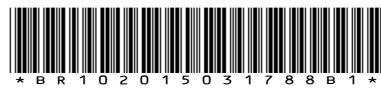




República Federativa do Brasil
Ministério da Economia
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(11) BR 102015031788-3 B1



(22) Data do Depósito: 17/12/2015

(45) Data de Concessão: 13/10/2021

(54) Título: SISTEMA DE LIMPEZA A SECO E SEPARAÇÃO PNEUMÁTICA DE MISTURAS DE SÓLIDOS PARTICULADOS, PROCESSO DE LIMPEZA A SECO E SEPARAÇÃO PNEUMÁTICA DE MISTURAS DE SÓLIDOS PARTICULADOS E SEUS USOS

(51) Int.Cl.: B07B 11/08.

(73) Titular(es): UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO - USP.

(72) Inventor(es): PAULO SELEGHIM JUNIOR; JOSÉ FRANCISCO TORRES; PATRÍCIA APARECIDA SANTIAGO MONTEIRO.

(57) Resumo: SISTEMA DE LIMPEZA A SECO E SEPARAÇÃO PNEUMÁTICA DE MISTURAS DE SÓLIDOS PARTICULADOS, PROCESSO DE LIMPEZA A SECO E SEPARAÇÃO PNEUMÁTICA DE MISTURAS DE SÓLIDOS PARTICULADOS E SEUS USOS A presente invenção refere-se a um sistema de limpeza a seco e separação de misturas de pelo menos dois sólidos particulados em transporte pneumático. O presente sistema compreende preferencialmente: alimentador de sólidos (1), soprador (7) e/ou aspirador (2), linhas (3) horizontais, inclinadas ou verticais de transporte pneumático, separadores estáticos (4); e alternativamente separadores dinâmicos (5) e filtros (6). Adicionalmente, a presente invenção refere-se a um processo de limpeza a seco e separação pneumática de misturas de sólidos particulados obtida por diferentes efeitos sinérgicos, tais como diferenças na velocidade saltação, gravidade, atrito e inércia. Ainda, as diferenças na velocidade de saltação produzem diferentes fluxos compreendendo particulados separados.

**SISTEMA DE LIMPEZA A SECO E SEPARAÇÃO PNEUMÁTICA DE
MISTURAS DE SÓLIDOS PARTICULADOS, PROCESSO DE LIMPEZA A
SECO E SEPARAÇÃO PNEUMÁTICA DE MISTURAS DE SÓLIDOS
PARTICULADOS E SEUS USOS**

Campo da invenção:

[001] A presente invenção se aplica no campo de operações de processamento, de forma mais específica na área de separação de sólidos de outros sólidos e faz referência a um sistema de limpeza a seco e separação de misturas de pelo menos dois sólidos particulados em transporte pneumático.

[002] Adicionalmente, a presente invenção refere-se a um processo de limpeza a seco e separação pneumática de misturas de pelo menos dois sólidos particulados.

Fundamentos da invenção:

[003] Os separadores pneumáticos atuais realizam a separação com base na diferença entre as forças de arraste aerodinâmico de partículas de diferentes tamanhos ou geometrias. Em particular, os separadores de misturas de palha e toletes de cana de açúcar utilizam sopradores instalados sobre o sistema de alimentação (mesa alimentadora ou esteira para descarga direta), cujo fluxo é direcionado para câmaras de separação.

[004] A hipótese conceitual destes sistemas é que diferentes constituintes (cana, palha ou impurezas) seguirão diferentes trajetórias no interior da câmara realizando assim a separação. Entretanto, estas trajetórias são extremamente sensíveis a um grande número de fatores intervenientes como condições atmosféricas externas (temperatura e pressão ambiente, rajadas de vento,

irregularidade da alimentação, morfologia e granulometria do material sólido, etc.).

[005] A ocorrência de chuvas, por exemplo, mesmo que fracas, cria aderência entre toletes, palha e impurezas que, devido ao pequeno tempo de residência na câmara, não podem ser separadas de forma eficiente. Desta forma, os sistemas atualmente em uso são pouco robustos, de modo que pequenas variações nas condições nominais de operação degradam fortemente o desempenho, e apresentam eficiência média baixa quando aferida ao longo de toda a safra.

[006] Dadas as condições em que são produzidos, colhidos e transportados até a usina, tais insumos vegetais se caracterizam como uma mistura de sólidos de grande variabilidade.

