

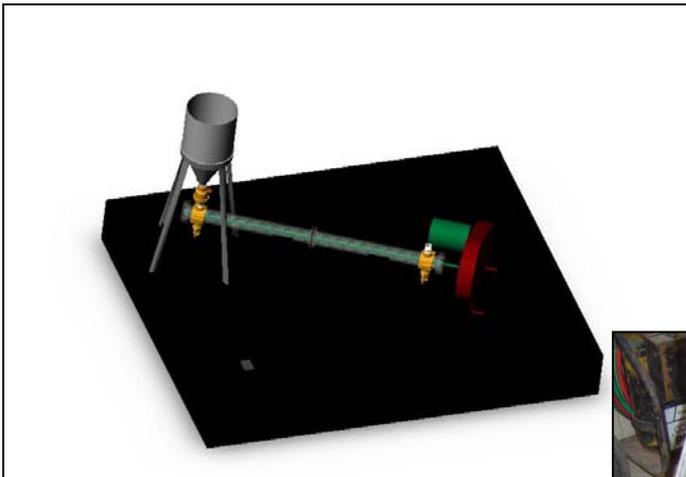


Universidade Federal da Bahia
Escola Politécnica
Departamento de Engenharia Mecânica
ENG320 – Transporte Mecânico



Relatório Técnico

Projeto e Construção de um Transportador Helicoidal



Salvador
Outubro 2003

Universidade Federal da Bahia
Escola Politécnica
Departamento de Engenharia Mecânica
ENG320 – Transporte Mecânico

Projeto e Construção de um Transportador Helicoidal

Autores:

Cristiano L. do Sacramento
Fernando J. Quito da S. Filho
Guilherme O. Souza
Jorge A. N. Rêgo

Professor:

Roberto C. Sacramento

Salvador
Outubro 2003

ÍNDICE ANALÍTICO

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | Objetivo | 4 |
| 2 | Descrição do Equipamento | 4 |
| 3 | Projeto | 5 |
| 3.1 | Composição do Equipamento..... | 6 |
| 3.2 | Memorial de Cálculo | 13 |
| 3.2.1 | Dimensionamento da Helicóide | 13 |
| 3.2.2 | Características Técnicas do Transportador | 18 |
| 3.2.3 | Autonomia de Trabalho Oferecida pelo Silo..... | 19 |
| 3.3 | Planejamento da Fabricação | 20 |
| 3.4 | Instruções de Montagem | 23 |
| 3.5 | Lista de Materiais | 25 |
| 3.6 | Planejamento das Atividades | 26 |
| 4 | Memorial de Fabricação e Montagem | 27 |
| 5 | Testes | 29 |
| 6 | Custos | 30 |
| 7 | Conclusão | 32 |
| 8 | Agradecimentos | 32 |
| 9 | Referências Bibliográficas | 32 |
| 10 | Anexos | 33 |

1 OBJETIVO

O objetivo do trabalho relatado no presente documento é projetar e construir um transportador helicoidal de dimensões reduzidas, para fins didáticos, e futuro aproveitamento em aulas expositivas de transportadores contínuos de granéis sólidos.

2 DESCRIÇÃO DO EQUIPAMENTO

O Transportador Helicoidal é um equipamento industrial utilizado para o transporte contínuo de granéis sólidos, apropriado para curtas distâncias e pequenas vazões. Versátil, ele pode desempenhar funções outras, além de sua principal, para beneficiamento do material no decorrer do processo como, misturar ou separar materiais e até resfriá-los ou aquecê-los.

Este equipamento é composto basicamente pelos seguintes itens, indicados na figura 1 abaixo, excetuando-se o conjunto de acionamento:

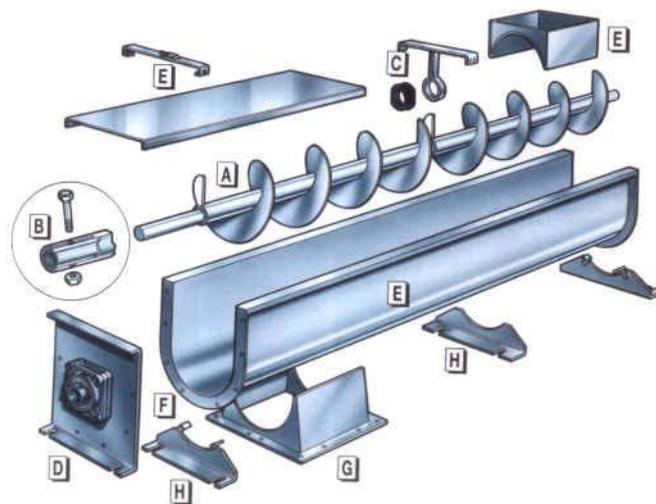


Figura 1 – Composição básica de um transportador helicoidal.

- ✓ Conjunto de Acionamento – Constituído por motor, e caixa de redução e acionamento, que geralmente é composta por polias ou engrenagens;
- ✓ Hélice ou Helicóide (Item A) – Agente transportador do material. Sua forma pode variar com as características do material a ser transportado, assim como com eventuais funções adicionais. Os principais tipos são a convencional hélice simples, hélice com dentes, para desagregar componentes do material transportado, hélice com pás, para realizar misturas,

e hélice em fita, podendo ser em fita simples ou fitas múltiplas, para transporte de materiais viscosos ou pegajosos.;

- ✓ Componentes de Travamento (Item B) – Ligam o transportador ao conjunto de acionamento, e delimitam o posicionamento dos componentes móveis;
- ✓ Mancais (Item C) – Sustentam o eixo da helicóide;
- ✓ Tampas de Fechamento (Item D) – Efetuam o fechamento da carcaça e alojam os mancais das extremidades;
- ✓ Carcaça e Bocal de Entrada (Item E) – A carcaça é o elemento envoltório do equipamento por onde o material é transportado. Pode ser aberta, tipo calha, com fundo arredondado ou retangular, ou tubular. O bocal de entrada é por onde o material adentra o transportador;
- ✓ Flange de Fechamento (Item F) – Elemento que promove a união da carcaça com as tampas de fechamento através de parafusos;
- ✓ Bocal de Descarga (Item G) – Via de saída do material;
- ✓ Suporte de Fixação (Item H) – Promove o sustento da carcaça e, conseqüentemente de todo o equipamento.

3 PROJETO

O projeto do transportador helicoidal a ser criado foi, desde seu início, guiado pelo objetivo principal do trabalho, supracitado. Dessa forma, foram definidos os aspectos e critérios fundamentais que o levariam a atingir tal objetivo com eficiência. Estes estão dispostos a seguir:

- ✓ Funções didáticas;
- ✓ Dimensões reduzidas;
- ✓ Facilidade de Montagem;
- ✓ Facilidade no manuseio;
- ✓ Facilidade na manutenção;

- ✓ Segurança;
- ✓ Economia;

Decidiu-se então que, como características didáticas, o transportador irá apresentar uma carcaça transparente, que possibilitará aos alunos enxergarem a movimentação do material no interior do equipamento e entenderem o seu mecanismo de funcionamento, e a possibilidade de se transportar material de qualquer uma das extremidades para a oposta, demonstrando assim que com a simples inversão do sentido de rotação da hélice, o sentido de transporte do material muda, além de auxiliar no entendimento da associação de sentidos de construção da hélice e de rotação do motor para o direcionamento correto do transporte do material.

Para atender o primeiro requisito, escolheu-se o acrílico para ser usado como matéria prima na confecção da carcaça. Devido a excessivos dificuldade e dispêndio, necessários à confecção de um perfil em calha, optou-se por uma carcaça tubular, por estarem disponíveis no mercado tubos do material em questão. Com o intuito de atender também aos aspectos de dimensões reduzidas e economia, foi adquirido um tubo de acrílico de 60mm de diâmetro externo, 53mm de diâmetro interno e 1 m de comprimento, por esse se tratar do mais barato encontrado.

Também atendendo ao requisito de economia, foram decididos o motor de acionamento a ser usado e o material a ser transportado, uma vez que ambos foram doados. O primeiro atende ainda ao requisito de função didática, pois permite facilmente a inversão do seu sentido de rotação.

