

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Projeto de alteração do sistema de transporte e alimentação de polímero no formato granular.

por

Everton Pigozzo

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Mecânica da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Engenheiro Mecânico.

Porto Alegre, novembro de 2014

Projeto de alteração do sistema de transporte e alimentação de polímero no formato granular.

por

Everton Pigozzo

ESTA MONOGRAFIA FOI JULGADA ADEQUADA COMO PARTE DOS  
REQUISITOS PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE  
**ENGENHEIRO MECÂNICO**  
APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELA BANCA EXAMINADORA DO  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Prof. Thamy Cristina Hayashi  
Coordenador do Curso de Engenharia Mecânica

Área de Concentração: Projeto e Fabricação

Orientador: Prof. Patric Daniel Neis

Comissão de Avaliação:

Prof. Mario Roland Sobczyk Sobrinho

Prof. Rodrigo Rossi

Prof. Flávio José Lorini

Porto Alegre, 14 de novembro de 2014.

## DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais, Hermes e Elaine, e aos meus irmãos Rodrigo e Jeferson, pelo apoio, compreensão e amor dedicado ao longo de toda minha vida.

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus pela saúde e força para superar as dificuldades.

Agradeço ao meu Prof. Patric Daniel Neis pela orientação no desenvolvimento deste trabalho. Obrigado pela dedicação.

À Universidade Federal do Rio Grande do Sul e seus professores pelos ensinamentos acadêmicos.

Aos meus pais, por me darem a liberdade para realizar as minhas próprias escolhas, fornecendo todo o apoio possível na minha trajetória.

À minha avó Nilde pela preocupação, rezas e promessas.

Ao meu avô Bernardo (*in memoriam*), pelo exemplo de vida e por me guiar todos os dias.

Ao meu irmão Rodrigo e à minha cunhada Daniela, por sempre me aconselharem e me guiarem em direção as melhores escolhas.

Ao meu irmão Jeferson pelo carinho e pelas conversas que me fazem crescer cada vez mais.

À minha namorada Ludmila pelo amor, carinho, incentivo e por ter me dado uma nova família, que me acolheu e me incentivou nestes momentos difíceis.

À pequena Sophia pelo amor demonstrado.

À minha tia Marizete pelo carinho ao longo de toda minha vida.

Aos meus amigos, Bruno, Adriano, Fiorelo, Leandro e Thiago pelo companheirismo e pelos momentos vividos ao longo de toda minha vida.

À minha colega Jéssica pela descontração nos momentos de estudo, e à sua família pelo carinho demonstrado.

Aos meus colegas de empresa, em especial a Rosilene, Giovani, Kleber, Humberto, Rodrigo, Diego Valer, Davi e Diego Brasil pelos ensinamentos e momentos de descontração.

Pigozzo, E. **Projeto de alteração do sistema de transporte e alimentação de polímero no formato granular**. 2014. 27. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

## **RESUMO**

Neste trabalho são apresentados os problemas relacionados à perda de produtividade e riscos de segurança, ocasionados devido à falha nos componentes de um transportador helicoidal com mola utilizado pela empresa ABS para o transporte e alimentação de polímero em máquinas para a produção de absorventes externos femininos. O polímero é um material crítico aos absorventes femininos, pois é o principal responsável pela absorção do fluxo menstrual da mulher. Para solucionar os problemas mencionados acima são estudados os principais sistemas de transporte de grãos, tais como transportador elevador de canecas ou caçambas, transportador de correia, transportador pneumático e transportador helicoidal. A partir dos conhecimentos teóricos dos sistemas estudados, foi aplicada uma ferramenta metodológica de projetos para a definição e substituição do sistema de transporte mais adequado, e assim solucionar os problemas apresentados pelo transportador helicoidal, atualmente utilizado. A partir da aplicação da ferramenta metodológica, chegou-se ao resultado de que o sistema mais adequado para solucionar os problemas relacionados à baixa na produtividade e os perigos relacionados à segurança dos operadores é o transportador pneumático por sucção, que será utilizado em conjunto com um dosador gravimétrico.

**PALAVRAS-CHAVE:** Transportadores de grãos, ferramenta de projeto, transportador pneumático, produtividade, segurança.

Pigozzo, E. **Project to change the system of transportation and feeding of granular polymer**. 2014. 27. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

## **ABSTRACT**

This work describes the problems related to productivity loss and safety hazard due to spring conveyor components failure, used by ABS Company for polymer's transportation and supply in sanitary pads production machines. Polymer is a critical material to sanitary pads, since it is the main responsible for woman's menstrual flow absorption. To solve the problems mentioned above, the main grain transportation systems are studied, such as bucket elevator conveyor, belt conveyor, pneumatic conveyor and spring conveyor. Based on theoretical knowledge obtained from studied systems, a project methodological tool was used to define and replace the most suitable conveyor system, solving the current spring conveyor's problems. From the methodological tool application, the most suitable system to solve the current low productivity and operators' safety hazards ended up being the pneumatic conveyor, which will be used together with a gravimetric batcher.

**KEYWORDS:** grain conveyors, project tool, pneumatic conveyor, productivity, safety.

## ÍNDICE

|   |    |
|---|----|
| 1. INTRODUÇÃO .....                                       | 1  |
| 2. OBJETIVOS .....  | 1  |
| 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....                            | 2  |
| 3.1 Transportador Elevador de Canecas ou de Caçambas..... | 2  |
| 3.2 Transportadores de Correia.....                       | 4  |
| 3.3 Transportador Pneumático .....                        | 5  |
| 3.4 Transportador Helicoidal.....                         | 7  |
| 3.5 Retentor ou Vedador de Lábio.....                     | 8  |
| 3.6 Polímeros Superabsorventes.....                       | 9  |
| 3.7 Dosador.....  | 9  |
| 4. ESTUDO DE CASO .....                                   | 9  |
| 5. METODOLOGIA.....                                       | 10 |
| 6. CONCLUSÃO.....   | 13 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....                          | 14 |
| Anexo A .....   | 16 |
| Anexo B .....   | 16 |
| Anexo C .....   | 17 |
| Apêndice A.....   | 18 |
| Apêndice B.....   | 18 |
| Apêndice C.....   | 19 |
| Apêndice D.....   | 19 |
| Apêndice E.....   | 20 |
| Apêndice F .....  | 20 |

## 1. INTRODUÇÃO

Máquinas de elevação e transporte são parte integrante do sistema produtivo de grande parte das empresas industriais. Os inúmeros projetos de máquinas de elevação e transporte são o resultado de uma grande variedade de tipos e propriedades de cargas a serem movidas e da abundância de operação de transportes [Rudenko, 1976].

Equipamentos de elevação consistem de um grupo de máquinas com mecanismos de elevação, destinado a mover cargas em lotes ou em fluxo contínuo. Estas cargas podem ser classificadas como cargas unitárias ou a granel, a qual será abordada mais especificamente no decorrer do presente estudo. Materiais manuseados a granel são compostos de um grande número de partículas ou pedaços homogêneos como, por exemplo, carvão, minério, areia, pedras, argila, polímero, entre outros. Já as cargas unitárias podem diferir amplamente em forma e peso, tendo como exemplo cargas transportadas em recipientes de armazenamento ou pallets.

O presente trabalho é direcionado ao estudo dos principais sistemas utilizados no transporte de cargas a granel, tais como transportador helicoidal, transportador de correia, transportador pneumático e transportador elevador de canecas ou caçambas

Através do estudo das características de cada equipamento transportador, será apresentado o sistema mais adequado para a realização do transporte e alimentação de grãos de polímero em uma máquina de produção de absorventes femininos externos. O tipo de transportador atualmente instalado na fábrica avaliada é o transportador helicoidal com mola, o qual apresenta vazamentos ao longo de seu condutor de transporte devido ao desgaste ocasionado pelo contato direto e contínuo entre a mola helicoidal e o condutor.

O vazamento também é causado pela falha no retentor de vedação do mancal quando um polímero mais abrasivo é empregado, aqui denominado polímero do “fornecedor K”. Este vazamento é o mais frequente, e por este motivo será o foco do presente estudo.