[007] No caso da cana, trata-se de uma composição trifásica constituída pela mistura de toletes de cana, palha picada e particulado mineral. Esta mistura pode variar tanto em composição (nas porcentagens mássicas de cada componente) quanto em granulometria e morfologia. As dimensões dos toletes de cana, por exemplo, podem variar em diâmetro e comprimento em função de diferentes regulagens da colhedeira, orientação da planta, estágio de crescimento, etc.

[008] Da mesma forma, o particulado mineral pode conter desde partículas de solo até pequenas pedras e partes metálicas normalmente desprendidas do maquinário agrícola. Somando-se a isto, a presença ou não de umidade altera significativamente a intensidade da aderência inter-partículas e, consequentemente, suas características de escoamento.

[009] Esta grande variabilidade de condições é uma das principais causas do desempenho e robustez insatisfatórios dos sistemas atuais baseados em um único efeito de separação (força de arraste aerodinâmico).

[010] Atualmente, a separação das partes da planta que seguem diferentes rotas de processamento industrial é feita no momento da colheita, o que implica em embarcar maquinário específico e transportá-lo juntamente com os dispositivos de colheita ao longo de toda a área de cultivo.

[011] No caso da cana, a colheita é realizada deixando-se a palha no campo. O aproveitamento deste excedente requer cinco operações agrícolas (aleiramento, enfardamento, coleta dos fardos, carregamento dos caminhões e transporte dos fardos para a usina) de forma que a operação como um todo se torna altamente antieconômica.

[012] Em tese, muito mais eficiente seria realizar a colheita integral por meio de colhedeiras simplificadas e leves e fazer a separação em um sistema estacionário na usina. Entretanto, os sistemas de separação a seco atualmente disponíveis são ineficientes, consomem muita energia e são pouco robustos no sentido de que pequenas variações nas condições nominais de operação engendram grande perda de desempenho.

[013] Atualmente, os sistemas existentes não são eficientes e não possibilitam o efetivo aproveitamento da palha. Assim, o desenvolvimento de um sistema de limpeza a seco e separação que atenda esta demanda e se integre numa estratégia de colheita integral, não somente produzirá ganhos em desempenho e eficiência no processamento

industrial, mas também no processo como um todo, reduzindo drasticamente o número de operações agrícolas necessárias, mas também por reduzir o gasto energético destas operações (máquinas mais leves) e, simultaneamente, tornando-as mais robustas (máquinas simplificadas tendem a quebrar menos).

[014] Desse modo, a presente invenção propõe um sistema destinado a transportar um material particulado realizando, simultaneamente, a separação de seus constituintes, em que este material particulado pode ser constituído de uma mistura de diferentes tipos ou tamanhos de grãos, agregados minerais ou, ainda, biomassa agrícola colhida sem separação prévia, tal como a cana-de-açúcar.

[015] Assim, esse sistema será importante para viabilizar o aproveitamento da palha que hoje permanece no campo e que pode constituir importante fonte de biomassa para diversas indústrias, tanto para a produção do etanol celulósico quanto para a produção de energia elétrica.

[016] Além disso, o sistema proposto pode também ser aplicado em setores industriais em que grandes quantidades de um material granulado deve ser separado ou classificado e, simultaneamente, cada fração transportada para seu respectivo sistema de processamento, tal como do setor de mineração e petroquímico em geral.

Estado da técnica:

[017] Alguns documentos do estado da técnica descrevem um sistema para a separação pneumática de misturas de sólidos particulados.

[018] Os documentos US2011132814 (A1), RU2362634 (C1), US4230559 (A), AU472524 (B2) e RU2462319 (C2) descrevem um método de separação de um material granuloso

misturado, em que o princípio físico de separação baseia-se na força de arraste aerodinâmico. A mesma é determinada analisando-se o alinhamento da força exercida sobre a partícula pelo escoamento pneumático. No caso do arraste, a força de separação está alinhada ao sentido do escoamento.

[019] Diferentemente, a presente invenção refere-se a um sistema e processo de separação pneumático, em que a direção da força de sustentação aerodinâmica e a direção do escoamento pneumático formam um ângulo de 90 graus.

[020] Portanto, nenhum dos documentos do estado da técnica descreve um sistema e um processo de limpeza a seco e separação pneumática de misturas de sólidos particulados, tais como os descritos na presente invenção.