3.1 COMPOSIÇÃO DO EQUIPAMENTO

Com as premissas para a seqüência do projeto do transportador definidas, passou-se à etapa de definição da composição do equipamento. O transportador helicoidal será constituído pelos itens abaixo descritos e demonstrados na figura 2:

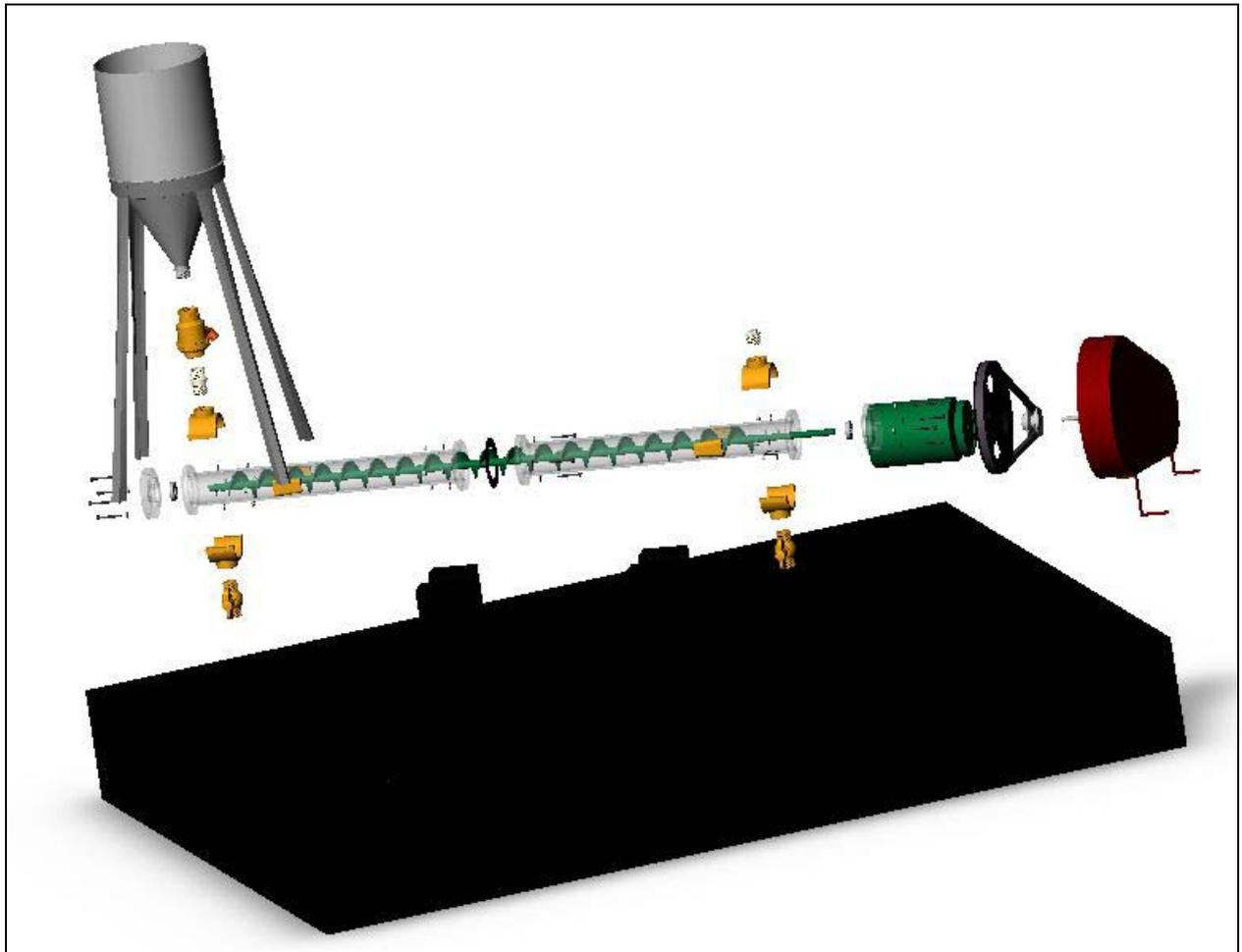


Figura 2 – Vista explodida do Transportador Helicoidal.

- ✓ Carcaça tubular – Feita em acrílico com 60mm de diâmetro externo, 53mm de diâmetro interno e 1 m de comprimento. A carcaça é bipartida axialmente para facilitar a manutenção, montagem e limpeza. A união das duas partes e o fechamento são feitos por intermédio de flanges, e entre as duas metades do tubo existe uma junta de borracha para absorver vibrações residuais. As figuras abaixo ilustram esse componente e o desenho mecânico referente aos tubos é o 01 anexo.

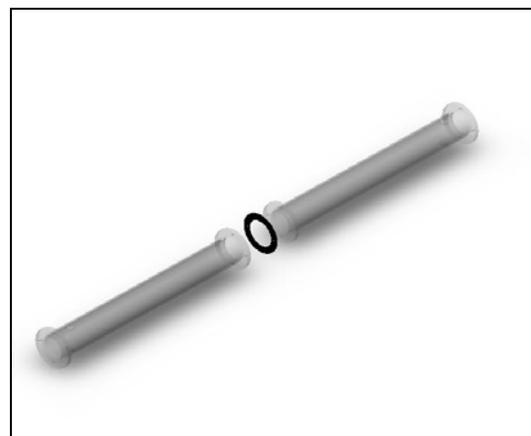


Figura 3 – Carcaça tubular em acrílico.

- ✓ Junta de borracha – instalada entre os flanges de união das partes bipartidas para absorver eventuais vibrações. Detalhada no desenho 02 anexo, e ilustrada abaixo.

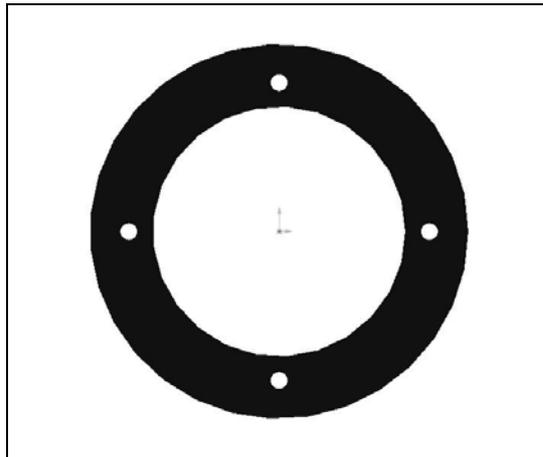


Figura 4 – Junta de borracha

- ✓ Tampas de fechamento – Também manufaturadas em acrílico, têm a função de fechar as extremidades do transportador e alojar os rolamentos que sustentam o eixo helicoidal. São ligadas ao tubo pelos flanges das extremidades deste. A tampa ilustrada a esquerda é vazada para que o eixo passe por ela, já a ilustrada a direita tem uma pequena folga para absorver imperfeições dimensionais no eixo. Desenhos 03 e 04 anexos.

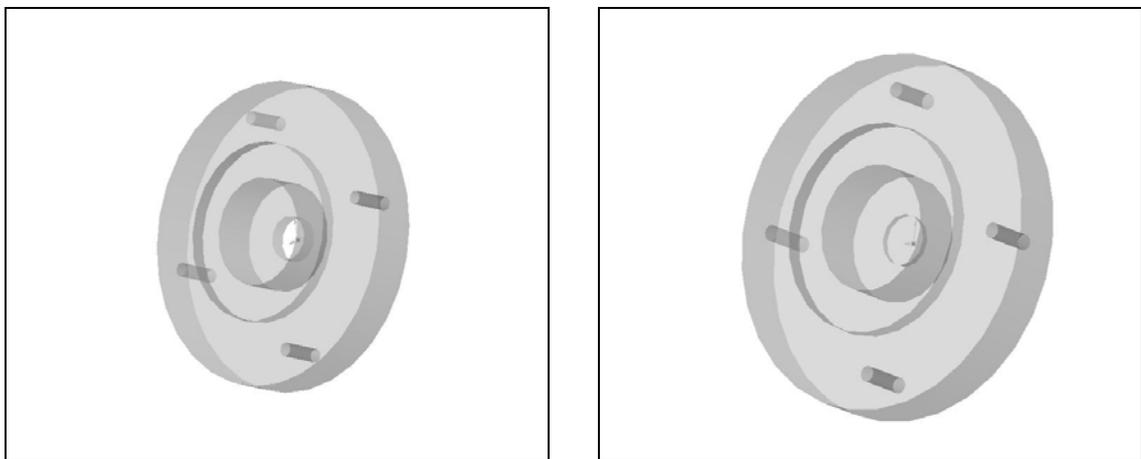


Figura 5 – Tampas de fechamento.

- ✓ Bocais de entrada e saída – Para as entradas e saídas do transportador foram escolhidos colares de PVC para tubulações residenciais de diâmetro 60mm e entrada de $\frac{3}{4}$ ” (figura5), devido a sua fácil adaptação ao tubo de acrílico, praticidade na conexão com outros acessórios hidráulicos, e diâmetro de entrada e saída condizente com o planejado. Este deveria ser pequeno devido a limitações de resistência da carcaça, feita de um

material frágil, outra característica favorável ao uso dos colares, pois este aumenta a resistência mecânica de um local já fragilizado.

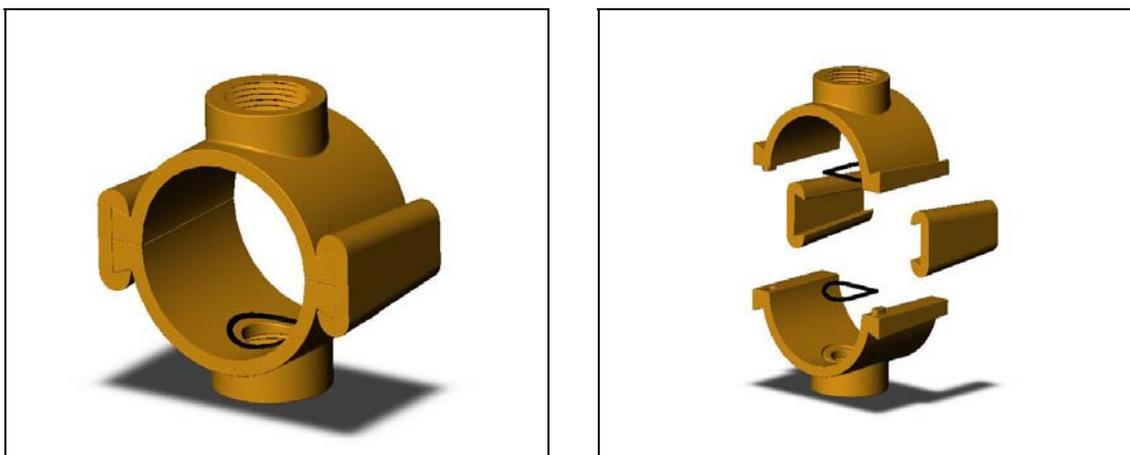


Figura 6 – Colar de PVC de 60mm de diâmetro.

