto na linha central. Para nosso sistema, isto dá um fator de projeto igual a 90.



Etapa - 6: Determine a perda de pressão no sistema

Na Carta 4, tire uma linha do comprimento equivalente do sistema para o fator de projeto e estenda esta linha para a linha no centro do quadro. Agora, conecte o ponto de interseção entre a primeira linha e a linha do centro com a relação de sólidos no extremo direito. Leia a perda de pressão do sistema no ponto de interseção com esta linha. Para nosso sistema, é aproximadamente 12.5 Psi (86 kPa). Se a perda de pressão for maior que 12 Psi para sistemas de pressão ou 5 Psi para sistemas de vácuo, assume um tamanho de linha menor e volte para a Etapa - 3. Embora nosso exemplo tenha uma queda de pressão que provavelmente é muito alta, nós continuaremos para a Etapa -7.



Etapa - 7: Determine a potência requerida pelo sistema

Na Carta 5, conecte a perda de pressão do sistema com o volume de gás e leia as exigências de potência na linha central. Para nosso sistema, este valor seria 70 HP.