Ao se constatar a falha do retentor se faz necessária a realização de uma manutenção corretiva para substituição deste dispositivo. Esta parada de máquina gera a redução na produtividade e conseqüentemente a diminuição do lucro bruto da empresa em aproximadamente R\$ 1.200,00, a cada troca de retentor. Conforme os dados fornecidos pelo setor de manutenção da empresa, aqui denominada “empresa ABS”, o tempo desta intervenção mecânica é de aproximadamente uma hora e trinta minutos, enquanto que a durabilidade do retentor, quando da utilização do polímero do fornecedor K, é de aproximadamente quatro dias. Deste modo, a falha no retentor pode representar uma redução de aproximadamente R\$ 9.000,00 mensais sobre os lucros da empresa, por cada máquina reparada. Espera-se, a partir do dimensionamento de um sistema de transporte mais adequado solucionar os problemas relacionados à baixa na produtividade da máquina atual. Além disso, com a substituição do sistema de transporte da máquina de absorventes femininos espera-se obter ainda a redução de riscos de acidentes pessoais e de exposição a componentes insalubres, devido ao vazamento de grãos de polímero do sistema de transporte e alimentação.

## 2. OBJETIVOS

### Objetivo geral

O objetivo deste trabalho consiste em propor melhorias em termos de produtividade e segurança, em um sistema responsável pelo transporte e alimentação de grãos de polímero, em uma máquina de produção de absorventes femininos externos.

Os objetivos específicos são:

1. Realizar um levantamento dos principais sistemas para transporte de grãos disponíveis na literatura técnica da área.
2. Apresentar um estudo de caso, onde foram identificadas algumas deficiências em termos de produtividade e segurança de um sistema transportador de



polímeros que tem a função de alimentar uma máquina de produção de absorventes femininos externos.

3. Selecionar, a partir de uma ferramenta metodológica de projeto para valoração de diferentes concepções de transportes de grãos, o sistema transportador mais adequado para suprir as deficiências levantadas no estudo de caso acima descrito.
4. Listar e apresentar as melhorias propostas para o sistema de transporte e alimentação de grãos de polímero, enfatizando os ganhos em termos de produtividade e segurança.

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Os absorventes externos femininos são compostos basicamente por fibras de celulose, polipropileno com Aloe Vera e Camomila, polietileno, adesivos termoplásticos, papéis siliconados e polímero superabsorvente. O polímero é um material crítico para o correto funcionamento dos absorventes femininos externos, pois é o principal responsável pela absorção do fluxo menstrual da mulher.

Atualmente a empresa ABS utiliza um transportador helicoidal com mola para realização do transporte e alimentação de polímero, o qual vem apresentando vazamentos ao longo de seu condutor de transporte gerados devido ao desgaste do condutor do transportador. Este desgaste ocorre pelo contato direto entre a mola helicoidal que realiza um movimento rotativo e o condutor, que está em repouso.

Outro fator responsável pela falha do equipamento está relacionado à utilização do polímero do fornecedor K o qual, devido a sua abrasividade, causa a falha no retentor, que é um componente do sistema de transporte de polímero. Os problemas acima descritos causam interrupções na produção, gerando, além da redução de produtividade, riscos relacionados à saúde ocupacional e à segurança física dos operadores.

O presente estudo visa à análise dos principais sistemas de transportes de grãos utilizados atualmente para, assim, alcançar embasamento teórico para propor uma solução aos problemas acima descritos.

De acordo com a literatura técnica Correias Mercúrio, 1985, para a seleção do transportador mais adequado, as seguintes informações precisam ser levantadas:

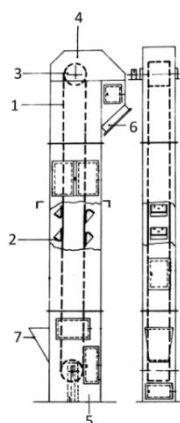
- Características do material transportado, tais como: abrasividade, corrosividade, hidroscofia, tipo de escoamento, grau de aderência, grau de fluidez, tamanho dos grãos, temperatura e peso específico do material.
- Capacidade de carga desejada.
- Condições de operação (local de serviço, características do ambiente e grau de contaminação).
- Condições de serviço (contínuo ou intermitente).

A seguir, apresenta-se uma breve fundamentação teórica sobre alguns conceitos utilizados no presente estudo.

#### 3.1 Transportador Elevador de Canecas ou de Caçambas

O transportador elevador de canecas é o meio mais econômico de transporte vertical de material a granel. Os elevadores de canecas apresentam-se em formas diversificadas em função do material a ser transportado [Fábrica de Aço Paulista, 1991; Sacramento, 2014].

As principais partes de um transportador elevador de canecas do tipo centrífugo são apresentadas na Figura 3.1.



1. Correia.
2. Canecas
3. Tambor de acionamento
4. Cabeça do elevador
5. Pé do elevador
6. Calha de descarga
7. Calha de alimentação

Figura 3.1 : Desenho esquemático dos componentes de um elevador centrífugo  
[Adaptado:Correias Mercúrio, 1985].

Conforme Correias Mercúrio, 1985 e Sacramento, 2014, o transportador elevador de canecas possui dois princípios de funcionamento, os quais são descritos a seguir:

- Transportador elevador de canecas contínuo: caracteriza-se por pouco espaço entre suas canecas e por baixa velocidade de operação. Este tipo de transportador é projetado para operar na elevação de materiais abrasivos e que contém um tamanho de grão elevado, mas podem ser empregados na elevação de materiais frágeis ou extremamente finos como, por exemplo, cimento e cal. Sua inclinação e baixa velocidade proporcionam excelente rendimento devido à facilidade de alimentação total de suas canecas (Figura 3.2-a). Além disso, sua forma de funcionamento proporciona ao material uma descarga suave. Entre as canecas praticamente não existe um espaçamento e seu formato, além de proporcionar total carregamento do material, também faz com que na descarga a flange inferior (Figura 3.2-b) da caneca da frente sirva de calha de descarga do material transportado. As Figuras 3.2-a e 3.2-b apresentam, respectivamente, o sistema de alimentação e descarga dos transportadores elevadores de canecas contínuos.



Figura 3.2: Elevador de canecas contínuo: (a)alimentação do elevador por gravidade, proporcionando total carregamento das canecas, (b) descarga natural, a flange inferior guia o material que está sendo descarregado [Adaptado: Spivakovskii,1974].

- Transportador elevador de canecas centrífugo: caracteriza-se por apresentar um espaçamento entre suas canecas. Este tipo de transportador opera na vertical e em velocidade mais elevada que os transportadores elevadores de canecas contínuos. Os transportadores elevadores de caneca centrífugos são indicados para elevação de materiais de fácil escoamento como, por exemplo, grãos de milho, soja, trigo. A alimentação do material nas canecas pode ser por gravidade e por captação ou dragagem.

Na alimentação por captação ou dragagem (Figura 3.3), quanto menor for o espaçamento entre as canecas, mais suave é o carregamento, com menor esforço para correia. No carregamento por gravidade, o material é direcionado diretamente ao interior das canecas.

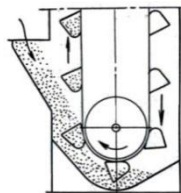


Figura 3.3: Carregamento por captação de um elevador de canecas centrífugo. [Fonte: Spivakovskii, 1974].

O fundo do poço ou pé do transportador elevador de canecas centrífugo deve apresentar uma curvatura de concordância com o movimento das canecas, pois isso auxilia na alimentação, bem como em sua própria limpeza.

A descarga do material pode ser realizada de duas maneiras: pela ação da força centrífuga desenvolvida na passagem das canecas ao redor do tambor de acionamento (Figura 3.4-a), ou por gravidade (Figura 3.4-b). Neste caso, o material é descarregado quando as canecas invertem sua direção, e assim o material é descarregado devido à ação da força da gravidade [Spiavakovskii, 1974].



Figura 3.4: Elevador de canecas centrífugo: (a) sistema de descarga por força centrífuga e (b) sistema de descarga por ação da gravidade [Fonte: Spivakovskii, 1974].

A unidade de acionamento dos transportadores elevadores de canecas, seja ele contínuo ou centrífugo, está localizada na cabeça (parte superior) do conjunto. Essa unidade é sustentada por uma plataforma e constituída de motor com base e redutor de velocidade. O redutor de velocidade pode ser ligado direto ao tambor de acionamento ou através de luvas elásticas.

### 3.2 Transportadores de Correia

A difusão dos transportadores de correia vem crescendo devido a seu alto desempenho e rapidez na movimentação da carga a granel.

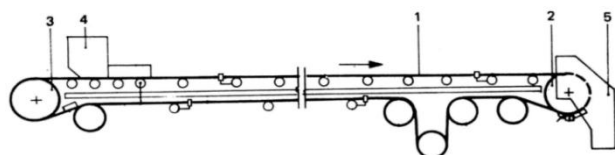
O termo “transportador de correia” refere-se ao equipamento como um todo, enquanto que o termo “correia transportadora” designa apenas a correia em si [Correias Mercúrio, 1985].