- ✓ Válvulas de descarga – Válvulas de esfera comerciais em PVC de 3/4". Ilustração na figura 6 abaixo.

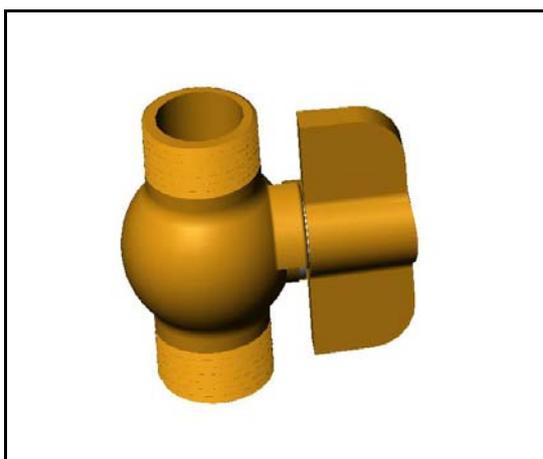


Figura 7 – Válvula de esfera em PVC de 3/4".

- ✓ Conexões para alimentação— Nipples em PVC, também de 3/4".

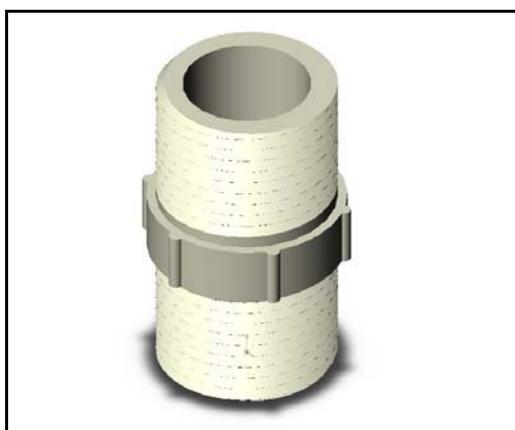


Figura 8 – Niple em PVC de 3/4".

- ✓ Fechamento do bocal de entrada não utilizado – Plug de $\frac{3}{4}$ " para tamponar a extremidade de entrada não utilizada, e evitar assim a saída do produto por este local, além de funcionar como um acessório de segurança, pois evita que sejam inseridos quaisquer objetos.



Figura 9 – Plug de $\frac{3}{4}$ " em PVC.

- ✓ Válvula de alimentação – Válvula de esfera em PVC de $\frac{3}{4}$ " que permite um certo grau de controle na vazão de entrada. Esta deve apresentar uma união em uma das extremidades, permitindo uma maior flexibilidade na montagem. Assim pode-se desconectar o silo da entrada sem a necessidade da remoção da válvula, ou de giro deste. A extremidade com rosca, sem união, fica conectada ao silo, e a outra ao niple de entrada.

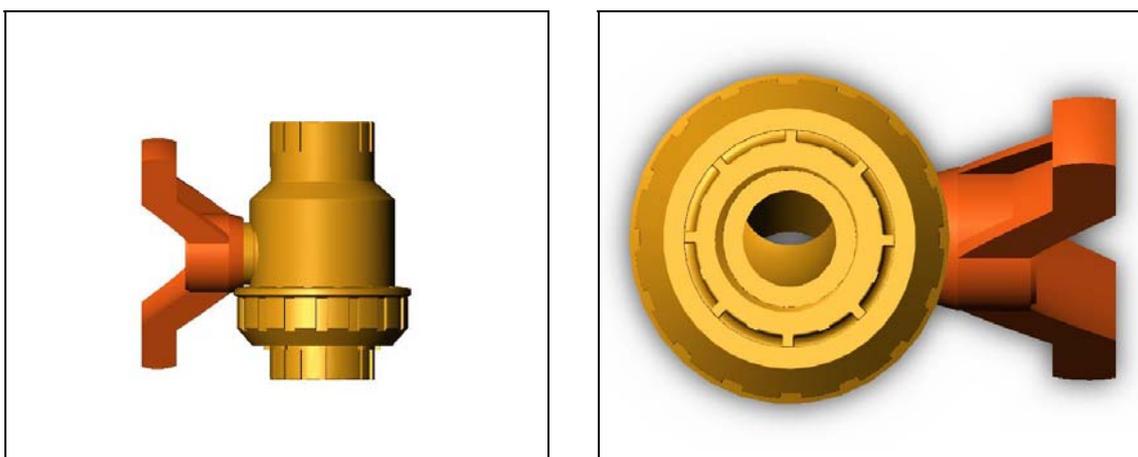


Figura 10 – Válvula de esfera em PVC com união.

- ✓ Silo de alimentação – Fabricado em aço galvanizado, deve ser acompanhado de uma base de mesmo material, e apresentar em sua extremidade inferior um niple de $\frac{3}{4}$ ", também

em aço galvanizado, soldado ao silo, para o fácil engate da válvula de alimentação. Quando totalmente cheio dispõe de uma autonomia de 13 minutos de operação do transportador, na vazão de projeto indicada no memorial de cálculo. Pode ser observado na figura 10 abaixo e nos desenhos 05 e 06 anexos.



Figura 11 – Silo de alimentação.

- ✓ Helicóide – Peça inteiriça em aço carbono SAE 1045. Suas extremidades são rebaixadas para acomodação dos mancais de rolamento, e uma delas apresenta um furo para a fixação da polia por pino. Ilustrada abaixo e detalhada no desenho 07 anexo.

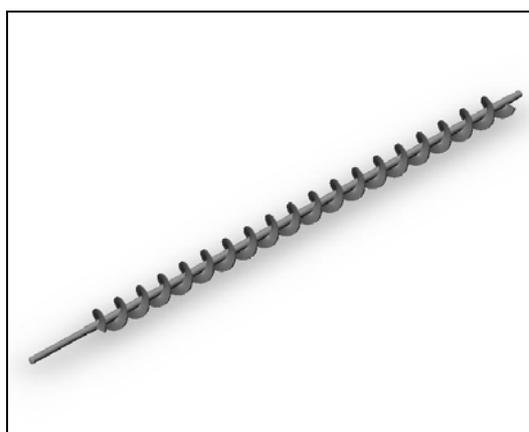


Figura 12 – Helicóide.

- ✓ Mancais – Rolamentos de 12mm de diâmetro, de carcaça blindada tipo life lubricated.

- ✓ Conjunto de acionamento – Composto por um motor monofásico de indução de $\frac{1}{4}$ de CV, e 1700 rpm, polia motriz de 2”, polia movida de 8”, ligada ao eixo, e uma correia de perfil em “V”. Abaixo estão a ilustração de todo o conjunto e uma foto do motor.

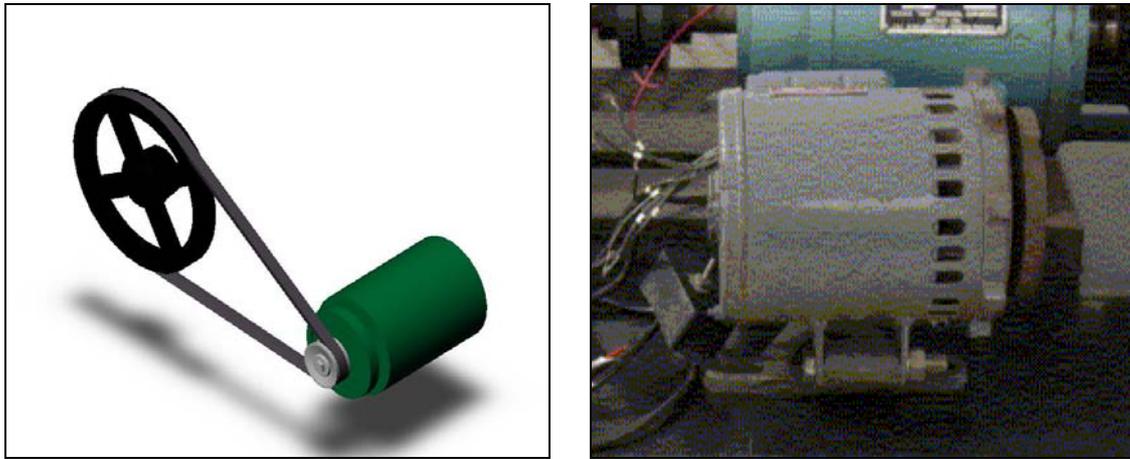


Figura 13 – Conjunto de acionamento e foto do motor.

- ✓ Proteção do conjunto de acionamento – Como as peças rotativas apresentam um elevado potencial de acidente, foi projetada uma proteção para evitar tanto o contato de pessoas, por uma questão de segurança, como o de objetos estranhos, visando a integridade do equipamento. Seu detalhamento encontra-se no desenho 08, e sua ilustração na figura 14 abaixo.

