

1  
2005

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO ESCOLA POLITÉCNICA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

PRENSA DE RECICLÁVEIS ACESSÍVEL A COOPERATIVAS  
AUTOGESTIONÁRIAS DE COLETA

VISTO  
MK  
4/12/05

Danilo Mendes Nardini

São Paulo

2005

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO ESCOLA POLITÉCNICA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**PRENSA DE RECICLÁVEIS ACESSÍVEL A COOPERATIVAS  
AUTOGESTIONÁRIAS DE COLETA**

**Trabalho de formatura apresentado à Escola  
Politécnica da Universidade de São Paulo para  
obtenção do título de Graduação em Engenharia**

**Danilo Mendes Nardini**

**Orientador: Profº Marcelo Leal Alves**

**Área de concentração:  
Engenharia Mecânica**

**São Paulo**

**2005**

**DEDALUS - Acervo - EPMN**



31600011154

**FICHA CATALOGRÁFICA**

*001491473*

**Nardini, Danilo Mendes**

Prensa de recicláveis acessível a cooperativas autogestionárias de coleta / D.M. Nardini. -- São Paulo, 2005.  
50 p.

Trabalho de Formatura - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Mecânica.

1.Reciclagem 2.Compactação 3.Transmissão I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia Mecânica II.t.

**Aos meus Pais e a todas as Mulheres que me amaram.**

## **AGRADECIMENTOS,**

**A meus pais, por toda a formação que deram a mim.**

**Ao Escritório Piloto do Grêmio Politécnico da USP.**

**Aos orientadores do projeto de extensão “Reciclando Idéias”, Prof. Dr. Augusto Camara Neiva e Prof. Dr. José Renato Baptista de Lima.**

**Ao orientador deste trabalho de formatura, o Prof. Dr. Marcelo Leal Alves.**

**Ao pós-graduando Fernando Stump, por toda a ajuda prestada.**

**A todos que, de alguma forma, colaboraram com o projeto de extensão “Reciclando Idéias”.**

**A todos amigos, parentes e mulheres que me apoiam. Especialmente a meu primo Toninho, que desde cedo valorizou meus estudos.**

**A toda estrutura pública da Universidade de São Paulo, sem a qual nada disso seria possível.**

## **RESUMO**

O seguinte trabalho apresenta, especialmente sob o enfoque técnico, o desenvolvimento de uma prensa de baixo custo e acessível a cooperativas de coleta, separação e reciclagem. A concepção de tal projeto é feita também com o intuito de fabrica-lo em uma cooperativa metalúrgica, como forma de fortalecer a rede de Economia Solidária. Inicialmente são levantadas informações sobre a dinâmica e necessidades dessas cooperativas. Em seguida inicia-se a modelagem de propostas. É apresentado o histórico de desenvolvimento e as diversas ferramentas usadas para o refinamento até a obtenção de um equipamento com as características procuradas.

## SUMÁRIO

1 - Introdução.....	8
2 - Revisão da literatura.....	9
3 - Materiais e métodos.....	10
4 - Resultados .....	13
4.1 - Informações iniciais .....	13
4.2 - 1 <sup>a</sup> concepção .....	15
4.3 - Visita à 1 <sup>a</sup> cooperativa metalúrgica .....	17
4.4 - 2 <sup>a</sup> concepção .....	20
4.5 - Visita à 2 <sup>a</sup> cooperativa metalúrgica .....	27
4.6 - Características finais.....	37
5 - Discussão.....	39
6 - Conclusão .....	42
Anexo A - Memorial de cálculo .....	43
Correia .....	44
Corrente .....	45
Fuso.....	46
Diagramas do fuso .....	47
Anexo B - Orçamento .....	48
Anexo C – Desenho de conjunto .....	49
Referências Bibliográficas .....	50

## 1 - INTRODUÇÃO

O seguinte projeto se propõe ao desenvolvimento, no âmbito de economia solidária, de uma prensa de baixo custo e acessível a cooperativas de coleta, separação e reciclagem. Tal projeto é baseado no projeto de Extensão Universitária “Reciclando Idéias” aprovado pelo Fundo de Cultura e Extensão Universitária sob o número 2003.1.1947.3.0 e realizado pelo Escritório Piloto do Grêmio Politécnico da USP entre Junho de 2003 e Maio de 2005.

O projeto se propõe, a partir do anterior, ao refinamento da proposta obtida, ao desenvolvimento de desenhos executivos para a mesma e eventualmente, se possível, ao acompanhamento da fabricação de um protótipo a ser ensaiado.

A utilidade de tal projeto se presta a necessidade de tais cooperativas de coleta para a compactação deste material e a inexistência de um produto voltado para este público, devido ao seu pequeno poder aquisitivo. Existem compradores deste material que só o compram se estiver compactado e as máquinas existentes são geralmente trifásicas e de alto custo. Isto é dado entre outros motivos por serem concebidas para um volume de produção bastante superior ao das pequenas cooperativas autogestionárias.

Outra característica do projeto é o intento que este equipamento seja fabricado em uma cooperativa metalúrgica. Estas são geralmente antigas empresas falidas que ficam sob a gerência autogestionária de seus antigos funcionários (agora cooperados) como forma de pagamento das dívidas trabalhistas. Neste foco a equipe do projeto do Escritório Piloto já realizou uma visita a uma cooperativa metalúrgica em Minas Gerais e possui já um conjunto de informações sobre tal. Será mostrada também informações sobre uma segunda cooperativa metalúrgica visitada posteriormente.

Com isso fica definido como objetivo macro do projeto o desenvolvimento de um equipamento que auxilie as cooperativas de coleta e separação de forma a fortalecer a rede do Movimento de Autogestão, desde estas até a cooperativa metalúrgica envolvida, de forma a fortalecer a circulação de capital no interior da Economia Solidária.

## 2 - REVISÃO DA LITERATURA

A primeira fonte consultada sobre a rotina e necessidades de cooperativas de coleta foi NAGUMO (2002). Ele faz uma análise sobre a política de gerenciamento de resíduos sólidos domiciliares adotado em São Bernardo do Campo. Ele apresenta varias demandas e influencias oriundas das Cooperativas de coleta relacionadas com a prefeitura.

Informações mais aprofundadas sobre a concepção de economia solidária foi obtida em SINGER (2002). Ele apresenta varias situações pelo mundo onde foram aplicadas soluções autogestionárias a partir de cooperativas de consumo, crédito e produção. SINGER também apresenta as mais representativas entidades do Brasil que apóiam o movimento de autogestão e sobre as quais o projeto de extensão Reciclando Idéias, do Escritório Piloto, também tratou.

Definidas as necessidades predominantes e partindo para o projeto técnico, a influência da fadiga sobre as tensões limite dos materiais utilizados foi calculada com base em SHIGLEY (2004). A partir dele também foram dimensionados os eixos do projeto.

O dimensionamento dos pares coroa/rosca sem fim e das transmissões por corrente foi feito a partir de MELCONIAN (1997). Ele também fornece métodos para o dimensionamento das transmissões por polias, como foi utilizado.

O cálculo dos rolamentos a serem utilizados foi feito a partir de ZAMPESE (1980). Ele relaciona o tipo de rolamento a hipótese de uso, juntamente com uma forma para escolher o tamanho do rolamento. Isto foi feito à partir do Catálogo do GRUPO SKF (1989).

### 3 - MATERIAIS E MÉTODOS

Inicialmente foram analisadas todas as visitas e reuniões feitas pela equipe do projeto de extensão com as entidades do movimento de autogestão. Foram elas:

- ITCP-USP – Incubadora Tecnológica de Cooperativas Populares da Universidade de São Paulo.
- ANTEAG - Associação Nacional de Trabalhadores e Empresas Autogestionárias
- ADS – Agência de Desenvolvimento Solidário, que é um departamento da CUT, a Central Única dos Trabalhadores.
- Cáritas Regional de SP, que é uma instituição ligada a Igreja Católica para a promoção social através de práticas não assistencialistas.
- SENAES – Secretaria Nacional de Economia Solidária, submetida ao Ministério do Trabalho e Emprego.