O transportador de correia possui duas extremidades, onde está situado o tambor de acionamento e o tambor de retorno, elementos 2 e 3 na Figura 3.5, respectivamente. Entre estes tambores existem os roletes que realizam a sustentação da correia e ainda servem de guias para o transporte do material a ser transportado. A guia de descarga serve para direcionar o material a um local de descarga pré-determinado. [Dubbel, 1974, Sacramento, 2014].

Os transportadores de correia são projetados nas mais variadas configurações e capacidades, podendo ser: fixos ou móveis, leves ou pesados, curtos ou longos, além de

possibilitar a operação e funcionalidade de perfis horizontais, inclinados ou combinados. Os perfis inclinados podem ainda ser ascendentes ou descendentes [Correias Mercúrio, 1985].

A seguir, a Figura 3.5 apresenta a nomenclatura dos principais componentes de um transportador de correia convencional.



1. Correia transportadora
2. Tambor de acionamento
3. Tambor de retorno
4. Bocal de alimentação
5. Guias de descarga

Figura 3.5: Componentes de um transportador de correia [Adaptado: Correias Mercúrio, 1985].

O tambor de acionamento é o responsável pelo deslocamento da correia e, conseqüentemente da carga. Uma força de atrito é transmitida à correia ao abraçar o tambor de acionamento, que é acionado por um motor.

### 3.3 Transportador Pneumático

O transporte pneumático é um dos mais importantes métodos utilizados para o transporte de partículas sólidas na indústria. Este sistema realiza movimentações do material devido a uma corrente de gás, podendo percorrer trajetos horizontais, verticais ou inclinados [Perry, 1999].

Para obtenção de uma maior eficiência dos transportadores pneumáticos, deve se levar em consideração os seguintes parâmetros: pressão de trabalho, velocidade dos gases, quantidade de ar necessária para o arraste de grãos, potência exigida [Magalhães, 2003].

Segundo Dickow, 2013, o transporte pneumático se divide em duas categorias:

- Transporte pneumático em fase densa: o produto a ser transportado não está completamente suspenso, ou seja, existe uma grande quantidade de material sólido e uma pequena quantidade de gás. Este tipo de transportador se caracteriza por utilizar alta pressão e baixa velocidade de transporte.
- Transporte pneumático em fase diluída: o produto transportado está completamente suspenso. Neste caso, a concentração de sólidos é significativamente menor do que o volume de ar utilizado no transporte. Este tipo de transportador se caracteriza por utilizar grandes vazões de ar em altas velocidades.

Conforme Nonnenmacher, 1983, os transportadores pneumáticos podem operar através de dois princípios: aspiração (pressão negativa) e compressão (pressão positiva).

No entanto, Silva et al, 2008, comentam que os transportadores pneumáticos podem ser classificados em três sistemas, os quais são descritos abaixo:

- Sistema de aspiração ou sucção: opera com pressão abaixo da pressão atmosférica. É muito utilizado na descarga de caminhões, vagões, barcos e no transporte de materiais cujas características do produto dificultam o escoamento através de válvulas, roscas alimentadoras e ventiladores.

Nos sistemas de aspiração não há contato entre nenhuma peça móvel e o material a ser transportado, deste modo é improvável a existência de vazamentos, bem como o risco de contaminação do produto. A Figura 3.7 apresenta o esquema deste transportador.

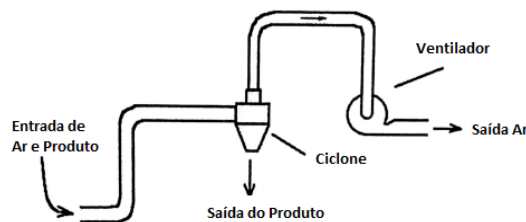


Figura 3.7: Transporte pneumático por sucção [Adaptado: Silva et al, 2008].

- Sistema por compressão ou pressão positiva: opera com pressão acima da pressão atmosférica. Na maioria dos transportadores pneumáticos munidos com este sistema, a entrada do material é direcionada por um funil. A Figura 3.8 apresenta o esquema deste transportador.

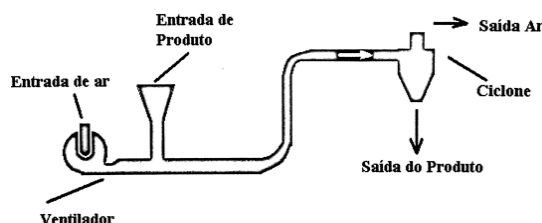


Figura 3.8: Transporte pneumático por pressão positiva [Adaptado: Silva et al, 2008].

- Sistema combinado de sucção e pressão (misto): é o sistema no qual parte do transporte é feita por sucção e parte por pressão. Muitas vezes é montado sobre rodas para permitir o deslocamento do transportador. A Figura 3.9 apresenta o esquema deste transportador.

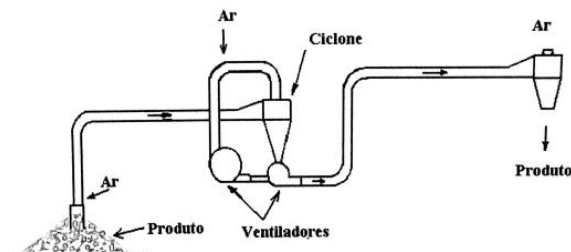


Figura 3.9: Sistema de transporte pneumático combinado de sucção e pressão. [Adaptado: Silva et al, 2008].

Conforme a literatura [Marcus et al, 1990; Lopes, 2007] um sistema de transporte pneumático é constituído por quatro secções. A Figura 3.10 apresenta de forma esquemática estas secções.

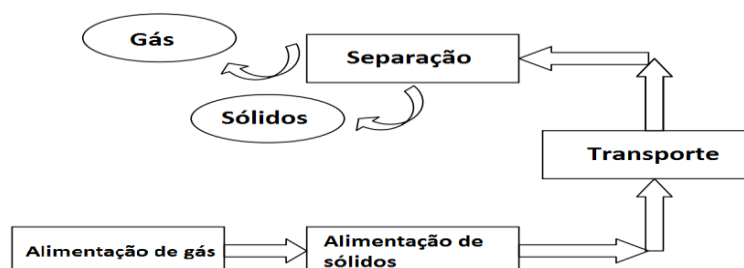


Figura 3.10: Representação esquemática de um transportador pneumático [Fonte: Marcus *apud* Lopes, 2007]

As quatro secções de um transportador pneumático são descritas abaixo [Lopes, 2007].

i) Secção de alimentação do gás: é uma das partes essenciais de um transportador pneumático, pois é responsável pelo fornecimento de energia necessária ao ar de transporte, permitindo que este carregue as partículas sólidas através da tubulação. Há diversos tipos de equipamentos de transportes, tais como, compressores, ventiladores, sopradores e bombas a vácuo, cuja escolha deve ser feita levando-se em consideração o intervalo ou valor da vazão de gás que será necessária e a da pressão requerida no leito de entrada.

ii) Secção de alimentação de sólidos: encontra-se disposta depois da secção de alimentação de gás, sendo considerada uma das partes mais importantes de um transportador pneumático, pois é nesta região que ocorre a mistura das partículas sólidas com a fase fluida. O fator que implica a esta região atenção especial está na ocorrência de uma grande mudança na quantidade de movimento das fases do sistema, pois os sólidos que estão essencialmente em repouso são misturados à corrente de gás, que já possui um perfil de velocidade plenamente desenvolvido. Essa mudança rápida da quantidade de movimento causa uma elevada perda de carga [Marcus et al, 1990].

iii) Secção de transporte: uma vez misturados, material granular e o gás entram na zona de transporte, que é formada essencialmente pela tubulação. A escolha da tubulação depende de determinadas características como, por exemplo, abrasividade do produto e pressão do sistema. A zona de transporte pode adquirir diversas configurações, dependendo da utilização, o que é uma das grandes vantagens desses sistemas. A flexibilidade de percurso é possível através da introdução de curvas na tubulação de transporte, causando a mudança da direção do escoamento. Porém, a presença de curvas em tubulações afeta a estrutura do escoamento gás-sólido, aumentando a queda de pressão, podendo gerar grandes danos ao material. Diversos autores já estudaram o efeito desse acessório em transportadores pneumáticos abordando diferentes aspectos, tanto em análise experimental quanto numérica, como os trabalhos de Sharllert e Levy, 2000, Kalman, 2000, Akilli et al, 2001 e de Wnag et al, 2004. É válido ressaltar que os resultados apresentados por kalman, 2000, enfatizam a necessidade da utilização de tubulações de transporte simples, evitando o uso desnecessário de curvas, pois seu estudo mostra que percursos complexos geram grande perda de carga, o que é indesejado, uma vez que prejudica o sistema como um todo.

iv) Região de separação dos sólidos da corrente de gás: a análise desta zona geralmente só ocorre ao final do projeto de um transportador pneumático. Existem diversos tipos de equipamentos que podem ser utilizados na separação gás-sólido como ciclones, filtros, métodos gravitacionais, etc. A seleção do tipo de separador mais adequado para um dado sistema depende de diversos fatores, sendo que os primeiros a serem considerados são o tamanho da partícula e a eficiência de coleta almejada. Outros fatores relevantes são: a queda da pressão total do sistema, a perda de partículas finas (pó), a segregação e degradação das partículas e o custo do sistema. O Anexo A apresenta dados da eficiência de equipamentos de remoção de sólidos para três tamanhos de partículas distintos.