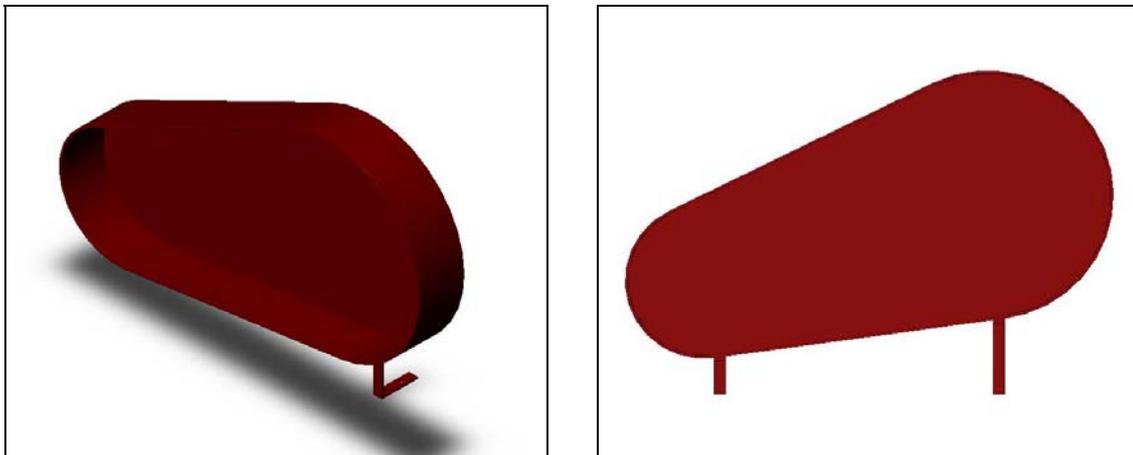


Figura 14 – Proteção do conjunto de acionamento.

- ✓ Conjunto de energização do sistema – Consiste em uma entrada de energia externa que está acoplada na base do conjunto, uma chave geral para acionar o sistema, e a fiação para a ligação do motor e conexão deste a chave de inversão. Quase toda parte elétrica está sob a base, conduzida por dutos, e a que está sobre a mesma, deve ser protegida, evitando assim possíveis acidentes com os operadores e espectadores. Para a entrada de

energia e chave para acionar o sistema, usar-se-á um conjunto comercial que apresenta na mesma moldura uma tomada e um interruptor.

- ✓ Botão de inversão do sentido de rotação do motor – Chave seletora de três posições com dois borns por posição.
- ✓ Base de sustentação – Constituída de um pallet forrado com madeirite, para um melhor acabamento, e duas torres de madeira para a sustentação da carcaça do transportador. Foi escolhido o pallet por sua resistência e por permitir que as fiações passassem por baixo e fossem fixadas com facilidade. Podem ser observados na figura abaixo, os recortes para fixação do conjunto de energização, botão de inversão e furo para a passagem do duto que conduz a fiação do motor. O detalhamento segue em anexo nos desenhos 09 e 10.

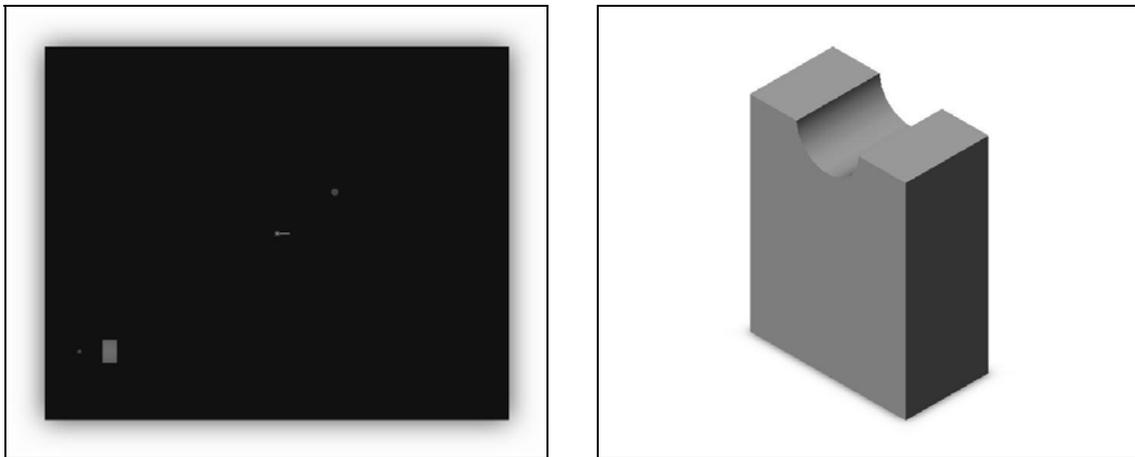


Figura 15 – Base e torre do Transportador.

- ✓ Caixa – Em madeirite, e deve encaixar sobre a base com o auxílio das guias laterais desta.

3.2 MEMORIAL DE CÁLCULO

Esta seção apresenta os cálculos necessários ao dimensionamento do transportador, e os que determinam as características técnicas desse.

3.2.1 Dimensionamento da Helicóide

Para o dimensionamento da helicóide partiu-se das premissas já definidas, as dimensões do tubo de acrílico encontrado, e a característica do material a ser transportado. O tubo comprado apresenta as seguintes dimensões, 1m de comprimento, 60mm de diâmetro externo e 53mm de

diâmetro interno. O material recebido por doação é o polietileno de alta densidade, cujas características são semelhantes ao material polietileno em bolinhas, encontrado na tabela 1-02 da pág 1.09 do “Manual de Transportadores Contínuos” da FAÇO, de código B25PQ, portanto trata-se de um material fino e não abrasivo de escoamento fácil.

Tomando-se como base o manual e catálogo “Screw Conveyor Engineering Guide”, da empresa Thomas Conveyor Company, definiu-se o diâmetro externo da helicóide. De acordo com o manual, a folga do helicóide para a carcaça é em média, cerca de 17 a 20 vezes menor que o diâmetro interno da carcaça. Ainda baseando-se na fonte em questão, foi definido o diâmetro do eixo da helicóide, que segundo esta, é em média $\frac{1}{4}$ do diâmetro externo da helicóide. Esses cálculos estão expostos abaixo.

Diâmetro interno do tubo (D_i) – 53mm

Utilizando-se a maior folga (f) indicada:

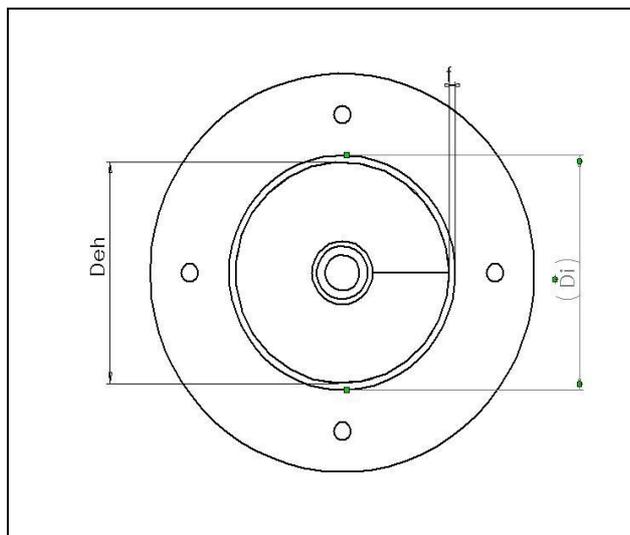


Figura 16 – Ilustração da folga entre a helicóide e a carcaça.

$$f = \frac{D_i}{17 \rightarrow 20} = \frac{26,5}{17} = 1,56$$

Assumimos então como folga o valor 1,5mm, o que corresponde a uma folga diametral de 3mm.

$$\therefore D_{eh} = D_i - 2.f = 53 - 3 = 50\text{mm}$$

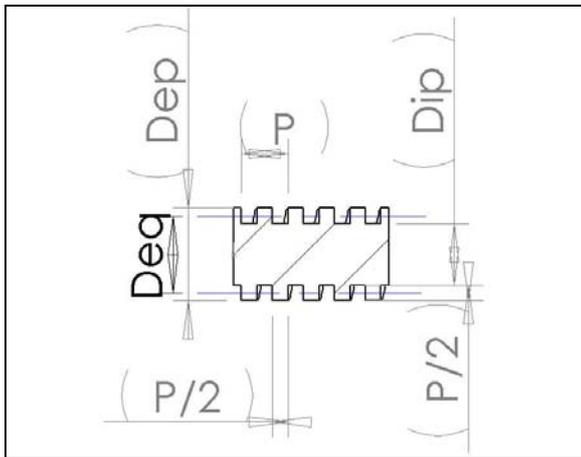
Onde D_{eh} – Diâmetro externo da helicóide.

Diâmetro do eixo da helicóide – D_{ih}

$$D_{ih} = \frac{D_{eh}}{4} = \frac{50}{4} = 12,5$$

Como é difícil encontrar barras de seção circular com esse diâmetro, comercialmente falando, e a usinagem de um eixo com relação L/D grande como a encontrada nesse caso é muito difícil, e apresenta riscos para a precisão dimensional, foi escolhida para o eixo, uma barra comercial de aço SAE1045 de diâmetro igual a 9/16”.

Para checar a folga entre helicóide e carcaça usou-se uma metodologia semelhante a usada no cálculo de resistência de parafusos de rosca quadrada, devido a semelhança guardada entre esses e uma helicóide. Para este tipo de cálculo considera-se o parafuso como uma barra de seção circular de diâmetro igual ao diâmetro médio da rosca, ou seja:



$$D_{eq} = \frac{D_{ep} + D_{ip}}{2}$$

Figura 17 – Perfil de uma rosca quadrada.