A partir destas, foram analisadas também as visitas feitas a quatro cooperativas de coleta. O contato de todas essas cooperativas foi obtido com a atividade anterior, de diálogo com as entidades de autogestão.

Foram visitadas as seguintes cooperativas de coleta:

- Cooperativa Caminho Certo, de São Miguel Paulista.
- Associação Raio de Luz, de São Bernardo do Campo.
- NORA, Novo Osasco Reciclando Atitudes.
- Associação Nova Cotia Recicla.

Com base nestas visitas, foram definidas as necessidades gerais a serem atendidas pela prensa a ser proposta. Foram obtidas as dimensões usuais para fardos de PET e papelão, as dimensões externas a serem otimizadas, a média de uso da máquina e as suas velocidades gerais.

Após esse levantamento de dados, foram feitas propostas para concepções de prensas. Sobre estas foram feitos memoriais iniciais de cálculo para a avaliação de velocidades, rendimentos e custos.

Simultaneamente, um desenho técnico de conjunto foi construído. Neste trabalho interativo foi buscada a melhor solução.

Foi analisada também neste projeto a visita feita pela equipe do Escritório Piloto à cooperativa metalúrgica Coopermambrini, em Vespasiano, Minas Gerais. Tal cooperativa foi indicada pela ANTEAG e foi única cooperativa que se dispôs a fazer um orçamento para uma possível fabricação do equipamento proposto. A partir desta visita foi levantada a capacidade produtiva desta cooperativa e qual seria o custo de seu trabalho na construção e montagem do equipamento.

Com o refinamento da concepção do equipamento e dos dados da cooperativa metalúrgica, foram definidos os componentes a serem fabricados e comprados. Foram procurados os melhores fornecedores e preços.

Com a necessidade apresentada para redução de peso da estrutura, a mesma foi analisada através da técnica de elementos finitos. Foi utilizado o programa Algor, versão de evolução de 2002, fornecido pelo Prof. Edson Gomes. A proposta de estrutura foi modelada tridimensionalmente em uma superfície fechada. Este modelo foi exportado, via formato IGS, para o programa de análise. Por considerações de simetria e para redução do tempo de análise foi modelado apenas um quarto da estrutura.

Após a geração da malha, com a obtenção da densidade de nós pela superfície, foi possível aplicar uma força distribuída previamente conhecida. No piso da câmara foi aplicada a pressão originária da força de compactação arbitrada para a máquina. Nas laterais foi aplicada 60% desta pressão. O um quarto de estrutura modelada recebeu a aplicação das forças no interior da câmara de compactação. Recebeu vínculos para restrição de translação vertical (no eixo Z) na região do mancal dos fusos e demais vínculos segundo considerações de simetria nas fronteiras de corte do  $\frac{1}{4}$  do modelo.

Com esta análise pode-se verificar se haviam pontos de concentração de tensão e quais eram as áreas frágeis da estrutura. Recursivamente foram feitas mudanças na geometria da estrutura fixa a fim de reduzir tanto o peso como também a máxima tensão de Von Misses.

O volume e, portanto o peso da estrutura foi avaliado em cada interação da análise. Tal avaliação foi feita também com o modelo da estrutura em elementos sólidos através de programas para Desenho Auxiliado por Computador.

Por fim foi refinado o memorial de cálculo, em planilha eletrônica, e com este foi simultaneamente refinado o orçamento do equipamento, considerando pesos da estrutura, dimensões de elementos de máquinas e outros componentes a serem comprados.

## 4 - RESULTADOS

### 4.1 - Informações iniciais

Com base nas visitas feitas às cooperativas, observou-se que os fardos feitos de PET e papelão basicamente possuíam 1m de largura, 0,7 de profundidade e 1m de altura.

Portanto um volume aproximado de  $0,7\text{m}^3$ . Foi observado que estes fardos possuíam peso até aproximadamente 200kg. Isso pela dificuldade das cooperativas em manipular um fardo mais pesado.

Para este fim, foram encontradas no mercado prensas hidráulicas com força de compactação variando entre 6 e 15 toneladas. Estas prensas apresentavam curso entre 0,7m e 1,1m. O preço para estes equipamentos variou entre R\$9.000,00 e R\$18.000,00. Foram encontradas também prensas mecânicas, todas com um fuso central e o motor colocado na parte superior do equipamento. Tais prensas apresentaram curso aproximado de 0,8m e força de compactação de 6 toneladas.



Figura 1 - Prensa mecânica utilizada em São Bernardo

Foi observado em uma das cooperativas visitadas que, embora possuíssem um equipamento capaz de compactar com 12 toneladas, encerravam a compactação antes da máquina atingir esse limite. Isto devido ao peso do fardo se tornar superior aos 200kg referidos.

Com essas informações foi observado que seria útil o desenvolvimento de uma prensa com força de compactação entre 6 e 12 toneladas.

Com o prosseguimento do estudo, foi observado em uma das cooperativas estudadas, que a prensa hidráulica utilizada apresentava, para o movimento de descida da mesa móvel, velocidade 2,1m/min. Para movimento de subida o mesmo equipamento apresentava velocidade 4,4m/min. A diferença de velocidades pode ser atribuída a diferença de áreas do êmbolo do cilindro hidráulico. A prensa observada possuía potência de 15CV alimentados por força trifásica. Tal equipamento estava localizado não na cooperativa, que não tinha acesso à força trifásica, mas em um outro local onde o mesmo equipamento era utilizado por mais dois outros grupos. O transporte deste material até o local da prensa acarretava um custo a mais de tempo e transporte.

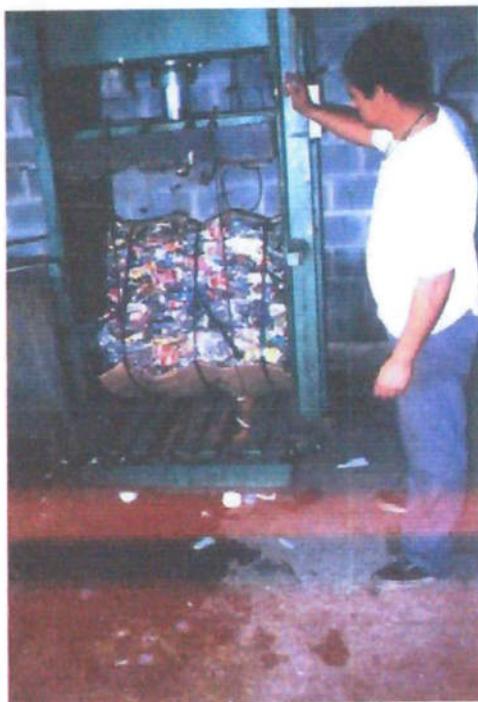


Figura 2 - Prensa hidráulica utilizada em São Bernardo

Desta forma, foram aproximadas também as características de velocidades a serem obtidas e a intenção de permitir ao menos um tipo de versão do equipamento, capaz de funcionar em um local desprovido de força trifásica. Dado que motores monofásicos apresentam potências mais baixas, isso significa procurar os mais potentes motores monofásicos disponíveis no mercado e com base neles pensar ao menos uma versão para a máquina.

Foram iniciados com esses parâmetros iniciais os cálculos e propostas de concepção para a prensa.