### 3.4 Transportador Helicoidal

O Transportador helicoidal é um equipamento industrial utilizado para transporte de grãos apropriado para curtas distâncias e baixas vazões. Este sistema de transporte pode ser dividido em dois tipos: i) com mola helicoidal, que é indicado para materiais com pequeno tamanho de grão e locais que necessitem certa flexibilidade; ii) com rosca (do tipo parafuso sem fim), indicado para materiais com qualquer tamanho de grãos, e não possuem flexibilidade entre a seção de alimentação e descarga.

A Figura 3.11 apresenta ambos os tipos de transportadores helicoidais, com mola helicoidal Figura 3.11-a e o tipo com parafuso sem fim Figura 3.11-b.



Figura 3.11: Transportador helicoidal: (a) transportador helicoidal com mola transportadora e (b) transportador helicoidal com rosca parafuso sem fim.

O transportador helicoidal é constituído basicamente por um helicóide com movimento rotativo, que fica disposto internamente a um condutor estacionário, o qual pode ter formato cilíndrico (Figura 3.11), ou formato de calha em “U” (Figura 3.12). O material é deslocado por arraste ao longo do helicóide devido a seu movimento de rotação [Silva et al, 2008].

Ainda segundo Silva et al, 2008, o bocal de descarga pode ser colocado em diferentes posições ao longo do transportador. Os transportadores helicoidais são equipamentos compactos, normalmente instalados na posição horizontal podendo, entretanto, operar sob qualquer inclinação.

O condutor é o componente que suporta o helicóide e contém o produto a ser transportado.

A Figura 3.12 apresenta os principais componentes de um transportador helicoidal do tipo parafuso sem fim, com condutor em calha tipo “U”.

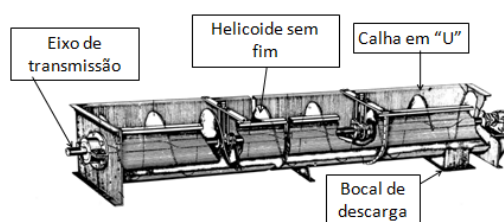


Figura 3.12: Principais componentes de um transportador helicoidal com calha em “U” [Adaptado: Salzer, 1968].

A Figura 3.13 apresenta as dimensões importantes para o cálculo da capacidade e da potência necessária para realizar o transporte do produto em transportadores helicoidais [Silva et al, 2008].

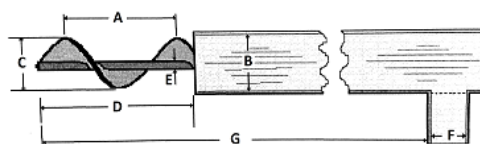


Figura 3.13: Dimensões importantes para o cálculo de transportadores helicoidais [Fonte: Silva et al, 2008].

onde, “A” é o passo, “B” é o diâmetro do duto, “C” é o diâmetro do helicóide, “D” é a exposição, “E” é o diâmetro fixo, “F” é o diâmetro da descarga e “G” é o comprimento do helicóide.

No helicóide padrão, tanto para o modelo do tipo mola transportadora como para o parafuso sem fim, o passo tem a mesma dimensão do diâmetro. Para casos onde o transportador helicoidal é utilizado como um dosador e há necessidade de uniformidade no fluxo do produto, a dimensão do passo deve ser 1/3 a 1/2 menor que o diâmetro do helicóide.

### 3.5 Retentor ou Vedador de Lábio

O vedador de lábio ou retentor (ver ilustração no Anexo B, Figura B1.1), como é usualmente conhecido, é composto essencialmente de uma membrana elastomérica em forma

de “lábio” e uma parte estrutural que permite a fixação do lábio na posição correta de trabalho na aplicação [Catálogo Técnico Sabó, 2014].

O retentor tem por função primordial reter óleos, graxas e outros materiais que devam ser contidos no interior de uma máquina ou um agregado mecânico, além de evitar a entrada de impurezas do meio externo.

O retentor é sempre aplicado entre duas peças que tenham um movimento relativo, como, por exemplo, entre um eixo que transmite um movimento e a carcaça de sustentação do mancal deste eixo (ver ilustração no Anexo B, Figura B1.2).

No caso do presente estudo, o retentor fica alojado dentro de um mancal de sustentação do sistema de alimentação de polímero, e tem por função reter o polímero na parte interna do transportador helicoidal com mola.

### 3.6 Polímeros Superabsorventes

Os polímeros superabsorventes constituem uma classe de materiais que possuem grande afinidade por líquidos. Devido a sua grande capacidade em aumentar de volume quando em contato com líquidos, conseguem aumentar em até 50 vezes o seu volume quando em contato com a água [Shakhoshiri, 1985].

### 3.7 Dosador

O dosador é um equipamento utilizado para controlar de forma homogênea e uniforme a quantidade adequada de produtos ou ingredientes necessários em um processo. São equipamentos encontrados nas indústrias do gênero alimentício, farmacêuticas, plásticas entre outras [Jatobá et al, 2013].

Conforme, Bildhauer, 2014, os dosadores podem ser divididos basicamente em dois grupos: volumétricos e gravimétricos (mássico).

- Dosador volumétrico: a dosagem do material é realizada em função de seu volume. Neste sistema, é realizada uma calibração inicial, que determina o peso do material com relação ao seu volume, sendo que a precisão dependerá da homogeneidade das partículas do material utilizado.
- Dosador gravimétrico: a dosagem do material é realizada em função do peso. A leitura do peso do material é realizada em tempo real. Neste sistema, o silo de pesagem é posicionado sobre células de carga e por intermédio delas a pesagem do material acontece automaticamente.

Conforme, Jatobá et al, 2013, o dosador gravimétrico proporciona maior precisão e homogeneidade na dosagem de material.

## 4. ESTUDO DE CASO

A empresa ABS produtora dos absorventes femininos, tem sua planta situada na região metropolitana de Porto Alegre. Como já mencionado, um dos materiais que compõem os absorventes externos femininos é o polímero superabsorvente de alta característica higroscópica.

Na configuração atual instalada na planta fabril da referida empresa, o processo de alimentação de polímero na máquina responsável pela produção de absorventes é feito por meio de um transportador helicoidal com mola (ver ilustração no Apêndice A). Um dos componentes deste sistema de transporte é o retentor, o qual é responsável por manter o polímero na parte interna da tubulação de transporte. O retentor vem apresentando falha prematura quando na utilização do polímero do fornecedor K, o qual possui características mais abrasivas, se comparado ao polímero do fornecedor S, que é o principal fornecedor de polímero da empresa ABS. Como tentativa de solucionar os problemas relacionados à falha do retentor a empresa ABS realizou testes com diferentes modelos de retentores, porém não obteve resultados satisfatórios. O Apêndice B apresenta uma imagem comparativa entre o



polímero do fornecedor S e o fornecedor K. O Apêndice C apresenta a imagem de um retentor após a falha.

Ao falhar e deixar de exercer sua principal função, que é vedar o duto, o retentor permite a passagem do polímero para a parte externa da tubulação de transporte, gerando riscos de acidentes físicos, bem como a contaminação da área com agentes insalubres. O vazamento do polímero também exige a intervenção mecânica para que seja realizada a substituição do retentor, o que acaba gerando perda de produtividade da máquina de produção de absorventes.