Onde:

D_{ep} – Diâmetro externo do parafuso

D_{ip} – Diâmetro interno do parafuso

P – Passo da rosca

D_{eq} – Diâmetro equivalente do parafuso

Portanto esse parafuso equivale a uma barra de seção circular de diâmetro equivalente igual ao diâmetro médio da região do filete, pois o material nesta região só ocupa metade dos espaços, uma vez que a outra metade está vazia. Assim, para a helicóide, usaremos uma barra de seção circular de diâmetro igual a D_{eq} proporcional a ocupação de material na região da rosca, como segue:

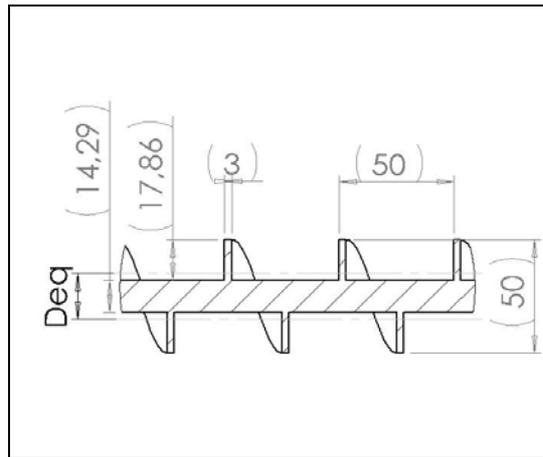


Figura 18 – Perfil da helicóide.

Proporção:

$$\frac{e}{P} = \frac{3}{50} = 0,06$$

Diâmetro equivalente:

$$D_{eq} = D_{ih} + (D_{eh} - D_{ih}) \cdot \frac{e}{P}$$

$$D_{eq} = 14,29 + (50 - 14,29) \cdot \frac{3}{50} = 16,43$$

Onde:

Deq – Diâmetro equivalente da helicóide

Dih – Diâmetro interno da helicóide

Deh – Diâmetro externo da helicóide

e – Espessura da helicóide

P – passo da helicóide

De posse do diâmetro equivalente podemos prosseguir com os cálculos da linha elástica. Pelo livro “Mecânica dos Sólidos” volume 2 da Livros Técnicos e Científicos Editora, a deflexão máxima para uma viga biapoiada sujeita a uma carga distribuída q é obtida pela seguinte fórmula:

$$\delta_{m\acute{a}x} = \frac{5 \cdot q \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot I}$$

Onde:

$\delta_{m\acute{a}x}$ – Deflexão máxima, que nestes casos ocorre no centro da viga

q – Carga distribuída

L – Comprimento da viga

E – Módulo de Elasticidade (para o aço é $2,1 \times 10^5$ GPa)

I – Momento de inércia da seção

Sendo que:

$$q = \frac{p}{L}$$

que para:

Peso do eixo p – 2,2kgf

L – Comprimento da helicóide (998mm)

É igual a:

$$q = \frac{2,2 \cdot 9,81}{998 \times 10^{-3}} = 21,63 \text{ N / m}$$

E:

$$I = \frac{\pi \cdot D^4}{64}$$

Que para D=Deq da helicóide é igual a:

$$I = \frac{\pi \cdot (16,43 \times 10^{-3})^4}{64} = 3,58 \times 10^{-9} \text{ m}^4$$

Então a deflexão máxima para a helicóide aqui projetada :

$$\delta_{m\acute{a}x} = \frac{5 \cdot 21,63 \cdot (998 \times 10^{-3})^4}{384 \cdot 2,1 \times 10^{11} \cdot 3,58 \times 10^{-9} \text{ I}} = 3,72 \times 10^{-4} \text{ m} = 0,372 \text{ mm}$$

∴. Não há risco de interferência entre a helicóide e a carcaça para a folga projetada.

3.2.2 Características Técnicas do Transportador

Com motor, carcaça, helicóide e material a ser transportado definidos podemos calcular as outras características técnicas do transportador.

✓ Vazão Q

A vazão para um transportador helicoidal qualquer é:

$$Q = 3600 \times \lambda \times \gamma \times K \times \left(\frac{\pi \times D^2}{4} \right) \times \left(\frac{t \times n}{60} \right)$$

Onde:

γ - Peso específico do material

K - Fator de correção do ângulo de inclinação do TH

n - Velocidade do eixo (Rpm)

λ - Fator de correção do volume ocupado

t - Passo da hélice

Como o material utilizado é o polietileno de alta densidade, um material de densidade média e não abrasivo, portanto $\lambda=0,325$, cujo γ é igual a $0,6 \text{ tf/m}^3$, e ainda levando-se em conta que a velocidade de rotação do motor disponível é de 1700rpm, a redução do motor para o eixo é de $\frac{1}{4}$, o diâmetro da helicóide e o passo da helicóide são 50mm e que não há inclinação do transportador, temos que:

$$Q = 3600 \times 0,325 \times 0,6 \times 1 \times \left(\frac{\pi \times 0,05^2}{4} \right) \times \left(\frac{0,05 \times \left(\frac{1700}{4} \right)}{60} \right) = 0,488 \text{ t/h} = 0,136 \text{ kg/s}$$

E a velocidade de deslocamento no interior do equipamento é de:

$$v = \frac{t \cdot n}{60} = \frac{0,05 \cdot \left(\frac{1700}{4} \right)}{60} = 0,354 \text{ m/s}$$

∴ Dentro da faixa de velocidade recomendada na apostila do curso, que recomenda uma velocidade entre 0,2 e 0,4 m/s.

✓ Potência requerida

A potência requerida por um transportador helicoidal qualquer é obtida pela seguinte fórmula:

$$N(Kw) = \frac{Q \times H}{367} + C_o \times \frac{Q \times l}{367}$$

Onde:

H – Elevação do material

Co – Coeficiente de resistência de acordo com o material que varia da seguinte forma:

1,2 – pós-granulosos

1,6 –

2,5 –

4,0 – Pedacos

l – Distância de transporte do material

Como trata-se de um material fino, portanto de Co=1,2, não há inclinação e o comprimento a ser vencido é de 998mm, temos que a potência requerida no transporte é:

$$N = \frac{0,488 \times 0}{367} + 1,2 \times \frac{0,488 \times 0,998}{367} = 1,59 \times 10^{-3} kW = 2,17 \times 10^{-3} CV$$

Como o motor disponível é de ¼ de CV, fornecendo portanto 0,175 CV para um rendimento de 70%, o motor atende com folgas a exigência de potência do transporte.

3.2.3 Autonomia de Trabalho Oferecida pelo Silo

Projetou-se o silo nesse trabalho de forma que ele guardasse proporções compatíveis com o equipamento, não podendo este ficar muito grande ou pequeno, com relação ao restante do transportador, por questão de praticidade e economia, afinal, como iríamos carregar esse componente se ele fosse muito grande, como fazê-lo caber na base, e qual o custo para uma grande autonomia, e por uma questão também de estética.

Dessa forma temos que a autonomia fornecida pelo silo é:

$$A = \frac{C}{Q}$$

Onde:

A – autonomia

C – Capacidade do silo

Q – Vazão do sistema

Sendo que a capacidade C do silo é determinada por:

$$C = V \cdot \gamma$$

Onde V é o volume do silo, que é igual a $8,44 \times 10^{-3} \text{ m}^3$, valor calculado pelo software de CAD Solidworks, onde o componente foi projetado. Como γ é igual a $0,6 \text{ t/m}^3$, temos que:

$$C = 8,44 \times 10^{-3} \cdot 600 = 5,06 \text{ kg}$$

Portanto temos uma autonomia de:

$$A = \frac{5,06}{0,136} = 37 \text{ s}$$

3.3 PLANEJAMENTO DA FABRICAÇÃO

Optou-se pela fabricação própria de alguns componentes, sendo que os restantes serão, comprados por estarem disponíveis no mercado, ou encomendados. Nesta última classificação se enquadram o silo e sua base, e a proteção do conjunto de acionamento, ordenados sob medida de acordo com os desenhos mecânicos anexos 05, 06 e 08 respectivamente. Outro caso particular é o das polias do conjunto de acionamento, que necessitam de uma alteração de seus diâmetros internos feita por torneamento.

As peças escolhidas para fabricação própria foram as abaixo listadas, seguidas dos seus respectivos planejamentos de processo.

- ✓ Carcaça Tubular – Para a fabricação do tubo flangeado, a seguinte seqüência de processo é necessária. Primeiramente o tubo deve ser seccionado axialmente ao meio com uma serra., a seguir são colados os flanges nas extremidades. Esses devem ser usinados a

partir de chapas de acrílico de 90x90x10mm, formando discos de 60mm de diâmetro interno e 90 mm de diâmetro externo, e depois furados para colocação dos parafusos de fixação, como indicado no desenho 11 anexo, e ilustrado abaixo.

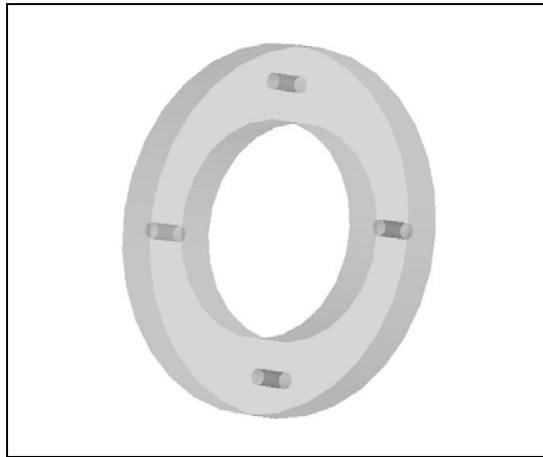


Figura 19 – Flange do tubo.