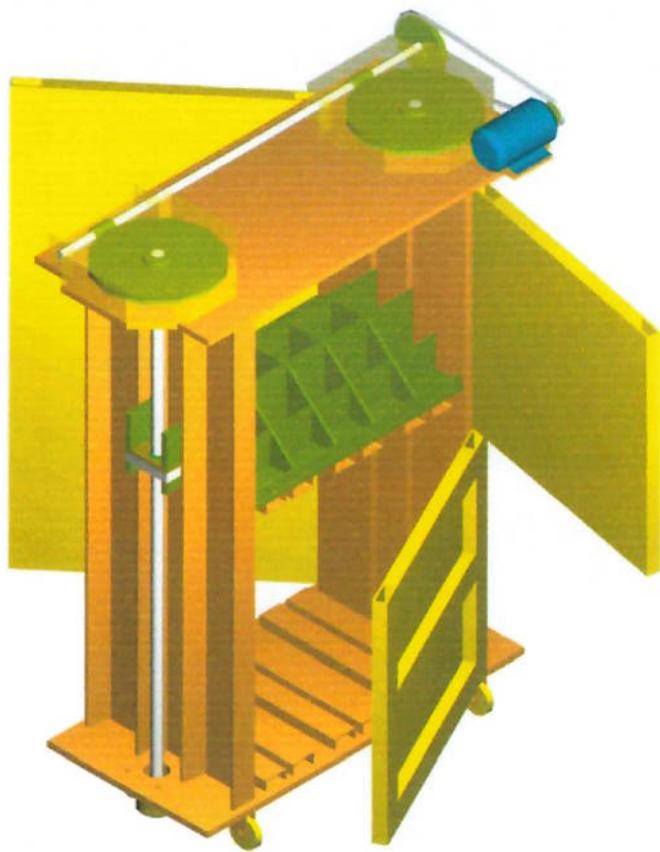
#### 4.2 - 1<sup>a</sup> concepção

Dado o alto custo de um sistema hidráulico em relação a um sistema mecânico, a escolha de concepções girou em torno de, escolhido um motor, como definir um sistema de redução e um sistema de fusos capaz de realizar a compactação.

Foram pensados dois fusos, um em cada lateral, trabalhando sob tração e com seus mancais nas extremidades da máquina. Isso a fim de garantir um curso relativamente longo, entre 1,5m e 2,0m.

Inicialmente e de forma errônea foi procurado a concepção com máximo rendimento. Como o fuso é um elemento de máquina com grande dissipação, chegou-se a um fuso útil de mínima perda. Este possuía uma rosca quadrada de 4 entradas e avanço de 24mm/volta. Este fuso possuía rendimento de 68%. Como era um avanço bastante grande, era necessário uma grande redução, de 1 para 114.

Através de estudos nas referências bibliográficas sobre características dos diversos elementos de máquinas, foi considerada essa redução muito grande para ser feita apenas por correias. Como solução, foi proposto a utilização de um redutor por coroa e rosca sem fim. O par coroa/rosca sem fim é capaz de fazer reduções até aproximadamente 1 para 100. O par proposto possuía redução de 1 para 40. Anterior a este foi proposta a utilização de uma transmissão por correia com relação de 1 para 2,9, de forma a resultar na relação total desejada.



**Figura 3 - Primeira concepção**

O motor utilizado nesta proposta era um WEG monofásico 4 pólos de 2CV. O redutor utilizado acrescentava perdas também, por ter um rendimento de 83%. Nesta primeira concepção, também erroneamente, arbitrou-se uma força de compactação de 13 toneladas. A baixa potência associada a esta alta força acarretou uma baixa velocidade. Desta forma obteve-se uma máquina com rendimento total 54% e velocidade 0,36m/min, que é uma velocidade muito menor do que a da máquina hidráulica observada.

Como se não bastasse a baixa velocidade, o custo desta primeira proposta era muito alto. Foram feitos orçamentos para os redutores nas empresas *SEW*, *Transmotécnica* e *Zara*. Os preços obtidos variaram entre R\$4.000,00 e R\$1.350,00. Além disso, o fuso proposto de 4 entradas é de usinagem trabalhosa. Cada conjunto fuso/porca ficou orçado em R\$1.940,00. Desta forma, apenas o conjunto motriz com um redutor e dois fusos, sem motor, custaria aproximadamente R\$6.000,00.

Essas características corroboraram pela busca por uma melhor solução. Seguindo a linha do projeto, a análise sobre a visita feita à cooperativa metalúrgica de Minas Gerais trouxe o seguinte resultado:

#### **4.3 - Visita à 1<sup>a</sup> cooperativa metalúrgica**

A Coopermambrini é uma cooperativa proveniente da Mambrini, uma empresa que fabricava carrocerias para caminhões. Com a falência desta, os ex-funcionários fizeram a opção de constituir a cooperativa sobre a massa falida da empresa. A Coopermambrini é capaz de fazer carrocerias basculantes para o carregamento de areia, minério, etc. Também são capazes de fazer caminhões pipa, para o transporte de água e reformas de carrocerias, incluindo o prolongamento de chassis. A cooperativa, na ocasião da visita contava com oito cooperados em atividade.

A Coopermambrini é especialmente capaz de fazer corte e solda de aço. Eles possuem:

- Uma guilhotina hidráulica capaz de cortar chapas de aço de 3/16" de espessura e 2m de largura.



**Figura 4 - Guilhotina hidráulica utilizada na coopermambrini**

- Uma mesa de oxicorte capaz de cortar chapas de aço de 2" de espessura. Tal mesa possui um dispositivo automático seguidor de perfil. Este dispositivo possui um apalpador que permite a mesa realizar sozinha o corte idêntico a um perfil que esteja posto para ser copiado. O corte deste equipamento apresentou bom aspecto, livre de porosidades e rebarbas.
- Equipamentos para solda, tanto elétrica como oxi-acetilenica. Inclusive o equipamento de oxi-acetileno também é usado para o corte de chassis de caminhões que serão posteriormente prolongados. Isso é feito com a inserção de um dado comprimento de perfil a ser soldado entre as partes cortadas. Também são capazes de fazer soldas estanques, para o caso de transporte de líquidos.
- Dois tornos, sendo o mais novo com aproximadamente dois metros entre pontas. O torno apresentou bom estado e é capaz de fazer roscas. Em primeira análise a equipe considerou o equipamento capaz de realizar o fuso necessário à proposta mecânica da máquina. A cooperativa alegou momentaneamente indisponibilidade para ter algum cooperado com habilidade para operar o torno.



**Figura 5 - Torno mecânico utilizado na Coopermambrini**

- Equipamento para jato de areia, usado na limpeza de estruturas, e equipamento para pintura e estruturas. Tudo isso com cabine isolada.
- Ferramentas básicas para ajustagem. Chaves, limas, furadeira de bancada.
- Uma ponte rolante.
- Habilidade para instalação de sistemas hidráulicos.

A cooperativa ainda possui uma grande área. Nesta há dois grandes galpões construídos sendo que apenas um deles guarda toda a estrutura aqui descrita. De forma geral, existe capacidade produtiva ociosa.



**Figura 6 - Galpão da Coopermambrini**

A cooperativa não possui:

- Fresadora; a cooperativa não é capaz de executar rasgos usinados e nem de aplinar chapas. Também não é capaz de executar acabamentos usinados em grandes furos feitos em chapas.
- Computador; a cooperativa não é capaz de abrir em loco e-mails e nem de abrir ou manipular arquivos, mesmo arquivos de texto e muito menos de CAD. FAX é o equipamento mais avançado que a cooperativa possui para transmitir informações.

Com essa estrutura, foi observado que a Coopermambrini seria capaz de fabricar a estrutura da prensa e montar os demais componentes. Em negociação a coopermambrini cobrou o preço de R\$6,50 por quilo de estrutura soldada. Incluindo o serviço de montagem dos demais componentes.