Breve descrição da invenção:

[021] A presente invenção refere-se a um sistema de limpeza a seco e separação de misturas de pelo menos dois sólidos particulados em transporte pneumático. O presente sistema compreende preferencialmente: alimentador de sólidos, soprador ou aspirador, linhas horizontais, inclinadas ou verticais de transporte pneumático, separadores estáticos; e alternativamente: separadores dinâmicos e filtros.

[022] Adicionalmente, a presente invenção refere-se a um processo de limpeza a seco e separação pneumática de misturas de sólidos particulados obtida por diferentes efeitos sinérgicos, tais como diferenças na velocidade saltação, gravidade, atrito e inércia. Ainda, as diferenças na velocidade de saltação produzem diferentes fluxos compreendendo particulados separados.

Breve descrição das figuras:

[023] Para obter uma total e completa visualização do objeto desta invenção, são apresentadas as figuras as quais se faz referências, conforme se segue.

[024] A Figura 1 é uma representação esquemática do sistema da presente invenção para separação de misturas de mais de dois sólidos particulados.

[025] A Figura 2 é uma representação esquemática industrial do sistema da presente invenção.

Descrição detalhada da invenção:

[026] A presente invenção refere-se a um sistema de limpeza a seco e separação pneumática de misturas de pelo menos dois sólidos particulados, o qual compreende preferencialmente:

- a) Alimentador de sólidos (1);
- b) Aspirador (2);
- c) Linhas (3) de separação e transporte pneumático; e
- d) Separadores estáticos (4).

[027] Os referidos sólidos particulados são selecionados do grupo que consistem em grãos, tais como arroz, cevada, feijão, entre outros; agregados minerais em geral, tais como brita, solo, entre outros; biomassa agrícola, tal como forragem, silagem de milho, sorgo, cana-de-açúcar, entre outros; e componentes do petróleo.

[028] Desse modo, a separação dos constituintes do sólido particulado é feita ao longo de linhas (3) de transporte pneumático, as quais são selecionadas do grupo que consiste em linhas (3) horizontais, inclinadas ou verticais, preferencialmente linhas (3) horizontais de transporte pneumático.

[029] O emprego de tecnologias de manipulação

pneumática visa assegurar que a separação e limpeza serão feitas sem a necessidade de lavagem com água, ou seja, a seco, além de virtualmente eliminar a necessidade de sistemas mecânicos ativos como peneiras rotativas e esteiras de transporte. Nestas condições obtém-se um sistema com maior simplicidade construtiva e, consequentemente, alcançar altas eficiências energéticas com um mínimo de insumos, principalmente água tratada.

[030] Ainda, vale ressaltar que, alternativamente, o aspirador (2) pode ser substituído ou coadjuvado por um soprador (7), instalado à montante das linhas de transporte pneumático (3), na base do silo de alimentação (1), uma vez que o presente sistema pode trabalhar em pressão positiva ou negativa ou em ambas as pressões positiva e negativa.

[031] Assim, o presente sistema faz uso de fenômenos distintos interagindo de forma sinérgica, tais como diferenças na velocidade saltação, gravidade, atrito e inércia para obter a separação dos constituintes do sólido particulado.

[032] O princípio físico promotor da separação concerne o chamado fenômeno de saltação causado pela força de Saffman (Saffman, P. G. 1965. "The lift on a small sphere in a slow shear flow". J. Fluid Mech. 22, 385-400; and Corrigendum 1968 J. Fluid Mech. 31, 624).

[033] Quando o ar é soprado horizontalmente sobre um sólido particulado em repouso, há um limite de velocidade acima do qual a intensidade das forças turbulentas supera a força peso exercida sobre a partícula.

[034] Nesta situação a partícula começa a movimentar-se sobre o leito fixo (saltação) sendo capturada

pelo escoamento e transportada pneumáticamente.

[035] Vale ressaltar que diferentes partículas possuem diferentes velocidades de saltação dependendo de sua geometria e peso específico. Logo, a velocidade do ar soprado para a separação dos sólidos particulados varia tipicamente de 0,5 a 15 m/s, de acordo com a relação área/volume da partícula, o que influenciará na atuação das forças turbulentas relativamente ao peso, e consequentemente na sua velocidade de saltação que pode variar tipicamente de 1 a 15 m/s.

[036] Desse modo, as diferenças na velocidade de saltação das partículas produzem diferentes fluxos (central e estratificado) contendo particulados separados.