Após a colagem dos flanges, procede-se à furação das bocas de entrada e saída como indicado no desenho 01. Por fim fabrica-se o anel de borracha a partir de uma tira fazendo-se um recorte em disco semelhante ao do flange, como disposto no desenho 02. As tampas deverão ser usinadas a partir de chapas de 90x90x20mm, gerando discos com os rebaixos para encaixe no tubo e alojamento dos rolamentos, seguindo os desenhos 03 e 04.

- ✓ Helicóide – Este componente deve ser fabricado a partir da soldagem e conformação de discos no eixo. O cálculo para o dimensional da helicóide está na memória de cálculo, e o detalhamento da peça está no desenho 07 anexo. Os discos estão detalhados no desenho 12, e devem ser confeccionados com 3mm de espessura, e seus diâmetros interno e externo são calculados tomando-se como base os diâmetros, externo da helicóide e do eixo. A fórmula usada para tal dimensionamento é a seguinte:

$$D_d = \frac{l_{passo}}{\pi}$$

Onde:

D_d – Diâmetro do disco

L_{passo} – Comprimento do contorno da hélice no intervalo de um passo

O comprimento do contorno da hélice para os diâmetros interno e externo da helicóide foi obtido com auxílio do software de CAD/CAM, SurfCAM, onde foram desenhadas

duas espirais de uma revolução, passo 50mm, e diâmetros 50mm e 9/16”, e depois calculado o comprimento da curva.

$L_{\text{passo}} = 164,84541592$ mm, para $D=50$ mm

$L_{\text{passo}} = 67,19158113$ mm, para $D=9/16$ ”

Portanto:

$$D_{\text{dexterno}} = \frac{164,85}{\pi} = 52,47\text{mm}$$

$$D_{\text{dinterno}} = \frac{67,19}{\pi} = 21,39\text{mm}$$

O número de discos a serem feitos é:

$$n_d = \frac{l_{es}}{P}$$

onde:

n_d – número de discos

l_{es} – Distância entre entrada e saída

P – passo

Para o caso em questão, onde l_{es} é 900mm e P é 50mm:

$$n_d = \frac{900}{50} = 18\text{discos}$$

A seguir deve ser feito um corte nos discos no sentido radial, soldá-los ao eixo e depois conformá-los.

- ✓ Base – Para a manufatura da base é usado um pallet de madeira forrado com uma folha de madeirite, após isso devem ser feitos os recortes para o encaixe do conjunto de energização do sistema, do botão de inversão e da passagem da fiação do motor. As torres devem ter o encaixe para o tubo usinado de acordo com o desenho 10, e após a fixação desta à base, de acordo com o desenho 13, passa-se à fase de pintura. Por fim instala-se a fiação, o conjunto de energização e o botão de reversão.
- ✓ Caixa – A caixa deve ser feita toda em madeirite seguindo o desenho 14 anexo.

3.4 INSTRUÇÕES DE MONTAGEM

Para a montagem final do equipamento, deve-se seguir os passos a seguir descritos e ilustrados nas figuras abaixo.

- ✓ Primeiramente deve-se fixar o motor à base e conectá-lo à fiação.
- ✓ Como próximo passo monta-se o corpo do transportador. Primeiro unindo as duas metades do tubo, sem esquecer a junta de borracha, montando a tampa do lado oposto do motor, e montando os colares coincidindo o bocal destes com os furos de entrada e saída do tubo, como ilustrado na figura 20 abaixo.



Figura 20 – Montagem do tubo e colares.

- ✓ Insere-se a helicóide, com os rolamentos já montados no eixo, no tubo montado tomando o devido cuidado para não arranhar a carcaça de acrílico, e fecha-se o tubo com a outra tampa.

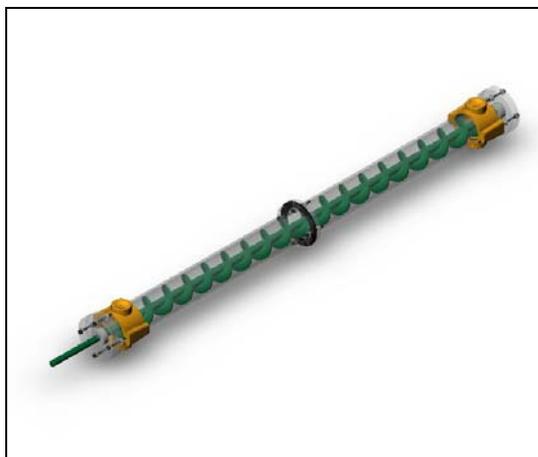


Figura 21 – Montagem do corpo.

- ✓ Monta-se a polia maior no eixo fixando-a com um contra-pino, depois acomoda-se o corpo nas torres, alinha-se as polias e encaixa-se a correia.

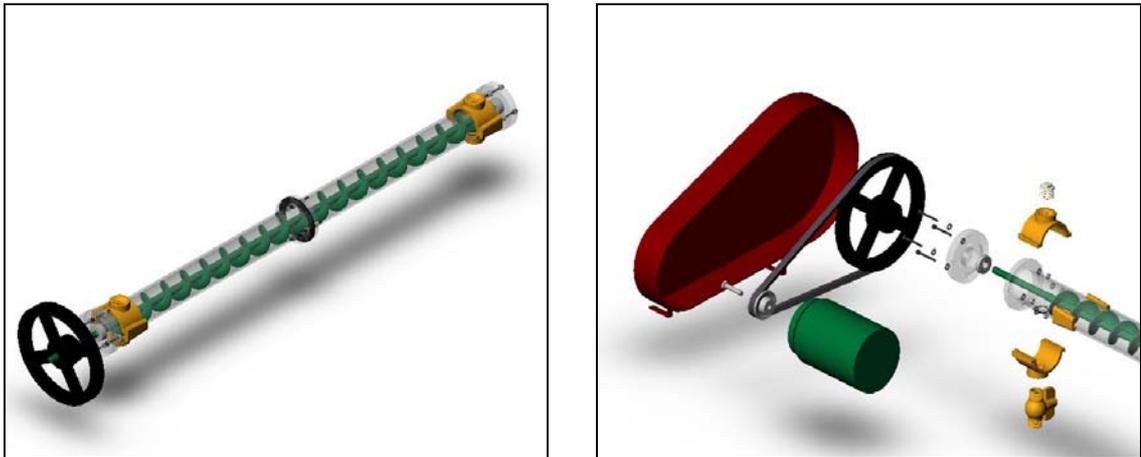


Figura 22 – Montagem do conjunto de acionamento

- ✓ Por fim, monta-se a proteção do conjunto de acionamento, e os outros acessórios, válvulas, niple, plug e silo no lado escolhido, como ilustrado na vista explodida disposta na figura 2 a pág. 7 e disposta novamente abaixo.