Desta forma, o preço da prensa seria dado pelo preço de cada componente comprado (juntamente com o frete) mais o preço correspondente ao peso de toda a estrutura soldada. Dado que a primeira concepção proposta possuía todo o conjunto motriz na parte superior da máquina, havia ali uma placa fixa superior de aço. Esta placa aumentava ainda mais o peso da estrutura, que era 710Kg. Com isso o preço da estrutura custava pouco mais que R\$4.600,00 e dificilmente o preço total da máquina seria inferior a R\$11.000,00.

#### **4.4 - 2<sup>a</sup> concepção**

Diante de tais dificuldades, foi retomado o desenvolvimento do projeto sob os princípios de custo e velocidade. Isso mantendo proximidade com o atual rendimento e uma força de compactação eficaz.

Dessa forma paralelamente foi tentado:

- Reduzir o custo da parte motriz
- Aumentar a velocidade da máquina
- Reduzir o custo da estrutura

Como passo inicial, o sistema motriz foi reavaliado e foi observado que quanto menor a redução necessária menor seria a complexidade, a lentidão, o tamanho e o custo do sistema de redução. Diminuir a redução significa rever a força de compactação necessária e procurar por outros motores monofásicos mais potentes.

Desta forma, inicialmente, a força de fechamento da máquina foi revista para 8 toneladas. Este não é o maior valor usado, mas é um valor usual para máquinas que fazem fardos entre 100kg e 250kg de papel, papelão, PET e outros plásticos. Este continua a ser um valor arbitrário, passível de ser alterado em um protótipo através da alteração de um elemento de transmissão, como uma polia.

Na procura por outros motores, foram encontrados motores monofásicos fabricados pela empresa “Kohlbach” com potência de até 5CV. Dado que o orçamento obtido para este motor foi R\$946,00, o mesmo foi adotado como padrão para o projeto.

### Transmissão

Quanto à transmissão, foi revista toda a estratégia. O antigo fuso, de quatro entradas, possuía o alto rendimento de 68%. No entanto, devido ao seu grande avanço necessitava de uma grande redução. Para esta redução era necessário o redutor de coroa/rosca sem fim, que sozinho inseria uma outra perda de 17% e um custo de no mínimo R\$1350,00 por redutor. Dessa forma, foi arbitrado um fuso de apenas uma entrada, mais simples e mais barato. Após refinamento matemático do memorial de cálculo obteve-se um fuso com passo de 6mm e, portanto avanço de 6mm por volta. O rendimento obtido para este fuso foi 44%.

Com todas essas mudanças, na meta de força, no motor e no fuso, a redução necessária entre o motor e o fuso caiu de 114 vezes para menos de 10 vezes. Dessa forma a redução pôde ser deveras simplificada e seu rendimento, que antes era inferior a 75% pôde se tornar superior a 90%.

Foram procuradas para esta redução propostas que possuíssem predominantemente componentes fabricados em série e disponíveis no mercado. Nesta linha foram consideradas as transmissões por correia e foram incluídas as transmissões por corrente. Foi observado que para a corrente GKW Simplex de passo meia polegada (a mesma usada em motos) existem em série disponíveis no mercado a partir, por exemplo, da distribuidora “Atlas Trade”, rodas dentadas entre 9 e 60 dentes. Foi verificado que o preço por dente destas rodas está em torno de R\$1,50 e que o metro desta corrente custa R\$13,60. Para tanto também é necessário uma emenda que custa R\$1,00.

Com base nestes dados, foi refeito o memorial de cálculo com o novo motor, o novo fuso, a nova meta de força e uma nova proposta de transmissão. Tal proposta consistiu em transmitir por correia entre o motor e um eixo intermediário, e deste transmitir por duas correntes até os fusos. Essa foi inclusive uma forma de garantir a sincronia entre fusos através das correntes. Posteriormente, o projeto ainda foi atualizado para o uso de apenas uma corrente. Isso tornou desnecessário um pinhão e garantiu ainda mais a sincronia entre os fusos.

Com este memorial foi escolhida a correia mais adequada e foi verificado que a corrente de meia polegada responde perfeitamente aos esforços solicitados. Foram simuladas algumas relações e foi observado que com aproximadamente R\$280,00 seria possível fazer toda essa redução de 10 vezes. Assim os redutores foram descartados.

### Estrutura

Quanto à otimização da estrutura, foi observado que relativamente a um cilindro hidráulico o sistema de redução possui um pequeno tamanho. Dessa forma, seria possível colocar todo o sistema motriz na parte inferior da máquina, diferente do que é feito nas máquinas hidráulicas. Essa alteração radical traz três grandes vantagens:

- Abaixamento do centro de gravidade da máquina, tornando-a mais estável e menos propensa a tombamentos acidentais.
- Possibilidade de descartar a placa fixa superior, substituindo-a por uma estrutura treliçada.
- Redução dos esforços sobre a estrutura, especialmente sobre os pilares.

Dessa forma foi obtida a 2<sup>a</sup> concepção.

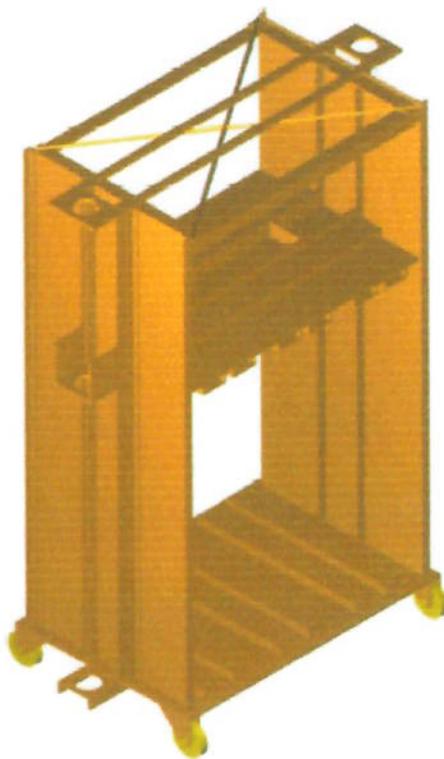


Figura 7 - Proposta inicial de estrutura para a segunda concepção

Inicialmente, a estrutura foi redesenhada da mesma forma que a primeira, com alguns cálculos analíticos. No entanto, como foi observado que o peso da estrutura pode representar aproximadamente metade do custo da máquina, fez-se a opção por uma análise mais aprofundada. Foi feita uma análise da estrutura fixa por elementos finitos.