[037] Ainda, alternativamente o ar soprado pode ser também qualquer gás de transporte, tal como CO₂ (gases de combustão), vapor d'água, nitrogênio, entre outros; ou uma mistura de gases inertes.

[038] A título de exemplificação, a palha de cana-de-açúcar picada se caracteriza por possuir um alto quociente área/volume, o que favorece a atuação das forças turbulentas relativamente ao peso, proporcional a seu volume, de maneira que sua velocidade de saltação varia de 1 a 2m/s.

[039] Já pequenas pedras e grãos de solo têm uma relação área/volume menor favorecendo a ação segregadora da gravidade e, por esta razão, possuem velocidades de saltação maiores que variam de 10 a 15m/s.

[040] Portanto, em uma modalidade preferida da presente invenção, uma mistura de palha picada e componentes particulados, tais como grãos de areia, toletes

de cana, entre outros, pode ser separada em escoamento horizontal com ar soprado ou aspirado a 5m/s, fazendo com que a palha seja transportada pneumáticamente na região central da linha (3) e os demais componentes particulados de forma estratificada na porção inferior da linha (3).

[041] Além disso, efeitos que coadjuvam a separação do presente sistema baseiam-se na inércia do particulado e diferenças de forças de arraste. Mais especificamente, um separador estático (4) é instalado ao final da linha (3) horizontal de transporte pneumático visando direcionar os fluxos do sólido estratificado e do sólido em transporte (capturados pelo escoamento ou entranhados ou "airborne") para diferentes linhas (3) de transporte.

[042] O referido separador estático (4) é selecionado do grupo que consiste em ramificações no formato de um "T", ramificações no formato de um "Y", telas perfuradas, e filtros. Preferencialmente o separador estático (4) é no formato de um "T", pois além do efeito inercial tem-se ainda a ação da gravidade a auxiliar na separação.

[043] Esta configuração, e não propriamente o uso do transporte pneumático, representa o elemento fundamental de inovação do sistema aqui descrito. Além disso, o presente sistema combina funcionalidades simultâneas de transporte, secagem e separação de uma mistura de partículas sólidas.

[044] Na Figura 1 é ilustrada uma representação esquemática do sistema para a separação pneumática de misturas de sólidos particulados, em que "A" representa uma

determinada partícula a ser separada e "B" representa uma ou um grupo de partículas não separadas na linha (3) de separação.

[045] Ainda na Figura 1, a seta que indica a injeção de ar se refere à fase transportadora. Ainda, (1) refere-se ao alimentador de sólidos, (X) ao escoamento segregado, (3) refere-se a linha horizontal de transporte e separação pneumática, (4) refere-se ao divisor estático de fluxo no formato de "T", e (Y) refere-se ao escoamento homogêneo.

- Separação de misturas de mais de dois sólidos:

[046] Alternativamente, para mistura de sólidos que contém mais de dois componentes característicos (ABCD conforme ilustrada na Figura 2), basta utilizar diferentes tubulações de linhas (3) horizontais, inclinadas ou verticais, intercaladas por separadores estáticos (4), cada qual operada às velocidades de transporte pneumático distintas para que ocorra a separação desejada.

[047] Ainda, alternativamente, podem-se instalar separadores dinâmicos (5) do tipo inercial, tais como ciclones e chicanas, ao final da linha (3) de transporte pneumático, além dos efeitos iniciais e da gravidade, tem-se ainda o atrito do particulado mais pesado com as paredes externas do separador dinâmico (5) como efeito adicional de separação.

[048] Além dos separadores dinâmicos (5), podem-se também instalar filtros (6), tais como do tipo "de mangas", ao final da linha (3) de transporte pneumático.

[049] Na Figura 2 é ilustrada uma representação esquemática industrial do sistema aqui proposto para

separação de misturas de mais de dois sólidos particulados.

[050] Adicionalmente, a presente invenção refere-se a um processo de limpeza a seco e separação pneumática de misturas de pelo menos dois sólidos particulados que compreende as etapas de:

- a) Alimentação com uma mistura de sólidos particulados em um sistema transportador e separador pneumático;
- b) Aplicação de diferentes velocidades de transporte pneumático sobre os sólidos particulados;
- c) Segregação dos sólidos particulados nas linhas de transporte; e
- d) Direcionamento dos sólidos particulados separados para diferentes linhas de transporte.

[051] As etapas do referido processo estão melhor detalhadas a seguir.