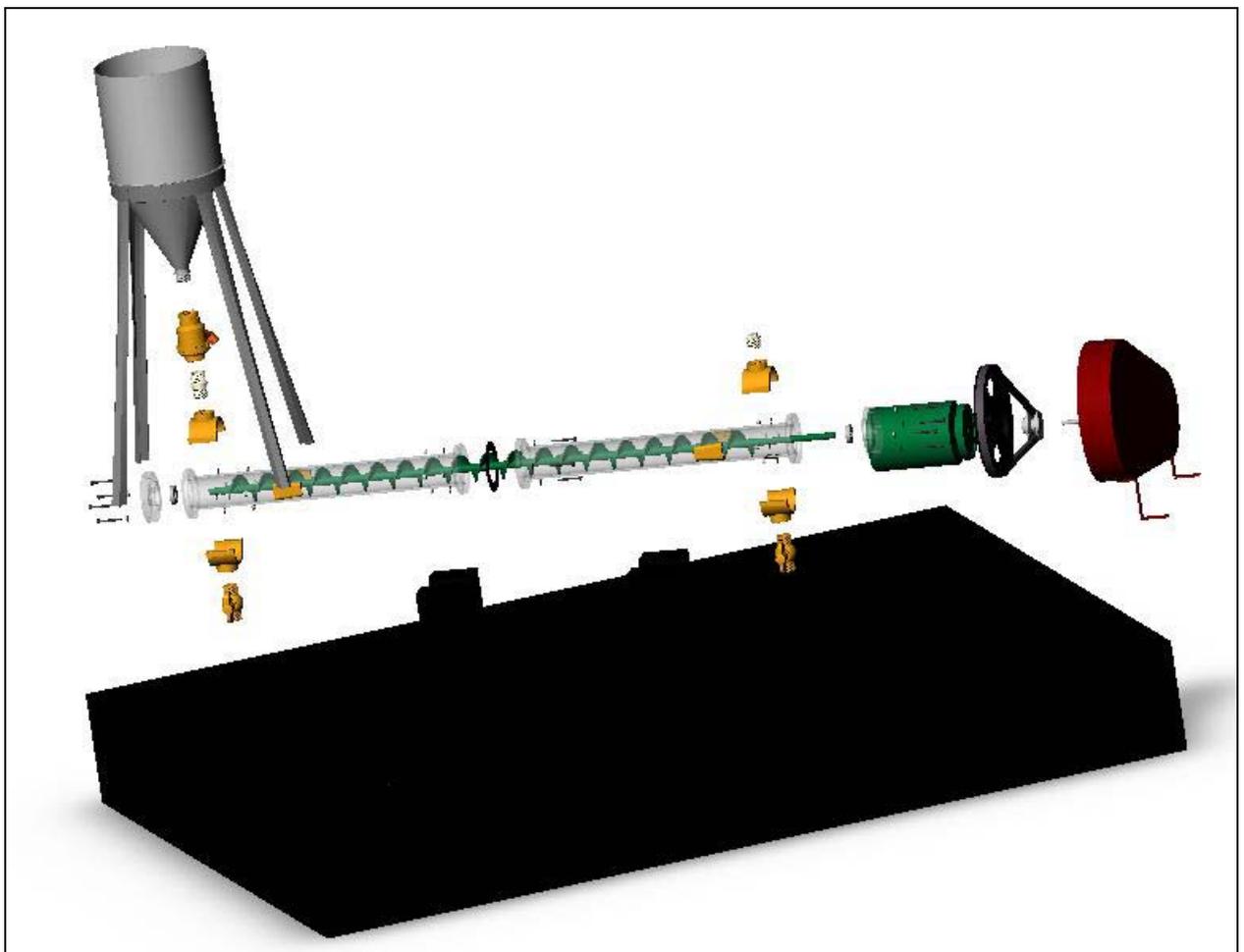


Figura 23 – Vista explodida do transportador.

3.5 LISTA DE MATERIAIS

Para lograr a construção do transportador conforme o projetado serão necessários os materiais dispostos na lista a seguir:

| Item | Especificação | Quantidade |
|------|--|------------|
| 01 | Tubo de Acrílico, L=1m, De=60mm e Di=53mm | 1 |
| 02 | Chapa de acrílico de 90x90x20mm | 2 |
| 03 | Chapa de acrílico de 90x90x10mm | 4 |
| 04 | Tira de borracha de 2mm de espessura | 1 |
| 05 | Colar de PVC para tubulações residenciais de diâmetro 60mm e entrada de 3/4" | 4 |
| 06 | Válvula de esfera comercial em PVC de 3/4" | 2 |
| 07 | Niple em PVC de 3/4" | 1 |
| 08 | Plug em PVC de 3/4" | 1 |
| 09 | Válvula de esfera em PVC de 3/4" com união | 1 |
| 10 | Barra de aço SAE1045 de 1,5m, bitola 9/16" | 1 |
| 11 | Chapa de aço SAE1045 de 3mm de espessura | 1 |
| 12 | Rolamento de 12mm de diâmetro | 2 |
| 13 | Motor monofásico de indução de 1/4CV, 1700rpm, 110/220V, 60Hz | 1 |
| 14 | Polia de alumínio de diâmetro 2" | 1 |
| 15 | Polia de alumínio de diâmetro 8" | 1 |
| 16 | Silo e Base | 1 |
| 17 | Proteção do conjunto de acionamento | 1 |
| 18 | Correia perfil em V para as polias acima | 1 |
| 19 | Conjunto comercial tomada-interruptor | 1 |
| 20 | Botão de 3 posições, 2 borns/posição | 1 |
| 21 | Pallet de madeira | 1 |
| 22 | Folha de madeirite espessura 6mm | 3 |
| 23 | Bloco de madeira | 2 |
| 24 | Parafuso Allem 4x40mm | 12 |
| 25 | Porca 4mm | 12 |
| 26 | Arruela 4mm | 24 |
| 27 | Parafuso cabeça sextavada 1/2" | 4 |
| 28 | Arruela 1/2" | 7 |
| 29 | Contra-pino | 1 |
| 30 | Parafuso 5mmx50mm | 4 |
| 31 | Arruela 5mm | 4 |
| 32 | Porca 5mm | 4 |
| 33 | Rolo de 5m de fio | 1 |
| 34 | 3m de duto para fiação | 1 |
| 35 | Terminal para fixação em born | 6 |
| 36 | rolo de fita isolante | 1 |
| 37 | Tubo de cola | 1 |

4 MEMORIAL DE FABRICAÇÃO E MONTAGEM

Esta seção tem o objetivo de expor as experiências vividas na fabricação e montagem do equipamento, com suas peculiaridades e dificuldades.

Com o projeto concluído, e com os materiais comprados, passou-se a fase de manufatura das peças de fabricação própria.

Primeiramente fabricou-se a carcaça tubular. Para a bipartição do tubo usou-se uma serra fita. Os flanges foram obtidos de 4 chapas de acrílico de 90x90x10mm, para tal, estas foram furadas em seu centro, em uma furadeira de bancada, depois fixadas, por meio de um parafuso neste furo, à mesa do centro de usinagem CNC, e usinadas em forma de disco. Por fim, prendeu-se as placas em uma placa de castanhas universais e o diâmetro interno do flange foi ajustado.

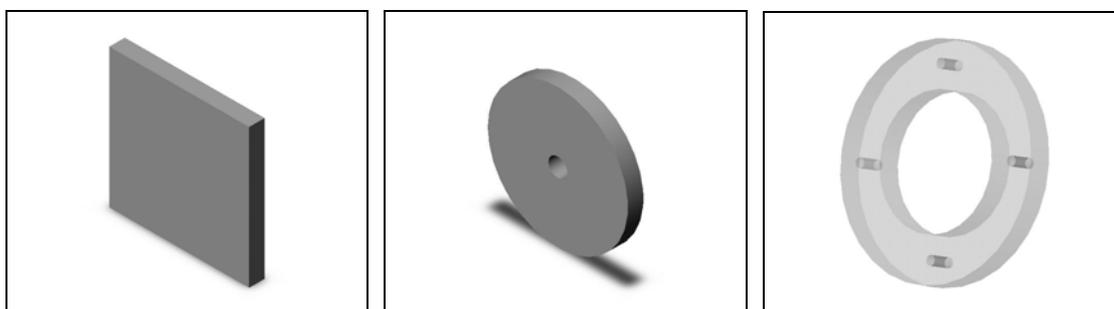


Figura 23 – Seqüência de fabricação dos flanges.

Após isso colou-se os flanges no tubo, e os bocais de entrada e saída foram furados em uma furadeira radial.

As tampas foram obtidas através de processo semelhante, a partir de chapas de 90x90x20mm, excetuando-se a do lado oposto ao motor, que não pode ser furada de forma passante. Para contornar essa limitação, foi feito primeiro o rebaixo, e depois prendeu-se a peça por este rebaixo à uma placa de castanhas universais e fresou-se o diâmetro externo.

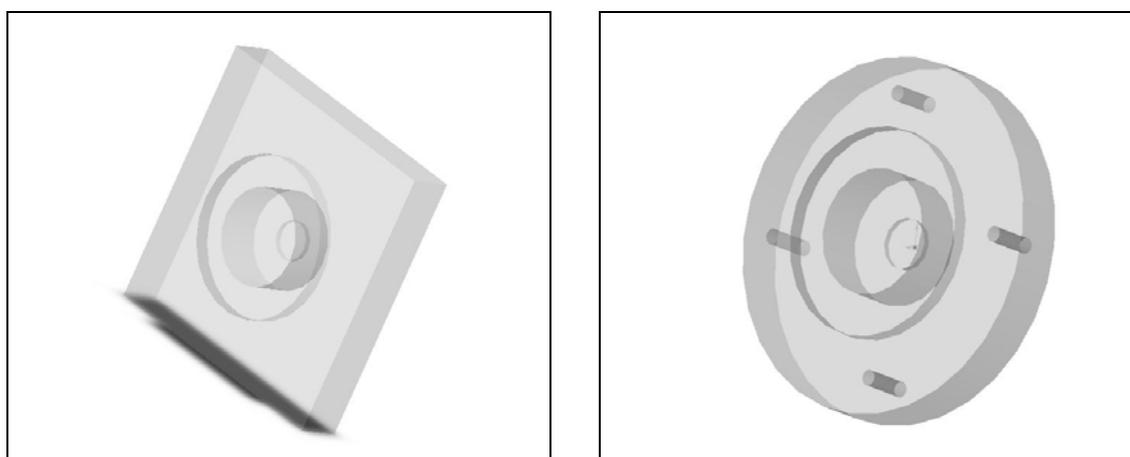


Figura 24 – Fabricação da tampa do lado oposto ao motor.

Já a junta de borracha foi obtida através de uma tira de borracha de 2mm de espessura. Usou-se o flange como ferramenta de auxílio e cortou-se a borracha no formato com o uso de um estilete.



Figura 25 – Tira de borracha.

O eixo helicoidal foi o componente que demandou maior trabalho. Inicialmente torneou-se o eixo de bitola 9/16” com os rebaixos para o encaixe dos rolamentos. Como passo seguinte, foram obtidos os discos a partir da chapa de aço de 3mm de espessura. Primeiro foram cortadas 18 chapas de 60x60 na guilhotina, depois estas foram furadas ao meio em uma furadeira de bancada, após isso presas por intermédio de parafuso na mesa do centro de usinagem CNC, e usinadas no diâmetro externo final, e por conseguinte foram levados ao torno para ajustar o diâmetro interno, e para finalizar foi feita uma seção no sentido radial com um arco de serra. Vale ressaltar aqui que toda a programação CNC para a usinagem das peças foi feita pelos componentes da equipe.