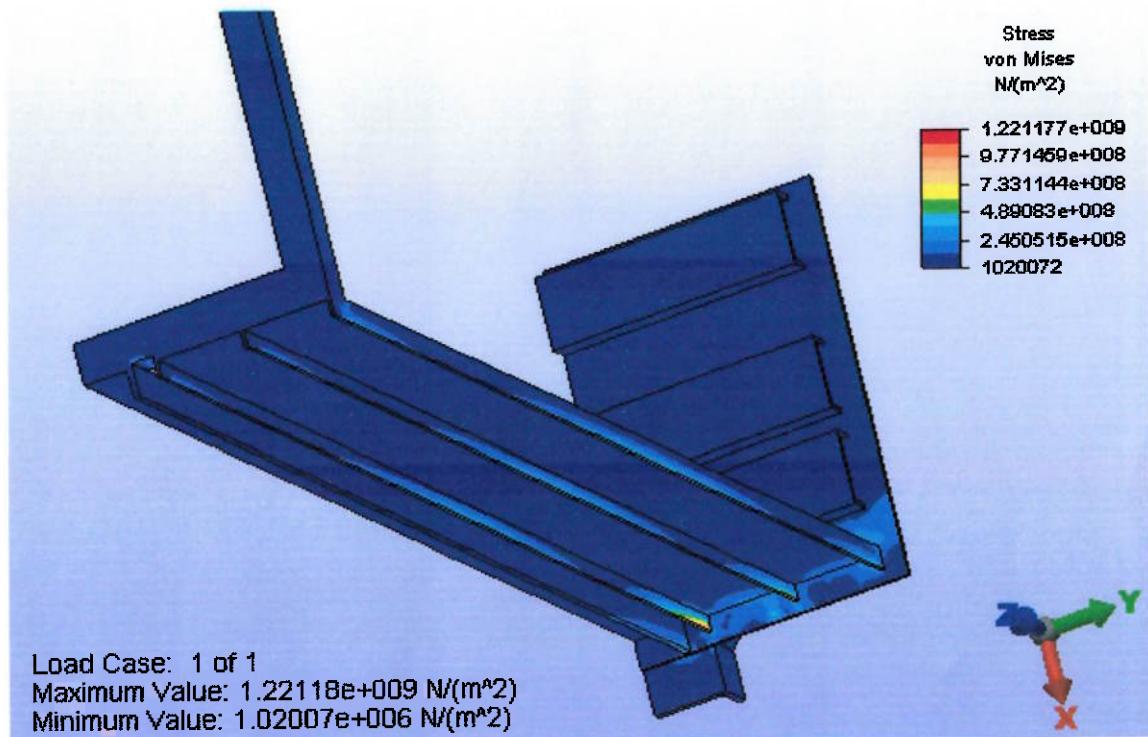


Figura 8 - Primeira simulação da estrutura

A estrutura foi simulada para 8 toneladas. Como foi representado apenas  $\frac{1}{4}$ , 2 toneladas foram aplicadas sobre os três trilhos da base. Na lateral foi aplicada uma pressão equivalente a 60% da pressão aplicada sobre os trilhos. Tal porcentagem foi arbitrada, pois não há referência para tal valor.

Como se pode observar na primeira análise, seguramente a maioria da estrutura se encontra com tensão de Von Mises inferior a 245MPa. No entanto, existem alguns pontos de concentração de tensão, especialmente no encontro entre os pilares e a placa fixa inferior. Nestes pontos a tensão de Von Mises atinge valores como 1.220MPa. É importante lembrar que o aço ABNT 1020, escolhido para a estrutura, começa a escoar em 330MPa.

Para a otimização da estrutura, foram variadas a espessura da placa fixa inferior e os perfis laterais e inferiores. Foram inseridas também nervuras nos pontos de concentração de tensão. Dessa forma, após a quarta simulação, obteve-se o seguinte resultado:

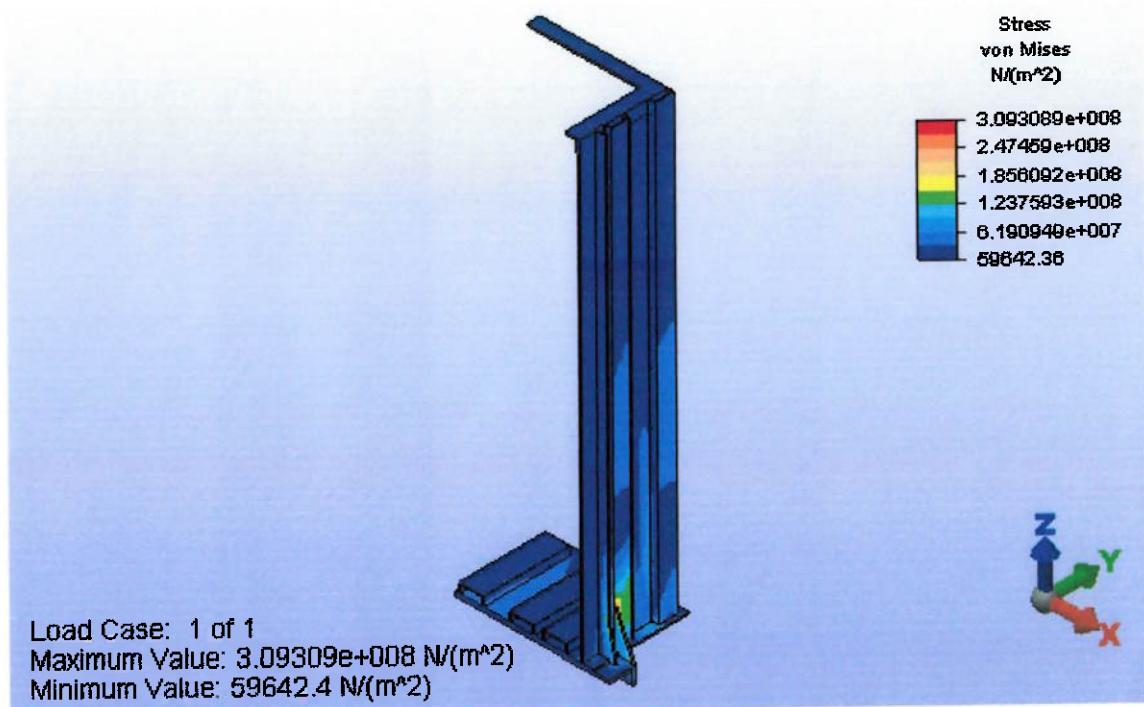


Figura 9 - Última simulação da estrutura

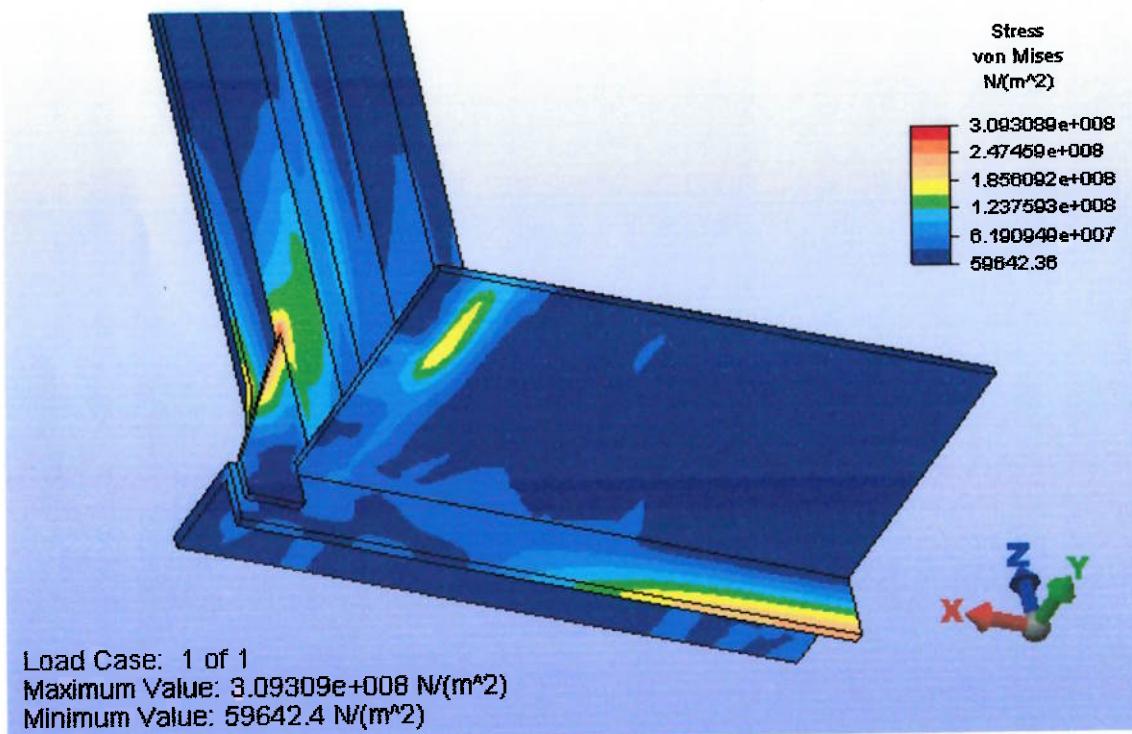
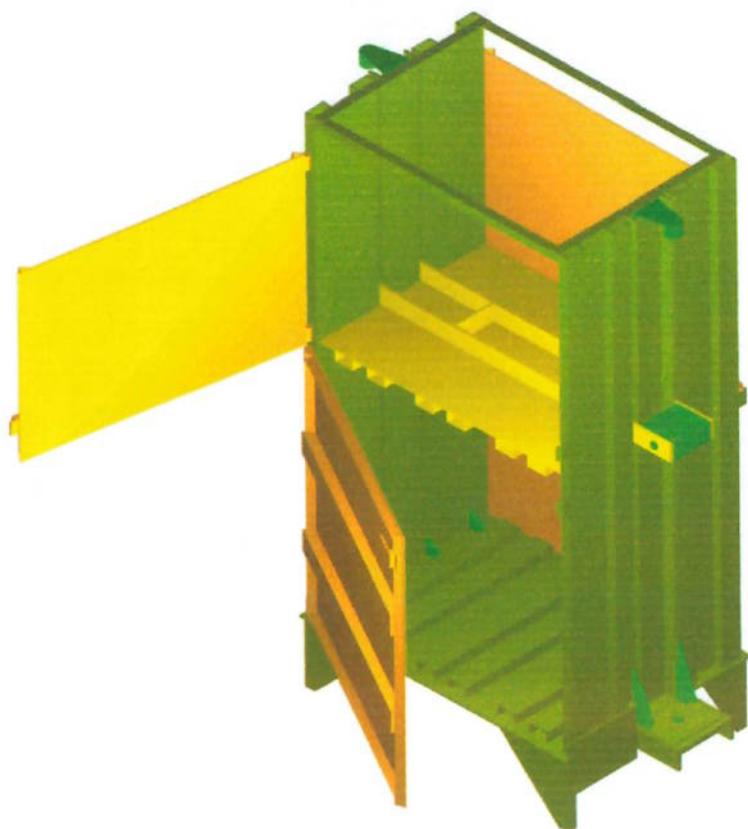