- a) Alimentação com uma mistura de sólidos particulados em um sistema transportador e separador pneumático:

[052] Nessa etapa é inserida uma mistura de sólidos particulados selecionados do grupo que consistem em grãos, tais como arroz, cevada, feijão, entre outros; agregados minerais em geral, tais como brita, solo, entre outros; biomassa agrícola, tal como forragem, silagem de milho, sorgo, cana-de-açúcar, entre outros; e componentes do petróleo.

[053] Ainda, o referido sistema transportador e separador pneumático é preferencialmente o presente sistema aqui proposto.

- b) Aplicação de diferentes velocidades de transporte

pneumático sobre os sólidos particulados:

[054] Nessa etapa, uma vez que a velocidade de saltação é intrínseca da partícula, a velocidade de transporte pneumático é definida pelo operador/projetista regulando o soprador (7) ou aspirador (2), de forma que seja superior à velocidade de saltação da partícula que se deseja separar da mistura.

[055] Desse modo, quando o ar é soprado ou aspirado horizontalmente sobre um sólido particulado em repouso, há um limite de velocidade acima do qual a intensidade das forças turbulentas supera a força peso exercida sobre a partícula.

[056] Nesta situação a partícula começa a movimentar-se sobre o leito fixo (saltação) sendo capturada pelo escoamento e transportada pneumaticamente.

[057] Ou seja, na etapa "b" o sequenciamento de trechos de linhas (3) horizontais, verticais ou inclinados do transportador e separador deve possuir diferentes velocidades de transporte pneumático, de forma que em cada trecho a velocidade do escoamento que varia de 0,5 a 15 m/s seja superior à velocidade de saltação da partícula que varia de 1 a 15 m/s que se deseja separar da mistura particulada.

[058] Ainda, alternativamente o ar soprado pode ser também qualquer gás de transporte, tal como CO₂ (gases de combustão), vapor d'água, nitrogênio, entre outros; ou uma mistura de gases inertes.

c) Segregação dos sólidos particulados nas linhas de transporte:

[059] Nessa etapa, a segregação dos sólidos

particulados é obtida por diferentes efeitos sinérgicos selecionados do grupo que consiste em diferenças na velocidade de saltação, gravidade, atrito e inércia.

[060] Devido à etapa "b", as partículas que são capturadas pelo escoamento são levadas à região central da linha (3) e mantidas nesta região pela força de sustentação aerodinâmica (força de Saffman). Já as outras partículas não capturadas pelo escoamento são então segregadas, no fundo ou na região anular da linha (3) de transporte.

[061] Assim, as diferenças na velocidade de saltação das partículas produzem diferentes fluxos (central e estratificado) contendo particulados separados.

[062] Cabem ressaltar que as referidas linhas (3) de transporte são selecionadas do grupo que consiste em linhas horizontais, linhas verticais ou linhas inclinadas, preferencialmente linhas horizontais.

d) Direccionamento dos sólidos particulados separados para diferentes linhas de transporte:

[063] Uma vez obtida a segregação do particulado nos trechos de linhas (3) horizontais, verticais ou inclinadas de separação por interveniência da força de sustentação aerodinâmica, ou força de Saffman, separadores estáticos (4) de fluxo direcionam os fluxos do sólido estratificado e do sólido em transporte (capturados pelo escoamento ou entranhados ou "airborne") para diferentes linhas (3) de transporte.

[064] Os referidos separadores estáticos (4) de fluxo são selecionados do grupo que consiste em ramificações em "T" ou "Y" ou ainda telas perfuradas ou filtros.

[065] Alternativamente, para efeito adicional de separação, separadores dinâmicos (5) do tipo inercial, tais como ciclones e chicanas, são utilizados para que haja atrito do particulado mais pesado com as paredes externas dos mesmos.

[066] Além dos separadores dinâmicos (5), alternativamente, podem-se utilizar também filtros (6), tais como do tipo "de mangas", ao final da linha (3) de transporte pneumático.

[067] Desse modo, além de reduzir drasticamente o número de operações agrícolas necessárias, o processo aqui proposto produzirá ganhos em desempenho e eficiência no processamento industrial.

[068] Portanto, além de poderem ser aplicados em setores agrícolas, tanto o sistema quanto o processo aqui propostos podem também ser aplicados em setores industriais em que grandes quantidades de um material granulado devem ser separadas ou classificadas e, simultaneamente, cada fração transportada para seu respectivo sistema de processamento. É o caso, por exemplo, do setor de mineração e petroquímico em geral.