Em contrapartida, o polímero do fornecedor K representa uma redução de aproximadamente R\$ 223.000,00 ao ano à empresa ABS (Tabela 4.1), devido ao seu menor valor de compra, quando comparado ao polímero do fornecedor S. A empresa busca alternativas para sanar os problemas relacionados redução na produtividade e segurança oriundos de vazamentos ocasionados devido à falha do retentor quando o polímero do fornecedor K é utilizado, para assim alcançar uma redução de custo.

Outro componente que também apresenta falha é o condutor do transportador helicoidal, que apresenta vazamentos ao longo de sua estrutura devido ao contato direto e contínuo com a mola helicoidal, ocorrendo independentemente do polímero utilizado.

A Tabela 4.1 considera a produção da empresa ABS no período de novembro de 2013 a outubro de 2014 e a redução de custo total por ano a qual a empresa teria no período mencionado, caso suas 4 máquinas de produção de absorventes externos femininos (ABS-01, ABS-02, ABS-03, ABS-04) estivessem utilizado apenas o polímero do fornecedor K.

Tabela 4.1: Potencial de redução de custo para a empresa devido à utilização do polímero de fornecedor K.

|                 | Nº de absorventes externos produzidos ao ano | Redução de custo com a utilização do polímero K |
|-----------------|--|---|
| Máquina ABS -01 | 258113160                                    | R\$ 61.430,93                                   |
| Máquina ABS -02 | 254231210                                    | R\$ 60.507,03                                   |
| Máquina ABS -03 | 219731530                                    | R\$ 52.296,10                                   |
| Máquina ABS -04 | 204549500                                    | R\$ 48.682,78                                   |
|                 | Valor Total                                  | R\$ 222.916,84                                  |

A seguir, descreve-se ao desenvolvimento prático, com a utilização da ferramenta metodológica de projetos para seleção do sistema de transporte mais indicado para a empresa ABS.

## 5. METODOLOGIA

O dosador gravimétrico (ver ilustração Anexo C) foi pré-definido e não será submetido à aplicação na ferramenta metodológica de projetos. Essa pré-definição ocorreu pois, conforme atesta a Jatobá et al, 2013 esse equipamento proporciona melhor precisão e homogeneidade na dosagem de material, fato que contribui positivamente na qualidade dos absorventes externos. Pesou nesta pré-definição também o fato de o dosador gravimétrico já ter sido utilizado em outras máquinas de produção de absorventes, apresentando desempenho satisfatório. Todavia, seu custo será incorporado no custo total do sistema de transporte selecionado.

Para a seleção do sistema de transporte mais apropriado para alimentar as máquinas será aplicado o conceito proposto por Back et al, 2008. Estes autores sugerem que a seleção da concepção seja feita em duas etapas: uma primeira triagem, mais qualitativa, utilizando o método de Pugh, que consiste de um método simples e de fácil aplicação. E uma segunda etapa, onde os critérios são valorados e as concepções são ordenadas.

Na etapa inicial de triagem pelo método de Pugh, sugere-se utilizar 12 atributos qualitativos: fácil manutenção, atendimento a função, tecnicamente viável, viabilidade econômica, alta confiabilidade, boa aparência, fácil uso, apropriado ao meio ambiente, fácil transporte, alta inovação, segurança e fácil armazenagem. As concepções avaliadas devem ser comparadas com um produto ou conceito de referência [Neis, 2013].

Na coluna da solução de referência, para cada critério registra-se o valor zero (0). Para as outras concepções, cada critério é comparado com o correspondente da solução de referência, e se for melhor, registra-se um sinal positivo (+); sendo igual, assinala-se com zero (0) e, caso seja pior, adota-se o sinal negativo (-).

Para o presente trabalho, o sistema de referência será o transportador utilizado atualmente na máquina de absorventes da empresa ABS, que é o transportador helicoidal com mola. E os valores atribuídos as concepções foram definidos com o auxílio dos engenheiros da empresa ABS. Tabela 5.1 apresenta a triagem através da utilização do método de Pugh.

Tabela 5.1: Triagem dos atributos adotando o método de Pugh.

|                        | Transportador helicoidal |                  | Transportador elevador de canecas |            | Transportador de correia | Transportador pneumático |            |       |
|------------------------|--------------------------|------------------|-----------------------------------|------------|--------------------------|--------------------------|------------|-------|
|                        | Mola                     | Parafuso sem fim | Gravitacional                     | Centrífugo |                          | Aspiração                | Compressão | Misto |
| Fácil Manutenção       | 0                        | (-)              | (-)                               | (-)        | (-)                      | 0                        | 0          | (-)   |
| Atendimento a função   | 0                        | 0                | (-)                               | (-)        | (-)                      | (+)                      | (-)        | (-)   |
| Tecnicamente viável    | 0                        | 0                | (-)                               | (-)        | (-)                      | (+)                      | (-)        | (-)   |
| Alta confiabilidade    | 0                        | (-)              | (-)                               | (-)        | (-)                      | (+)                      | 0          | 0     |
| Alta inovação          | 0                        | 0                | (-)                               | (-)        | (-)                      | (+)                      | (+)        | (+)   |
| Segurança              | 0                        | 0                | 0                                 | 0          | (-)                      | (+)                      | (-)        | (-)   |
| Geometria              | 0                        | 0                | (-)                               | (-)        | (-)                      | 0                        | 0          | (-)   |
| Cinemática             | 0                        | 0                | (-)                               | (-)        | (+)                      | (-)                      | (-)        | (-)   |
| Ergonomia              | 0                        | (-)              | (-)                               | (-)        | (+)                      | 0                        | 0          | 0     |
| Produção               | 0                        | 0                | (-)                               | (-)        | (-)                      | (+)                      | 0          | (-)   |
| Operação               | 0                        | (-)              | (-)                               | (-)        | 0                        | 0                        | 0          | 0     |
| Reciclagem             | 0                        | 0                | 0                                 | 0          | 0                        | 0                        | 0          | 0     |
| Baixa manutenção       | 0                        | 0                | (-)                               | (-)        | (-)                      | 0                        | 0          | 0     |
| Impedir vazamentos     | 0                        | 0                | (-)                               | (-)        | (-)                      | (+)                      | (-)        | (-)   |
| Soma de (+)            |                          | 0                | 0                                 | 0          | 2                        | 7                        | 1          | 1     |
| Soma de (-)            |                          | 4                | 12                                | 12         | 10                       | 1                        | 5          | 8     |
| Soma de 0              |                          | 10               | 2                                 | 2          | 2                        | 6                        | 8          | 5     |
| Resultado de (+) e (-) |                          | 4 (-)            | 12 (-)                            | 12 (-)     | 8 (-)                    | 6 (+)                    | 4 (-)      | 7 (-) |

Após a aplicação da triagem inicial segundo o método de Pugh, o único sistema selecionado foi o transportador pneumático com sistema de aspiração, uma vez que este foi o único conceito a obter pontuação positiva. Por isso, este transportador será comparado ao modelo utilizado atualmente (conceito utilizado como referência), que tem pontuação nula. Espera-se, desta forma, verificar se é vantajosa a troca do transportador ou é válida a atualização do sistema atual.

Na segunda etapa, as soluções são comparadas quantitativamente. Conforme Back et al, 2008, antes de quantificar ou valorar os sistemas comparados, devem ser dados pesos ou importâncias relativas a cada um dos critérios. Para a determinação dos pesos, será utilizado o método da importância relativa por comparação aos pares (Tabela 5.2). Como sugere Stoll, 1999, os critérios de seleção são indicados nas linhas e nas colunas. Comparando-se cada critério, para o critério mais importante será atribuído o valor 1 e, ao outro, o valor de 0. Quando os dois critérios são considerados igualmente importantes, atribui-se o valor de 0,5 para ambos.

A Equação 5.1 é utilizada para a determinação dos pesos relativos de cada critério.

$$P_i = \frac{S_i}{\sum_{j=1}^n S_j} \quad (5.1)$$

onde,  $S_i$  é a soma de cada linha,  $n$  é o número de critérios e  $S_j$  é o somatório dos pesos de cada critério.