Figura 26 – Fases da fabricação dos discos.

As fotos abaixo mostram os discos durante sua fabricação.



Figura 27 – Fabricação dos discos.

Com os discos prontos passou-se a etapa de soldagem destes ao eixo. A seguinte seqüência foi seguida para todos os discos, primeiro deformava-se levemente o disco, depois

ponteava-se uma extremidade interna do disco ao eixo, após conformava-se o disco até atingir o passo desejado, por fim ponteava-se a outra extremidade externa ao eixo.



Figura 28 – Componentes da equipe durante etapa de conformação da helicóide.

Para a fabricação da base forrou-se o pallet com uma folha de madeirite. Para o prosseguimento dessa etapa era necessária a definição da disposição do transportador na base, onde iriam ficar as torres e o posicionamento do motor. Com isso feito, fixaram-se as torres previamente usinadas, e foram feitos os recortes para o conjunto de energização, botão de inversão e passagem dos fios, e os furos para a fixação do motor e do conjunto de acionamento. Após a pintura da base procedeu-se a etapa de instalação das fiações e acabamento, foram fixados a base o conjunto de energização e o botão de inversão, o motor e a proteção do conjunto de acionamento. Com isso feito tem-se a montagem completa das partes fixas, ficando o corpo do transportador livre para ser montado e desmontado quando conveniente for.

5 TESTES

Após ter-se conseguido montar grande parte do transportador, foram realizados testes para checar o funcionamento do mesmo. Nestes foi identificado apenas um problema, as aberturas de saída não são compatíveis com a vazão máxima do transportador.

Este era um problema já esperado, uma vez que foram feitos furos de saída de dimensões relativamente pequenas, devido a limitações estruturais do tubo, que é feito de acrílico, um

material frágil. Para limitar ainda mais as dimensões dos furos, há o fato de eles serem feitos em regiões muito próximas, enfraquecendo ainda mais a carcaça.

Para contornar tal problema, procurou-se uma vazão ótima de funcionamento para o transportador. Fazendo o equipamento trabalhar nesta, foi medida a nova vazão do transportador. Para a medição enchia-se o silo, esperava-se o equipamento entrar em regime, e marcava-se o tempo para encher um recipiente de 1 litro. Esse procedimento foi repetido 3 vezes.

- ✓ Tempos medidos:

$$T_1 - 94,2s$$

$$T_2 - 95,1s$$

$$T_3 - 94,8s$$

- ✓ Tempo médio T_m :

$$T_m = \frac{T_1 + T_2 + T_3}{3} = \frac{94,2 + 95,1 + 94,8}{3} = 94,7s$$

- ✓ Vazão ótima Q_o :

$$Q_o = \frac{\gamma \cdot V}{T_m} = \frac{0,6Kg / dm^3 \cdot 1dm^3}{94,7} = 6,34 \times 10^{-3} kg / s$$

- ✓ Autonomia do silo para vazão ótima:

Como já calculado anteriormente, a capacidade do silo é de 5,06kg, portanto:

$$A = \frac{C}{Q_o} = \frac{5,06}{0,00634} = 798,64s = 13,31 \text{ min}$$

6 CUSTOS

Os custos deste trabalho estão expostos na tabela a seguir:

| Item | Especificação | Quantidade | Preço |
|------|--|------------|------------|
| 01 | Tubo de Acrílico, L=1m,De=60mm e Di=53mm | 1 | R\$ 194,00 |
| 02 | Chapa de acrílico de 90x90x20mm | 2 | |
| 03 | Chapa de acrílico de 90x90x10mm | 4 | |
| 04 | Tira de borracha de 2mm de espessura | 1 | R\$ 4,00 |
| 05 | Colar de PVC para tubulações residenciais de diâmetro 60mm e entrada de ¾" | 4 | R\$ 48,10 |
| 06 | Válvula de esfera comercial em PVC de ¾" | 2 | |
| 07 | Niple em PVC de ¾" | 1 | |
| 08 | Plug em PVC de ¾" | 1 | |
| 09 | Válvula de esfera em PVC de ¾" com união | 1 | |
| 10 | Barra de aço SAE1045 de 1,5m, bitola 9/16" | 1 | R\$ 10,00 |
| 11 | Chapa de aço SAE1045 de 3mm de espessura | 1 | R\$ - |
| 12 | Rolamento de 12mm de diâmetro | 2 | R\$ 16,00 |
| 13 | Motor monofásico de indução de 1/4CV, 1700rpm, 110/220V, 60Hz | 1 | R\$ - |
| 14 | Polia de alumínio de diâmetro 2" | 1 | R\$ 23,00 |
| 15 | Polia de alumínio de diâmetro 8" | 1 | |
| 16 | Silo e Base | 1 | R\$ 100,00 |
| 17 | Proteção do conjunto de acionamento | 1 | R\$ 10,00 |
| 18 | Correia perfil em V para as polias acima | 1 | R\$ 5,00 |
| 19 | Conjunto comercial tomada-interruptor | 1 | R\$ 6,00 |
| 20 | Botão de 3 posições, 2 borns/posição | 1 | R\$ 7,00 |
| 21 | Pallet de madeira | 1 | R\$ - |
| 22 | Folha de madeirite espessura 6mm | 3 | R\$ 45,00 |
| 23 | Bloco de madeira | 2 | R\$ 18,00 |
| 24 | Serviço de solda | | R\$ 60,00 |
| 25 | Parafuso Allem 4x40mm | 12 | R\$ 3,00 |
| 26 | Porca 4mm | 12 | |
| 27 | Arruela 4mm | 24 | |
| 28 | Chaves Allem | 2 | R\$ 3,00 |
| 29 | Parafuso cabeça sextavada 1/2" | 4 | R\$ 2,00 |
| 30 | Arruela 1/2" | 7 | |
| 31 | Contra-pino | 1 | |
| 32 | Parafuso 5mmx50mm | 4 | R\$ - |
| 33 | Arruela 5mm | 4 | R\$ - |
| 34 | Porca 5mm | 4 | R\$ - |
| 35 | Rolo de 5m de fio | 1 | R\$ - |
| 36 | 3m de duto para fiação | 1 | R\$ - |
| 37 | Terminal para fixação em born | 6 | R\$ - |
| 38 | rolo de fita isolante | 2 | R\$ 3,00 |
| 39 | Tubo de cola | 1 | R\$ - |
| 40 | Capacitor | 1 | R\$ 6,00 |
| 41 | Custo de peças mortas | | R\$ 40,85 |
| 42 | Custo com impressão e gravação em CD | | R\$ 20,00 |
| 43 | Despesas com transporte e alimentação | | R\$ 120,00 |

Custo Total: R\$ 743,95

7 CONCLUSÃO

Por se tratar de um sistema mecânico, projetar e construir este transportador helicoidal, exigiu da equipe conhecimentos e estudo de diversas áreas da engenharia, colocando os componentes diante de situações que encontrarão em suas vidas profissionais. Trabalho em equipe, e preocupações com segurança, acabamento, respeito ao projeto e cumprimento de prazos, presentes em uma ambiente profissional, foram foco deste trabalho.

Portanto, com os resultados aqui apresentados em total concordância com a nossa proposta inicial, que era de um transportador helicoidal que demonstrasse seus princípios de funcionamento de forma didática, e com a possibilidade desse vir a ser integrado futuramente com outros transportadores fabricados por de alunos da disciplina, como transportadores pneumáticos, de correia, e elevadores de canecas, formando um sistema integrado para transporte contínuo de material, fica clara a reciprocidade de enriquecimento desse tipo de trabalho, que traz benefícios tanto aos alunos que o desenvolveram, como para a disciplina, que incrementa a sua infra-estrutura.

8 AGRADECIMENTOS

O grupo agradece ao Eng. Lúcio César Alcântara Neves pelo apoio dado, e por ter emprestado a sua oficina particular, recebendo os integrantes em sua casa por diversas vezes, para que estes pudessem fabricar e guardar o transportador helicoidal.

9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Apostila da disciplina ENG320 – Transporte Mecânico, versão 2002.2, produção independente, ano2003.
2. Manual de Transportadores Contínuos, Faço, uma publicação técnica da ALLIS Mineral Systems.
3. Screw Conveyor Engineering Guide, Thomas Conveyor Company.

10 ANEXOS

Seguem em anexo os seguintes documentos:

| Item | Descrição |
|-------------|---|
| 1 | Cronograma das atividades realizadas |
| 2 | Desenho 01 - Tubo cilíndrico |
| 3 | Desenho 02 - Junta de borracha |
| 4 | Desenho 03 - Tampa do lado do motor |
| 5 | Desenho 04 - Tampa do lado oposto ao motor |
| 6 | Desenho 05 - Silo |
| 7 | Desenho 06 - Base do silo |
| 8 | Desenho 07 - Helicóide |
| 9 | Desenho 08 - Proteção do conjunto de acionamento |
| 10 | Desenho 09 - Base do transportador |
| 11 | Desenho 10 - Torre da base |
| 12 | Desenho 11 - Flange |
| 13 | Desenho 12 - Disco para a helicóide |
| 14 | Desenho 13 - Montagem das torres |
| 15 | Desenho 14 - Caixa |
| 16 | CD contendo este relatório, arquivos de CAD, desenhos mecânicos fotos e ilustrações |