[069] Os versados na arte valorizarão os conhecimentos aqui apresentados e poderão reproduzir a invenção nas modalidades apresentadas e em outras variantes, abrangidas no escopo das reivindicações anexas.

REIVINDICAÇÕES

1. Sistema de limpeza a seco e separação pneumática de misturas de sólidos particulados **caracterizado** pelo fato de compreender:

- a) Alimentador de sólidos (1);
- b) Aspirador (2);
- c) Linhas (3) de separação e transporte pneumáticos; e
- d) Separadores estáticos (4).

em que a referida mistura é de pelo menos dois sólidos particulados.

2. Sistema, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de os referidos sólidos particulados serem selecionados do grupo que consistem em grãos, tais como arroz, cevada, feijão, entre outros; agregados minerais, tais como brita, solo, entre outros; biomassa agrícola, tal como forragem, silagem de milho, sorgo, cana-de-açúcar, entre outros; e componentes do petróleo.

3. Sistema, de acordo com a reivindicação 1 ou 2, **caracterizado** pelo fato de, alternativamente, o aspirador (2) ser coadjuvado ou substituído por um soprador (7) instalado a montante das linhas de transporte pneumático (3), na base do alimentador de sólidos (1).

4. Sistema, de acordo com a reivindicação 3, **caracterizado** pelo fato de trabalhar em pressão positiva ou em pressão negativa ou em ambas as pressões positiva e negativa.

5. Sistema, de acordo com a reivindicação 1, 2, 3 ou 4, **caracterizado** pelo fato de a separação dos constituintes do sólido particulado ser feita ao longo de linhas (3) de transporte pneumático, as quais são selecionadas do grupo

que consiste em linhas (3) horizontais, inclinadas ou verticais, preferencialmente linhas (3) horizontais de transporte pneumático.

6. Sistema, de acordo com a reivindicação 5, **caracterizado** pelo fato de a referida separação dos constituintes do sólido particulado fazer uso de fenômenos distintos que interagem de forma sinérgica, tais como diferenças na velocidade saltação, gravidade, atrito e inércia.

7. Sistema, de acordo com a reivindicação 6, **caracterizado** pelo fato de a velocidade do ar soprado para a separação dos sólidos particulados variar de 0,5 a 15 m/s de acordo com a velocidade de saltação da partícula que varia de 1 a 15 m/s.

8. Sistema, de acordo com a reivindicação 7, **caracterizado** pelo fato de, alternativamente o ar soprado ser um gás de transporte, tal como CO₂ (gases de combustão), vapor d'água, nitrogênio, entre outros; ou uma mistura de gases inertes.

9. Sistema, de acordo com a reivindicação 6, 7 ou 8, **caracterizado** pelo fato de, em uma modalidade preferida da presente invenção, uma mistura de palha picada e componentes particulados, tais como grãos de areia, toletes de cana e outros, ser separada em escoamento horizontal com ar soprado ou aspirado a 5m/s, em que a palha é transportada pneumáticamente na região central da linha (3) e os demais componentes particulados de forma estratificada na porção inferior da linha (3).

10. Sistema, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 9, **caracterizado** pelo fato de separadores

estáticos (4) serem instalados ao final das linhas (3) de transporte pneumáticos, em que estes direcionam os fluxos do sólido estratificado e do sólido em transporte para diferentes linhas (3) de transporte.

11. Sistema, de acordo com a reivindicação 10, caracterizado pelo fato de o referido separador estático (4) ser selecionado do grupo que consiste em ramificações no formato de um "T", ramificações no formato de um "Y", telas perfuradas, e filtros, preferencialmente no formato de um "T".

12. Sistema, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 11, caracterizado pelo fato de, alternativamente, possuir pelo menos duas linhas (3) intercaladas por separadores estáticos (4), em que cada qual é operada às velocidades de transporte pneumático distintas em caso de separação de mais de dois sólidos particulados.

13. Sistema, de acordo com a reivindicação 12, caracterizado pelo fato de, alternativamente, serem instalados separadores dinâmicos (5) do tipo inercial, tais como ciclones e chicanas, ao final da linha (3) de transporte pneumático.

14. Sistema, de acordo com a reivindicação 13, caracterizado pelo fato de, além dos separadores dinâmicos (5), serem instalados filtros (6), tais como do tipo "de mangas", ao final da linha (3) de transporte pneumático.