Tabela 5.2: Matriz de avaliação por comparação dos pesos dos critérios de seleção.

|                     | Critérios            |                      |                     |                     |               |           |           |            |           |          |          |            |                  |                    | Soma da linha | Peso |      |
|---------------------|----------------------|----------------------|---------------------|---------------------|---------------|-----------|-----------|------------|-----------|----------|----------|------------|------------------|--------------------|---------------|------|------|
|                     | Fácil Manutenção     | Atendimento a função | Tecnicamente viável | Alta confiabilidade | Alta inovação | Segurança | Geometria | Cinemática | Ergonomia | Produção | Operação | Reciclagem | Baixa manutenção | Impedir vazamentos |               |      |      |
|                     | Si                   | Pi                   |                     |                     |               |           |           |            |           |          |          |            |                  |                    |               |      |      |
| Critérios           | Fácil Manutenção     | -                    | 0                   | 0                   | 0,5           | 0,5       | 0         | 1          | 0,5       | 1        | 0,5      | 0,5        | 0                | 0                  | 5             | 0,05 |      |
|                     | Atendimento a função | 1                    | -                   | 0,5                 | 1             | 1         | 0         | 1          | 1         | 0,5      | 1        | 0,5        | 1                | 1                  | 0,5           | 10   | 0,11 |
|                     | Tecnicamente viável  | 1                    | 0,5                 | -                   | 0,5           | 1         | 0         | 1          | 1         | 0,5      | 1        | 0,5        | 1                | 0,5                | 0             | 8,5  | 0,09 |
|                     | Alta confiabilidade  | 0,5                  | 0                   | 0,5                 | -             | 1         | 0         | 1          | 1         | 0        | 1        | 1          | 0,5              | 0,5                | 0,5           | 7,5  | 0,08 |
|                     | Alta inovação        | 0,5                  | 0                   | 0                   | 0             | -         | 0         | 0,5        | 0,5       | 0        | 0,5      | 1          | 0                | 0                  | 0             | 3,5  | 0,04 |
|                     | Segurança            | 1                    | 1                   | 1                   | 1             | 1         | -         | 1          | 1         | 1        | 1        | 1          | 1                | 1                  | 0,5           | 12,5 | 0,14 |
|                     | Geometria            | 0                    | 0                   | 0                   | 0             | 0,5       | 0         | -          | 0         | 0,5      | 0,5      | 0          | 0,5              | 0                  | 0             | 2    | 0,02 |
|                     | Cinemática           | 0,5                  | 0                   | 0                   | 0             | 0,5       | 0         | 1          | -         | 0        | 0        | 0,5        | 0,5              | 1                  | 0             | 4    | 0,04 |
|                     | Ergonomia            | 0                    | 0,5                 | 0,5                 | 1             | 1         | 0         | 0,5        | 1         | -        | 0,5      | 0,5        | 1                | 1                  | 0             | 7,5  | 0,08 |
|                     | Produção             | 0,5                  | 0                   | 0                   | 0             | 0,5       | 0         | 0,5        | 1         | 0,5      | -        | 0,5        | 1                | 0                  | 0             | 4,5  | 0,05 |
|                     | Operação             | 0,5                  | 0,5                 | 0,5                 | 0             | 0,5       | 0         | 1          | 0,5       | 0,5      | 0,5      | -          | 1                | 0,5                | 0             | 6    | 0,07 |
|                     | Reciclagem           | 0,5                  | 0                   | 0                   | 0,5           | 0         | 0         | 0,5        | 0,5       | 0        | 0        | 0          | -                | 0                  | 0             | 2    | 0,02 |
|                     | Baixa manutenção     | 1                    | 0                   | 0,5                 | 0,5           | 1         | 0         | 1          | 0         | 0        | 1        | 0,5        | 1                | -                  | 0             | 6,5  | 0,07 |
|                     | Impedir vazamentos   | 1                    | 0,5                 | 1                   | 0,5           | 1         | 0,5       | 1          | 1         | 1        | 1        | 1          | 1                | -                  | 0             | 11,5 | 0,13 |
| Somatório dos pesos |                      |                      |                     |                     |               |           |           |            |           |          |          |            |                  |                    | 91            | 1,00 |      |

Uma vez determinados os pesos de importância dos critérios, o passo seguinte é o cálculo do valor da função utilidade dos sistemas transportadores comparados, para obter a ordenação dos mesmos. É considerado o melhor sistema aquele que apresentar maior soma final da multiplicação direta do peso pelo valor atribuído a cada critério [Back et al, 2008].

Back et al, 2008, aconselha que a valoração dos critérios seja efetuada adotando-se os conceitos e os respectivos valores apresentados na Tabela 5.3. A Tabela 5.4 apresenta a matriz de ordenação dos sistemas para seleção do transportador.

Tabela 5.3: Valoração de critérios qualitativos [Adaptado: Back et al, 2008].

| Valoração qualitativa de critérios | Valoração numérico dos critérios |
|------------------------------------|----------------------------------|
| Satisfatório                       | 1                                |
| Regular                            | 2                                |
| Bom                                | 3                                |
| Muito bom                          | 4                                |
| Excelente                          | 5                                |

Tabela 5.4: Ordenação dos sistemas na segunda etapa de seleção do projeto.

| Critérios            | Pesos | Valoração dos critérios             |                                   | Função global ponderada. |                  |
|----------------------|-------|-------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------|------------------|
|                      |       | Transportador pneumático por sucção | Transportador helicoidal com mola | Peso x Valoração         | Peso x Valoração |
| Fácil Manutenção     | 0,05  | 3                                   | 2                                 | 0,16                     | 0,11             |
| Atendimento a função | 0,11  | 4                                   | 3                                 | 0,44                     | 0,33             |
| Tecnicamente viável  | 0,09  | 4                                   | 3                                 | 0,37                     | 0,28             |
| Alta confiabilidade  | 0,08  | 4                                   | 2                                 | 0,33                     | 0,16             |
| Alta inovação        | 0,04  | 4                                   | 2                                 | 0,15                     | 0,08             |
| Segurança            | 0,14  | 5                                   | 3                                 | 0,69                     | 0,41             |
| Geometria            | 0,02  | 4                                   | 3                                 | 0,09                     | 0,07             |
| Cinemática           | 0,04  | 4                                   | 3                                 | 0,18                     | 0,13             |
| Ergonomia            | 0,08  | 4                                   | 3                                 | 0,33                     | 0,25             |
| Produção             | 0,05  | 4                                   | 3                                 | 0,20                     | 0,15             |
| Operação             | 0,07  | 4                                   | 3                                 | 0,26                     | 0,20             |
| Reciclagem           | 0,02  | 3                                   | 3                                 | 0,07                     | 0,07             |
| Baixa manutenção     | 0,07  | 5                                   | 2                                 | 0,36                     | 0,14             |
| Impedir vazamentos   | 0,13  | 5                                   | 1                                 | 0,63                     | 0,13             |
| SOMA                 |       |                                     |                                   | 4,26                     | 2,50             |

Para finalizar a etapa de valoração, Pahl et al, 2005, recomenda empregar uma valoração técnica ( $W_t$ ) e uma valoração econômica ( $W_w$ ).

O cálculo da valoração técnica pode ser encontrado na Equação 5.2.

$$W_t = \frac{\sum_{i=1}^n p_i W_{ij}}{W_{max} \sum_{i=1}^n p_i} \quad (5.2)$$

onde,  $p$  é o seu respectivo fator de ponderação ou peso,  $w$  é o valor atribuído a cada parâmetro,  $i$  referencia a linha do critério,  $j$  referencia a coluna da concepção a qual está sendo realizado o cálculo, e  $W_{max}$  é o maior valor da escala ponderada atribuída aos parâmetros, para o caso apresentado neste trabalho  $W_{max}$  será igual 5.

E a valoração econômica pode ser encontrada a partir da Equação 5.3.

$$W_w = \frac{0,7 H_{minimo}}{H_{variante}} \quad (5.3)$$

onde,  $H_{minimo}$  é o valor da concepção mais econômica e  $H_{variante}$  é o valor de cada concepção.

Para o cálculo da valoração global, Pahl et al, 2008, recomenda a utilização da Equação 5.4, sendo importante destacar que quanto maior o desequilíbrio entre a valoração técnica e econômica, maior será o efeito redutor sobre a valoração global ( $W$ ).

$$W = \sqrt{W_t W_w} \quad (5.4)$$

A Tabela 5.5 apresenta a valoração técnica, econômica e global, bem como o valor de aquisição de cada concepção, ambas somadas com o custo para aquisição do dosador gravimétrico.

Tabela 5.5: Resultados da valoração das concepções (custo estimado considerando o dólar cotado a R\$ 2,50).

|                               | Transportador pneumático por sucção e dosador gravimétrico | Transportador helicoidal com mola e dosador gravimétrico |
|-------------------------------|--|--|
| Custo de aquisição total      | R\$ 72.685,00  | R\$ 52.525,00  |
| Valoração técnica ( $W_t$ )   | 0,85   | 0,50   |
| Valoração econômica ( $W_w$ ) | 0,51   | 0,7  |
| Valoração global ( $W$ )      | 0,66   | 0,59   |

Os dados referentes aos orçamentos assim como os fabricantes dos equipamentos mencionados na Tabela 5.5 encontram-se no Apêndice D, E e F.