Figura 10 - Última simulação da estrutura, vista inferior

Nas laterais foram formadas vigas caixão. Foi mudada a posição e as dimensões das barras inferiores. Com isso a máxima tensão de Von Mises obtida caiu para 310MPa em alguns pontos de concentração. Dado que cada nova análise consumia em média quatro horas, tal resultado foi considerado satisfatório.

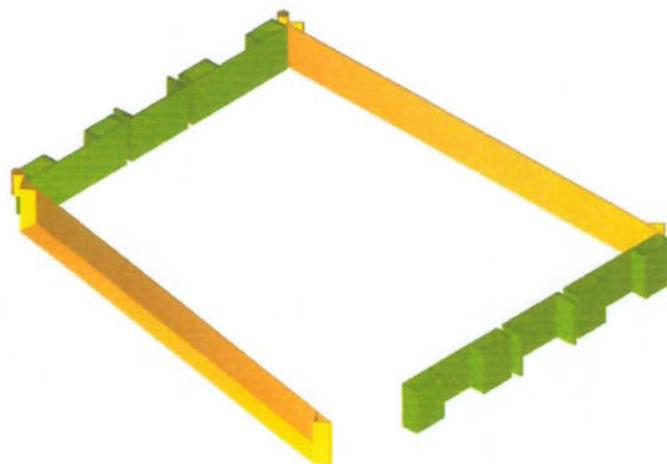
Com base nesta análise e no memorial de cálculo com a transmissão já modelada, foi definido o desenho executivo. A estrutura foi desenhada a favor da segurança, com as espessuras e nervuras arredondadas para cima do modelado. Simultaneamente o memorial de cálculo foi atualizado com as dimensões alteradas. Por fim chegou-se a um dimensionamento final da transmissão e a um desenho final da estrutura. Após isso foi refeito o modelo tridimensional da estrutura a fim de redefinir o seu peso.



**Figura 11 - Modelo sólido final da estrutura**

Com isto, o peso total da estrutura caiu para 548kg. Destes, 321kg estão na estrutura fixa, 93kg na mesa móvel e 134kg nas portas. Dessa forma, a R\$6,50 por quilo de estrutura feita, a mesma ficou orçada em R\$3.560,00.

É interessante observar que esta estrutura possui curso 1,5m. Foi feita uma análise de quanto é o peso de um intervalo de 10cm no meio da estrutura.



**Figura 12 - seção de 0,1m da estrutura**

Obteve-se o resultado de 17kg, o que resulta em um custo de R\$110,00 para cada 10cm acrescentável na estrutura da máquina.

Dessa forma foram encerradas as análises sobre a estrutura. O desenho das portas e da mesa móvel seguirá os mesmos padrões de espessuras e perfis usados na estrutura fixa simulada.

#### Fuso

A última grande tarefa a ser feita para a finalização do projeto e do orçamento foi a pesquisa de um fornecedor para o fuso proposto. A partir do sitio [www.cimm.com.br](http://www.cimm.com.br), do centro de integração metal mecânica, foram encontradas oficinas, especialmente em Santo André, na região do ABC paulista, que são capazes de realizar tal serviço. Em pesquisa com estas oficinas, obteve-se o contato de uma empresa chamada “ROSTEC”, no bairro do Ipiranga, em São Paulo.

A ROSTEC é uma empresa especializada na fabricação de roscas laminadas. Em negociação com o gerente Gilmar, o orçamento em Abril de 2005, para dois fusos de diâmetro externo 33mm, comprimento 1,9 metros, passo 6mm e em aço ABNT1045 ficou em R\$264,00 para cada fuso. A única restrição foi que não seria possível fazer a rosca

quadrada, mas apenas a trapezoidal com ângulo 15° . Dado que isto praticamente não acrescentou perda ao rendimento de 44%, o fuso foi considerado satisfatório.

#### **4.5 - Visita à 2ª cooperativa metalúrgica**

A Coopercaldeiraria Rio Grande é uma cooperativa metalúrgica proveniente de uma usina que, em 1999 optou por fechar o seu departamento de caldeiraria. Os trabalhadores desse departamento, diante da perda do emprego, fizeram a opção de arrendar o patrimônio da caldeiraria e manter o seu funcionamento em regime cooperativo. Atuam especialmente no segmento de usinas produtoras de cana e açúcar, com a intenção de ampliar este leque até os produtores de biodiesel e adubo orgânico. Na ocasião da visita, em Setembro de 2005, a Cooperativa contava com vinte e sete cooperados mais oito contratados.

São capazes de fabricar:

- Equipamentos necessários ao processo químico, como tubulações, tanques, moedores, peneiras, cristalizadores, caixas de evaporação, trocadores de calor e massa como por exemplo de casco e tubos;
- Equipamentos para suporte destes processos, tanto máquinas de fluxo como exaustores. Fabricam também máquinas de transporte como esteiras, mesas alimentadoras, torres para suspensão de peso, etc;
- Acessórios ou peças de reposição sob encomenda, usinados e soldados. Geralmente estes possuem valor e peso bastante inferior aos produtos anteriormente citados.

A Cooperativa tem acesso aos seguintes equipamentos:

- 4 Tornos horizontais paralelos, todos com mais que 3m entre pontas. Alguns com mais de 5m entre pontas. O mais antigo ainda possui transmissão por correias paralelas e o mais novo é um Romi.



**Figura 13 Torno mecânico**

- 3 Furadeiras radiais: Rocco R-100H; Helo e Diplomat 3001.
- 1 Furadeira de base fixa.
- 1 Fresadora tangencial equipada com disco divisor e jogo de fresas módulo, capaz de fazer engrenagens usinadas com diâmetro entre 50mm e 170mm aproximadamente.



**Figura 14 Furadeiras ao lado, fresadora ao centro e eixo usinado abaixo**

- 1 Fresadora de pórtico Chinelatto.



**Figura 15 Fresadora de pórtico**

- 2 Plainas limadoras, Zoca e Mermor.