15. Sistema, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 14, caracterizado pelo fato de combinar funcionalidades simultâneas de transporte, secagem e separação de uma mistura de partículas sólidas.

16. Uso do sistema conforme definido em qualquer uma

das reivindicações 1 a 15, **caracterizado** pelo fato de ser aplicado em setores agrícolas e setores industriais, tal como no setor de mineração e petroquímico.

17. Processo de limpeza a seco e separação pneumática de misturas de sólidos particulados que utiliza o sistema definido em qualquer uma das reivindicações 1 a 15, **caracterizado** pelo fato de compreender as etapas de:

a) Alimentação com uma mistura de sólidos particulados em um sistema transportador e separador pneumático;

b) Aplicação de diferentes velocidades de transporte pneumático sobre os sólidos particulados;

c) Segregação dos sólidos particulados nas linhas de transporte; e

d) Direcionamento dos sólidos particulados separados para diferentes linhas de transporte,

em que a referida mistura é de pelo menos dois sólidos particulados.

18. Processo, de acordo com a reivindicação 17, **caracterizado** pelo fato de, na etapa "a", ser inserida uma mistura de sólidos particulados selecionados do grupo que consistem em grãos, tais como arroz, cevada, feijão, entre outros; agregados minerais em geral, tais como brita, solo, entre outros; biomassa agrícola, tal como forragem, silagem de milho, sorgo, cana-de-açúcar, entre outros; e componentes do petróleo.

19. Processo, de acordo com a reivindicação 17 ou 18, **caracterizado** pelo fato de o referido sistema transportador e separador pneumático alimentado na etapa "a" ser preferencialmente o sistema conforme definido em qualquer

uma das reivindicações 1 a 15.

20. Processo, de acordo com a reivindicação 17, 18 ou 19, caracterizado pelo fato de, na etapa "b", o sequenciamento de trechos de linhas (3) possuírem diferentes velocidades de transporte pneumático, de forma que em cada trecho a velocidade do escoamento seja superior à velocidade de saltação da partícula que se deseja separar da mistura particulada.

21. Processo, de acordo com a reivindicação 19, caracterizado pelo fato de a velocidade do escoamento variar de 0,5 a 15 m/s e a velocidade de saltação da partícula variar de 1 a 15 m/s.

22. Processo, de acordo com qualquer uma das reivindicações 17 a 21, caracterizado pelo fato de o ar soprado ou aspirado ser um gás de transporte, tal como CO₂ (gases de combustão), vapor d'água, nitrogênio, entre outros; ou uma mistura de gases inertes.

23. Processo, de acordo com qualquer uma das reivindicações 17 a 22, caracterizado pelo fato de, na etapa "c", as partículas capturadas pelo escoamento serem levadas à região central da linha (3) (fluxo central) e mantidas nesta região pela força de sustentação aerodinâmica (força de Saffman).

24. Processo, de acordo com a reivindicação 23, caracterizado pelo fato de, ainda na etapa "c", as outras partículas não capturadas pelo escoamento serem segregadas no fundo ou na região anular da linha (3) (fluxo estratificado).

25. Processo, de acordo com a reivindicação 23 ou 24, caracterizado pelo fato de, ainda na etapa "c", as diferenças

na velocidade de saltação das partículas produzirem fluxos central e estratificado compreendendo particulados separados.

26. Processo, de acordo com qualquer uma das reivindicações 17 a 25, caracterizado pelo fato de, na etapa "c", a segregação dos sólidos particulados ser obtida por diferentes efeitos sinérgicos selecionados do grupo que consiste em diferenças na velocidade de saltação, gravidade, atrito e inércia.

27. Processo, de acordo com qualquer uma das reivindicações 17 a 26, caracterizado pelo fato de, na etapa "d", após a segregação do particulado nos trechos de linhas (3), separadores estáticos (4) de fluxo direcionam os fluxos do sólido estratificado e do sólido em transporte (capturados pelo escoamento ou entranhados ou "airborne") para diferentes linhas (3) de transporte.

28. Processo, de acordo com a reivindicação 27, caracterizado pelo fato de, ainda na etapa "d", os referidos separadores estáticos (4) de fluxo serem selecionados do grupo que consiste em ramificações em "T", ramificações em "Y", telas perfuradas ou filtros.

29. Processo, de acordo com a reivindicação 28, caracterizado pelo fato de, ainda na etapa "d", alternativamente serem utilizados separadores dinâmicos (5) do tipo inercial, tais como ciclones e chicanas, em caso de separação de mais de dois sólidos particulados.