O sistema de alimentação de polímero atualmente instalado na empresa ABS possui vazão mássica máxima de 8,5 kg/h sem que haja problemas relacionados a uniformidade de alimentação. Já o conjunto formado pelo dosador gravimétrico e o transportador pneumático selecionado possui vazão mássica de aproximadamente 10 kg/h, limitados pela capacidade do transportador helicoidal. Com a substituição do sistema de transporte atual pelo novo sistema aqui proposto haverá um ganho de produtividade, em termos percentuais, de 20%.

## 6. CONCLUSÃO

Com os dados apresentados no presente estudo, percebe-se que o atual sistema de transporte e alimentação utilizado pela empresa ABS apresenta deficiências relacionadas a produtividade e segurança, devido à falha no retentor do transportador helicoidal com mola, ocasionada quando na utilização do polímero K. O referido sistema apresenta ainda

vazamentos ao longo do condutor do transportador helicoidal, sendo que estes vazamentos apresentam menor ocorrência quando comparados aos ocasionados devido à falha do retentor, porém são gerados independentemente do polímero utilizado.

A ferramenta de análise de projetos empregada neste trabalho mostrou-se uma forma relativamente simples e objetiva de se definir o sistema mecânico mais adequado para o atendimento de uma dada função. No caso deste estudo, essa ferramenta apontou o transportador pneumático com sistema de aspiração ou sucção como a melhor solução para os problemas levantados.

A utilização do transportador pneumático por sucção apresenta a melhor alternativa para a solução dos problemas práticos já mencionados, pois o transportador selecionado não apresenta possibilidade de vazamentos devido ao fato de sua tubulação de transporte não necessitar de vedação em suas uniões, visto que estas são soldadas ou rosqueadas. Ademais, o projeto para a fabricação da tubulação de transporte deverá considerar a abrasividade do polímero k, bem como a pressão necessária para movimentação do material. Com a inexistência de vazamentos de polímero, serão solucionados os riscos de acidentes pessoais ou de exposição a agentes insalubres, reduzindo ainda a realização de intervenções mecânicas que ocasionam reduções na produtividade.

O dosador gravimétrico possibilitará a empresa ABS um aumento na qualidade dos absorventes externos femininos, proporcionando maior uniformidade na alimentação do polímero.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Akilli, H.; Levy, E.K.; Sahin, B.; **“Gas-Solid Flow Behavior in a Horizontal Pipe after 90° Vertical-to-Horizontal Elbow”**, Powder Technology, v. 116, p 43-52, 2001.

Back, N.; Ogliari, A.; Dias, A; Silva, J.C.. **“Projeto integrado de Produtos: planejamento, concepção e modelagem”**, Barueri, São Paulo, Editora Manole Ltda, 2008.

Bildhauer, A; **“Projeto de uma Planta de manufatura Flexível Multidisciplinar”**, Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia de Controle e Automação, Centro tecnológico UNIVATES, Lajeado, RS, 2014.

Correias Mercúrio.;**“Manual Técnico: Correias, Transportadoras e Elevadoras”**, 2ª edição, Jundiaí, SP, Correias Mercúrio, 154 p, 1985.

Dickow, R. S.;**“Dimensionamento de Transportador Pneumático para Resíduos de Cereais”**, Trabalho de Conclusão de Curso, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Panambi, RS, 66 p, 2013.

Dubbel, H.; **“Manual da Construção de Máquinas”**, 13ª edição, volume 2, São Paulo, SP, Hermus, 1974.

Fábrica de Aço Paulista.; **“Manual de Transportadores Contínuos”**, 4ª edição, São Paulo, SP, Fábrica de Aço Paulista, 462 p, 1991.

Jatobá, M, D.; Cristofolini, P, D.; Leal, C, R, F.; **“Protótipo de um Dosador de Líquidos Automatizado”**, Trabalho de Conclusão de Curso de Tecnologia e Automação Industrial, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2013.

Lopes, S. C.; **“Influência do Alimentador de Sólidos na Fluidodinâmica do Transporte Pneumático”**, Dissertação Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP, 96 p, 2007.

Magalhães, C. A.; “**Desenvolvimento e Avaliação de uma Máquina Recolhedora de Café em Terreiro Utilizando Transporte Pneumático.**”, Tese de Doutorado em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa: UFV, Viçosa: MG, 2003.

Kalman, H.; “**Attrition of Powders and Granules at Various Bends During Pneumatic Conveying**”, Powder Technology, v 112, p 244-250, 2000.

Marcus, R. D.; Leung, L.S.; Rizk, K. F.; “**Pneumatic Conveying of Solids**”, Londres: Chapman and Hall, 575 p, 1990.

Neis, P.D: “**Apostila de Projeto**”, Departamento de Engenharia Mecânica, 81 p, 2013.

Nonnenmacher, H.; “**Projeto, Construção e Teste de Um Transportador Pneumático de Grãos**” Dissertação Mestrado em Engenharia Agrícola, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria: UFSM, 1983.

Pahl, G.; Wolfgang, B.; Feldhusen, J.; Grote, K.H; “ **Projeto na Engenharia: Fundamentos do Desenvolvimento Eficaz de Produtos, Métodos e Aplicações**”, 1ª edição, São Paulo, SP, Editora Edgard Blücher, 412 p, 2005.

Perry, H. R; “**Chemical Engineers’s Handbook**”, 7ª edição, Nova York, McGraw-Hill, 1999.

Rudenko, N.; “**Máquinas de Elevação e Transporte**”, Rio de Janeiro, RJ, Livros Técnicos e Científicos, 426 p, 1976.

Sabó Group, “**Catálogo Técnico Sabó**”, <http://www.sabogroup.com.br>. Acessado em 10/10/2014.

Sacramento, R, C, F.; “**Apostila Transporte de Granéis**”, <http://www.transportedegraneis.ufba.br>. Acessado em 30/09/2014.

Schallert, R.; Levy, E.; “**Effect of a Combination of two Elbows on a Particle Roping in Pneumatic Conveying**”, Powder technology, v 107, p 226-233, 2000.

Silva, S. J.; Lacerda. F. A.F.; Nogueira.R.; Vieira.; “**Secagem e Armazenagem de Produtos Agrícolas**”, Viçosa, MG, Aprenda Fácil, 2008.

Salzer, G. S.; “ **Schüttgutförderer**”, Krausskopf - Verlag, p 204, 1968.

Shakhoshiri, B, Z.; “**Chemical Demonstrations: A Handbook for Teachers of Chemistry**”, Madison: University of Wisconsin Press, V3, p 368, 1985.

Spivakovakovskii, A.O.; “**Conveyors and Related Equipment**”, Moscow, Peace, 444p, 1974.

Stoll, H. W; “Product Design methods and Practices”, New York, Marcel Dekker, 1999.

Wang C.; Madhumita. B. R.; Rensheng. D.; “**Pneumatic Transport of Granular Materials Through a 90° Bend**”, Chemical Engineering Science, v 59, p 4637-4651, 2004.

**Anexo A** - Eficiência de alguns equipamentos de separação gás-sólido para três tamanhos de partículas distintos (Marcus et al., 1990).

Tabela A1: Eficiência de equipamentos de separação gás-sólido.

| <i>Equipamento</i>                  | <i>Eficiência (%)</i>      |                           |                           |
|-------------------------------------|----------------------------|---------------------------|---------------------------|
|                                     | <b>50<math>\mu</math>m</b> | <b>5<math>\mu</math>m</b> | <b>1<math>\mu</math>m</b> |
| Coletor inercial                    | 95                         | 16                        | 3                         |
| Ciclone de média eficiência         | 94                         | 27                        | 8                         |
| Ciclone de alta eficiência          | 98                         | 42                        | 13                        |
| Filtro industrial tipo 'shaker'     | >99                        | >99                       | 99                        |
| Filtro industrial tipo jato reverso | 100                        | >99                       | 99                        |

**Anexo B** – Representação gráfica e reprodução fotográfica do retentor utilizado atualmente na máquina utilizada para fabricação de absorventes externos femininos.