**Figura 16 Plainas limadoras**

- 1 Serra de fita Franho.



**Figura 17 Serra de fita**

- 1 Guihotina com capacidade para cortar chapas com até  $\frac{1}{2}$  polegada de espessura.



**Figura 18 Guilhotina**

- 1 Máquina para endireitar chassi com capacidade 40 toneladas Skay.
- 1 Prensa hidráulica com capacidade 100 toneladas com auxiliar Skay.



**Figura 19 Equipamentos hidráulicos**

- 4 Calandras de diferentes tamanhos, sendo a maior com regulagem hidráulica.  
Nestas são calandrados as chapas para fazer os tubos e tanques com diâmetros desde descêsses seis polegadas até mais de seis metros.



**Figura 20 Calandra menor**



**Figura 21 Calandras**



**Figura 22 Calandra maior**

- 1 Pantógrafo copiador para oxi-corte.



**Figura 23 Pantógrafo copiador**

- 1 Máquina para oxi-corte Autocut 2.5 White Martins controlado por comando numérico computadorizado (CNC) ligado diretamente à sala de projeto. Essa máquina consegue cortar chapas com espessura até 3 polegadas. Ao cortar uma chapa com espessura de uma polegada, a largura do rasgo feito pela chama é de apenas 3mm. As peças cortadas na ocasião da visita apresentaram poucas rebarbas e bom acabamento superficial na região de corte.



**Figura 24 Pantógrafo CNC**



**Figura 25 Pantógrafo, detalhe de operação**

A Coopercaldeiraria possui ainda uma série de equipamentos, estruturas e acessórios utilizados em seu processo. São eles:

- 4 Máquinas de corte.
- 7 Esmerilhadeiras.
- 5 Equipamentos para solda, tanto MIG como de arco elétrico.



**Figura 26 Tubo soldado por quatro cooperados**

- Quatro talhas e uma ponte rolante com capacidade desde 1,5 até 25 toneladas.
- Equipamentos para acabamento, como uma lavadora de alta pressão e um equipamento para jato de areia com  $1\frac{1}{4}$  de polegada.
- Equipamento para inspeção, como paquímetros e um durômetro.
- Equipamentos auxiliares como compressor, bomba de água, cabos especiais e etc.

Quanto à comunicação e informática, a Coopercaldeiraria possui aproximadamente dez computadores, inclusive um Notebook. São capazes de abrir e manusear os seguintes tipos de arquivos:

DOC - Documentos de texto Microsoft Word

XLS - Documentos de planilha eletrônica Microsoft Excel

DWG - Documentos de desenho técnico AutoCAD

entre outros.

A Coopercaldeiraria possui a estrutura de scanner e plotter, conseguem receber abrir e imprimir desenhos DWG com muita agilidade. A Coopercaldeiraria possui ainda estrutura

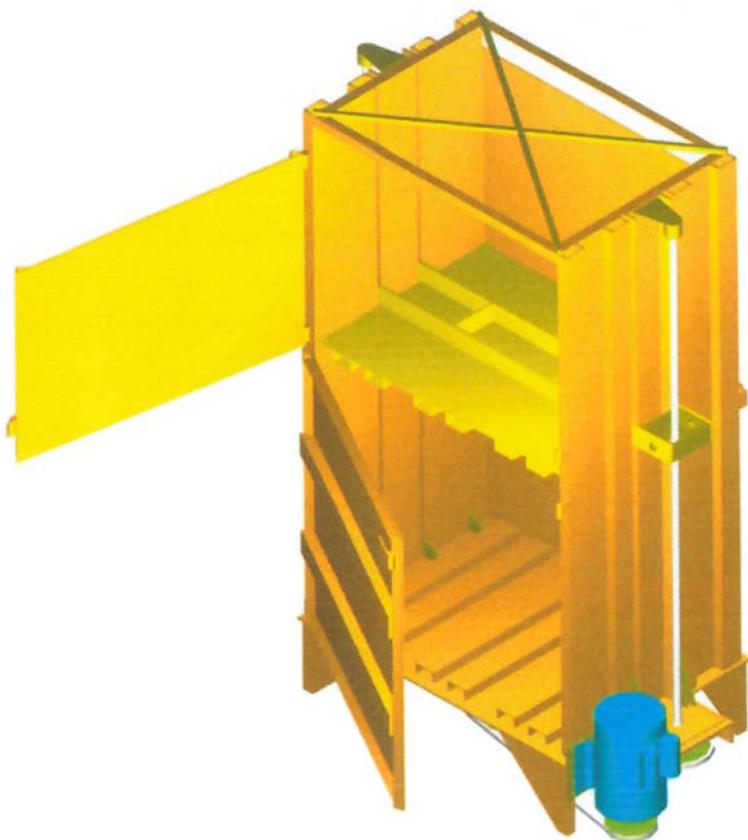
de fax e e-mail. Por estarem em Igarapava, interior de São Paulo, utilizam internet por rádio e conseguem uma conexão melhor do que a discada. A Cooperativa também possui um amplo galpão e estrutura para transporte e instalação da maioria de seus produtos.

Notavelmente, quando inquirida sobre o custo de fabricação, a Coopercaldeiraria informou que seus orçamentos são calculados sobre R\$ 6,50 por quilo de estrutura feita, incluindo serviços de montagem. Isto significa que o orçamento calculado tanto para a Coopermambrini como para a Coopercaldeiraria apresentaria o mesmo valor. É importante ressaltar que a Coopercaldeiraria possui uma estrutura suficiente e mais adequada para a fabricação do equipamento.

Por último, é interessante ressaltar que a Coopercaldeiraria está sujeita à sazonalidade da cana de açúcar, o seu mercado de atuação. Devido a isso, a Cooperativa ficou bastante interessada na possibilidade de fabricar o equipamento, especialmente nos períodos de entre safra, durante os quais há grande ociosidade.

#### 4.6 - Características finais

Contudo, foi obtido um equipamento com as seguintes características: Uma prensa mecânica com força de fechamento 8,24 toneladas e curso de 1,5 metros. Tal prensa é acionada por um motor monofásico de 220V com quatro pólos e 5CV de potência. A mesa móvel desta prensa percorre o curso de 1,5m em 80 segundos. Isto significa uma velocidade de 1,13 metros por minuto. Essa velocidade é três vezes mais rápida que a concepção anterior e apenas um terço da velocidade da prensa hidráulica avaliada. Dessa forma, o rendimento calculado para a máquina foi 41%, apenas 13% mais baixo que a concepção anterior.