30. Processo, de acordo com a reivindicação 29, caracterizado pelo fato de, ainda na etapa "d", além dos separadores dinâmicos (5), alternativamente serem utilizados filtros (6), tais como do tipo "de mangas", em caso de

separação de mais de dois sólidos particulados.

31. Processo, de acordo com qualquer uma das reivindicações 17 a 30, **caracterizado** pelo fato de as referidas linhas (3) serem selecionadas do grupo que consistem em linhas (3) horizontais, inclinadas e verticais, preferencialmente linhas (3) horizontais.

32. Uso do processo conforme definido em qualquer uma das reivindicações 17 a 31, **caracterizado** pelo fato de ser aplicado em setores agrícolas e setores industriais, tal como no setor de mineração e petroquímico.

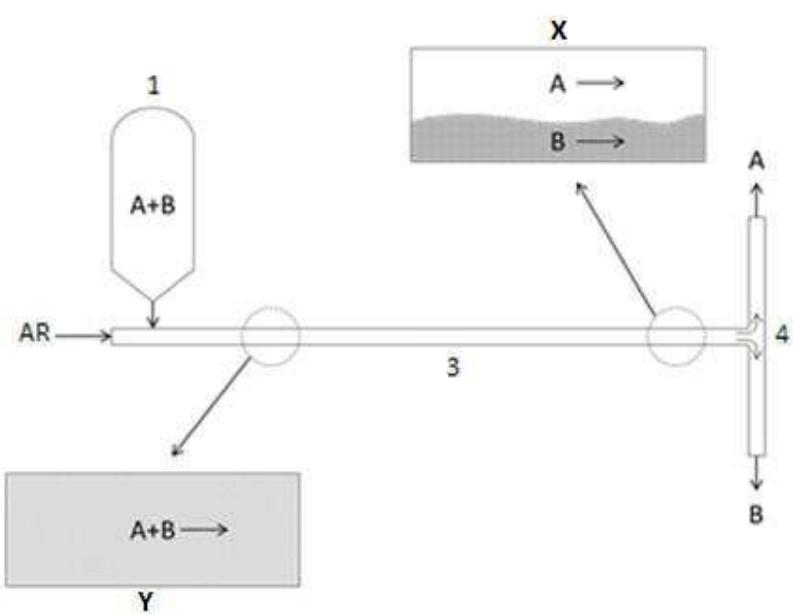


Figura 1

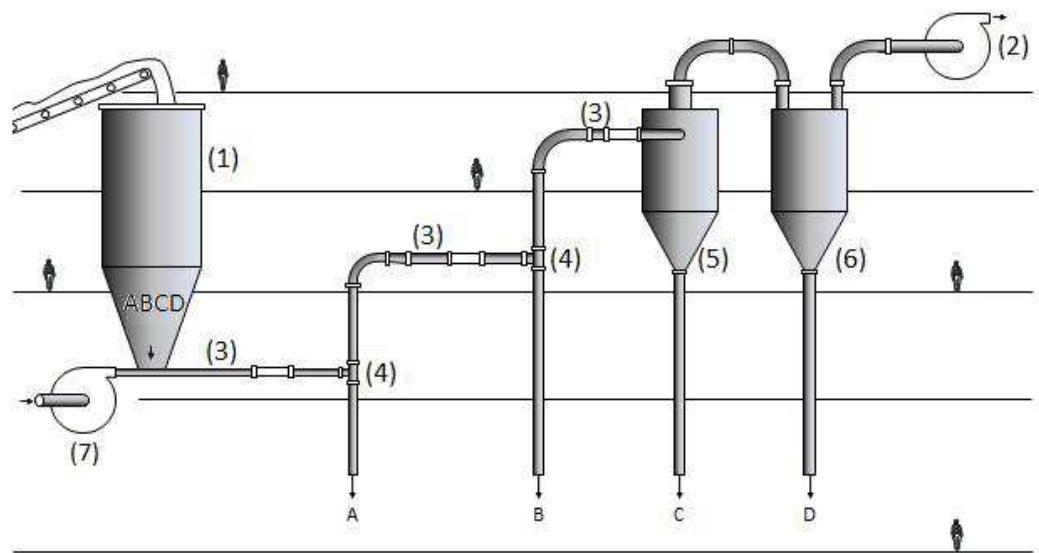


Figura 2