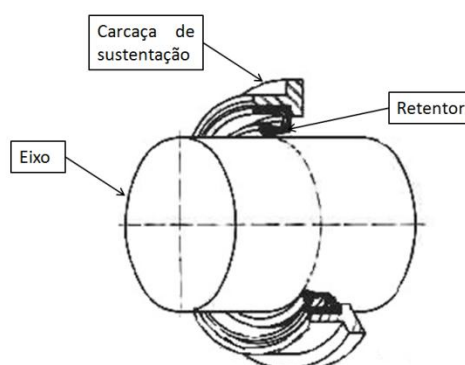


Figura B1.1: Representação de um retentor juntamente com eixo e a carcaça de sustentação [Adaptado: Catálogo Sabó, 2014].



Figura B1.2: Reprodução fotográfica do retentor utilizado atualmente no transportador helicoidal com mola.[Adaptado: Adaptado: Catálogo Sabó, 2014].

**Anexo C** – Ilustração do dosador gravimétrico e explicação de suas 4 etapas do processo.

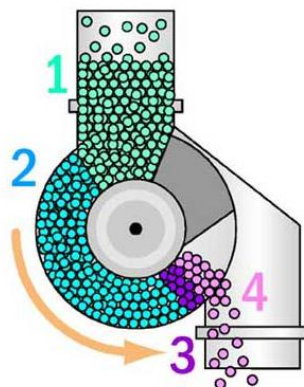


Figura C1: Ilustração de um dosador gravimétrico.

**Etapa 1:** Consolidação: as forças entre as partículas produzem o travamento do produto no final da Zona 1.

**Etapa 2:** Rotação: o produto permanece na condição de travamento por toda a Zona 2, girando como um corpo sólido

**Etapa 3:** Relaxamento: as forças entre as partículas diminuem para valores abaixo do limite de travamento

**Etapa 4:** Descarga: ocorre a descarga do produto.



**Apêndice A** – Figura contendo o transportador helicoidal com mola atualmente instalado na Máquina ABS-01.

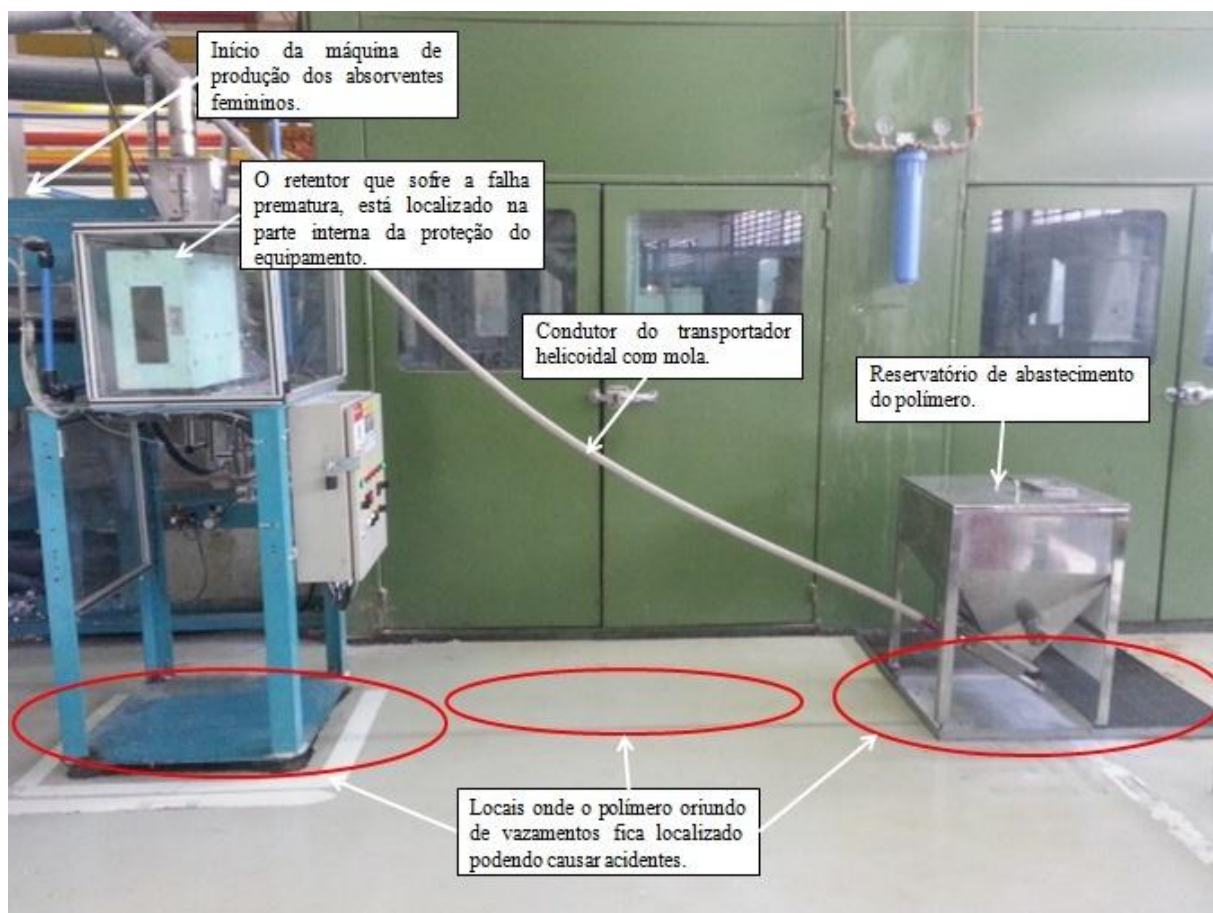


Figura A1: Imagem do sistema do transportador helicoidal com mola.

**Apêndice B** – Foto dos polímeros superabsorvente utilizado pela empresa ABS.



(a)



(b)

Figura A1: Polímero superabsorvente: (a) Polímero superabsorvente do fornecedor K e (b) Polímero superabsorvente do fornecedor S.

**Apêndice C** – Imagem do retentor após a ocorrência da falha.



Figura C1: Imagem do retentor utilizado no transportador helicoidal com mola,

**Apêndice D** – Previsão orçamentária do dosador gravimétrico.



10 de Junho de 2014



Proposta  
CKTBR2014/00.16

**Escopo de Fornecimento :**

**Item 1) Um (01) Dosador Gravimétrico Coperion K-Tron de Deslocamento Positivo**

**Descrição do Equipamento:**

Modelo do Dosador: K-CL-SFS-BSP-100 ( especificação 021101-en em anexo)

**Preços :**

Equipamentos **EX-Works Sewell, NJ – EUA** (Embalagem para frete aéreo inclusa).

Preço dos equipamentos descritos no item 1 .....US\$ 15.910,00

**Apêndice E – Previsão orçamentária do transportador pneumático por sucção.**

Coperion K-Tron Salina, Inc.  
606 North Front Street  
Salina, Kansas 67401  
United States  
Tel: 785-825-1611  
Fax: 785-825-8759  
www.coperionktron.com



**Quotation: 00520Q14-12011 - 0**

July 1, 2014,

**System 01**

SYSTEM PROFILE -- System No. Profile A, B, C, D

|                    |                          |
|--------------------|--------------------------|
| <b>System Type</b> | <b>Vacuum Sequencing</b> |
|--------------------|--------------------------|

**QUOTE TOTAL:** ..... **\$ 13,164**

**Apêndice F – Previsão orçamentária do transportador helicoidal com mola.**

|   |   |                                  |
|---|---|----------------------------------|
|  | <b>ORÇAMENTO</b><br><b>MULTSERV TORNEARIA MECANICA LTDA</b><br>RUA OTTMAR BENNO SCHULTZ, 3470 - 95800-000<br>VENANCIO AIRES - RS (51) 3741 - 2750<br>94.973.559/0001-41 IE: 155/0055728 | Pedido N°<br><b>11065</b>        |
|   |   | Data Pedido<br><b>27/06/2014</b> |

| Item          | Produto | Descrição  | Qtde | R\$ Unit.        | R\$ Total     | R\$ Desc | R\$ Tot Liq      |
|---------------|---------|--|------|------------------|---------------|----------|------------------|
| 1             | 10353   | TRANSPORTADOR - PC<br>OBS: fabricação de 01 transportador / alimentador de polímeros conforme projeto a ser enviado com prévia negociação. Características: Reservatório em aço inox capacidade de 20 kg de polímero, rosca transportadora em aço inox com acionamento para motoredutor vedação 100% comprimento aproximado de 6.250mm, equipamento com comando elétrico, proteções, gabinete e adequações à NR12. | 1    | 12.750,00        | 12.750,00     | 0,00     | 12.750,00        |
|               |         |  | 1    |                  | R\$ Produtos: |          | <b>12.750,00</b> |
| <b>TOTAIS</b> |         |  |      | TOTAL DO PEDIDO: |               |          | 12.750,00        |