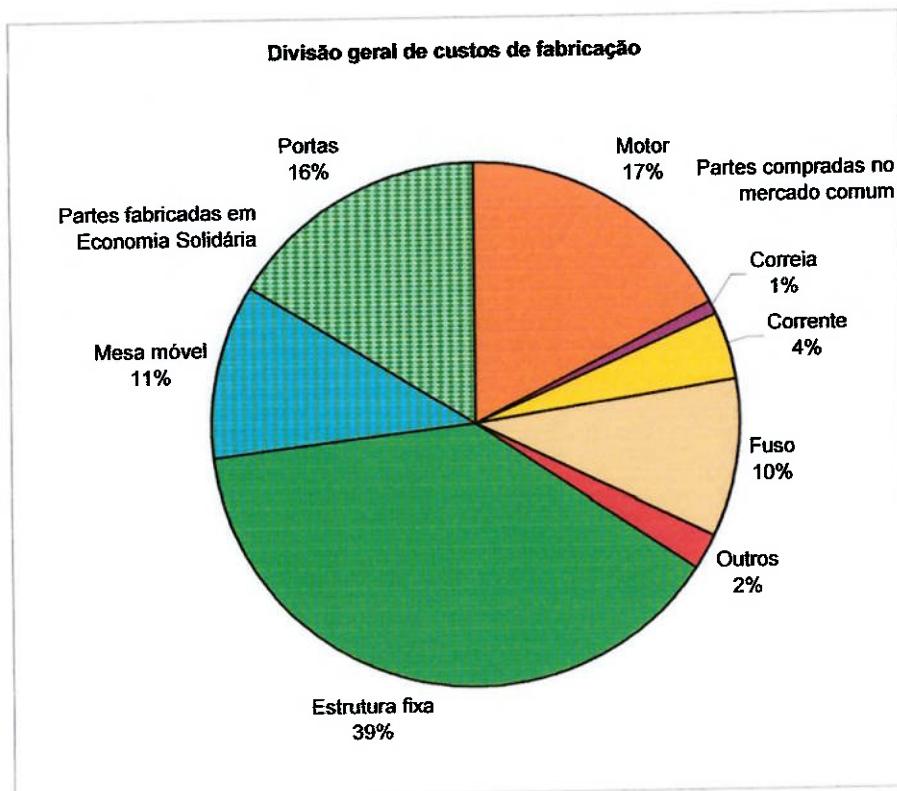


**Figura 27 - Segunda concepção**

O preço calculado para esta prensa foi R\$5.414,04. Este preço é pouco menos que a metade do calculado para a primeira concepção.

De acordo com os orçamentos feitos para prensas hidráulicas de 8 toneladas, os preços variaram entre R\$15.000,00 e R\$12.000,00. Desta forma, ainda que o preço da

máquina projetada atinja R\$6.000,00, esta não chegará a custar a metade de uma equivalente hidráulica. Abaixo são apresentados a fração de cada parte do custo.



**Gráfico 1 - Divisão dos custos de fabricação**

## 5 - DISCUSSÃO

Quanto ao custo do equipamento observamos que as partes majoritárias são a estrutura fixa, o motor e as portas. Verificamos que, caso o motor monofásico possa ser substituído por um trifásico, este custo pode cair para até 11%. Caso seja usado um motor mais barato e menos potente, o custo da transmissão e a velocidade da máquina pioram rapidamente.

O majoritário custo da estrutura mostra tanto a importância da análise de elementos finitos para redução de peso e custo como mostra também o sucesso do projeto, por ter desenvolvido um equipamento com o nível de fabricação em economia solidária de 66%. Quanto à operação, para fazer um fardo de 100kg de PET a equipe da cooperativa NORA, uma das cooperativas visitadas, consome  $\frac{1}{2}$  hora utilizando uma prensa hidráulica com curso de 1,1m. A prensa usada desce com velocidade 2,1m/min e sobe com velocidade 4,4m/min. Para fazer este fardo é preciso abaixar e realimentar a prensa 23 vezes.

Arbitrando que neste processo a mesa móvel se desloque um curso médio de 0,9m, em 23 subidas e descidas é consumido 15 minutos. Os demais 15 minutos representam o tempo para o usuário realimentar a máquina. Dividindo pelas 23 vezes isso significa 40 segundos para por a máquina de volta em funcionamento.

A prensa projetada possui, com o mesmo motor para subir e descer, na configuração simples, a velocidade de 1,13m/min para ambas as operações e o curso de 1,5m. Fazendo aproximadamente uma relação de volume compactado, para fazer o mesmo fardo de 100kg na nova máquina será preciso multiplicar as 23 abaixadas pela razão entre o curso hidráulico de 1,1m e o curso mecânico, de 1,5m. Isso resulta em a prensa nova abaixar 17 vezes para fazer o mesmo fardo.

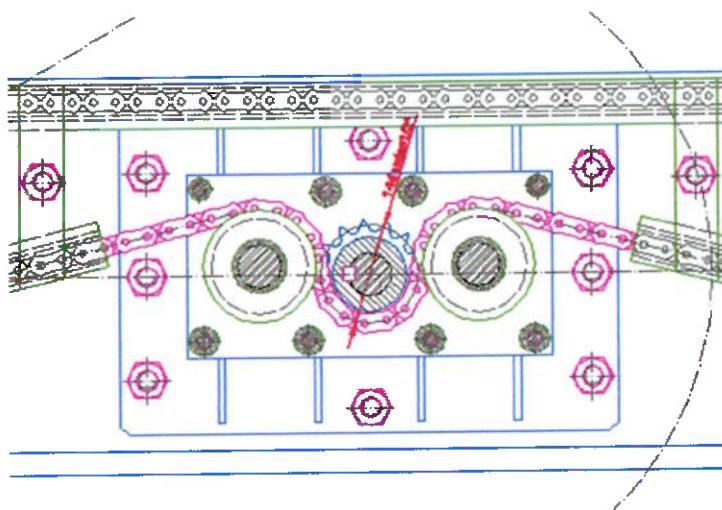
Da mesma forma, arbitrando um curso médio de 1,25m, o tempo utilizado apenas pela máquina é 37 minutos para as 17 operações. A isto ainda é acrescentado 11 minutos correspondente a todas as 17 realimentações. Desta forma, para fazer o mesmo fardo de 100kg de PET na nova máquina, serão gastos 48 minutos, 60% a mais do que na máquina hidráulica equivalente.

Se o curso da máquina for aumentado ou diminuído em 0,25m o custo da máquina será aproximadamente aumentado ou diminuído em R\$350,00. Com mais 0,25m de curso o

tempo deste fardo abaixa 1,6 minuto. Com menos 0,25 de curso o tempo do processo aumenta 2,2 minutos, sendo necessário realimentar a máquina mais vezes, o que significa mais horas de trabalho físico do usuário e, portanto menos conforto.

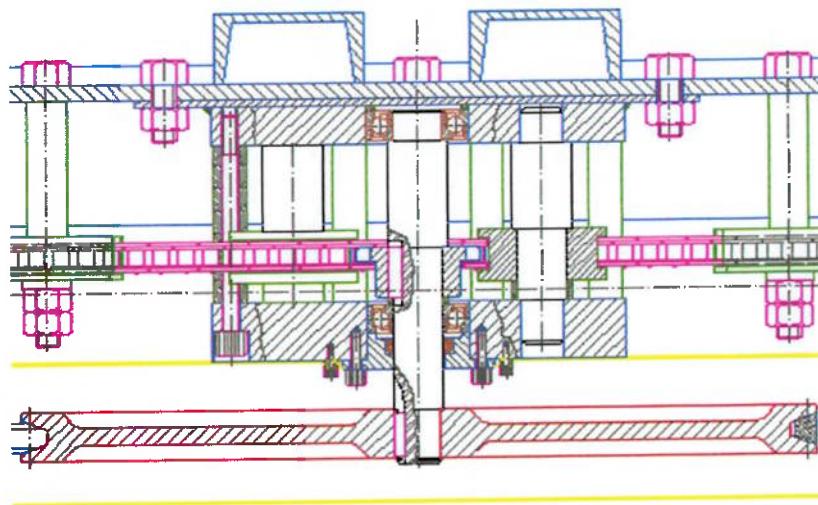
No entanto, se for para gastar pouco menos que R\$350,00, pode-se comprar um motor auxiliar de baixa potência ( $\frac{1}{2}$ CV) com dois pólos e 3410rpm. Um motor usado apenas para a operação de subida. Este motor, conforme sugestão dada pelo prof. Boris Zampese, pode usar uma transmissão de ampliação. Dessa forma a mesa móvel poderia subir a 10m/min. Isto faria o tempo para compactação deste fardo cair para 32 minutos, praticamente o mesmo tempo usado na prensa hidráulica. Alguma outra alternativa pode ser pensada para o ganho de tempo, especialmente na subida. Outra delas seria a adoção de uma transmissão com a aquisição de “contra-recuos” fabricados em série. Isto serviria para que em rotação inversa, para subida, automaticamente uma relação mais rápida de polias seria usada. Eventualmente, pode-se também avaliar a possibilidade de se fazer uma outra ligação de chaves no motor em que, para a subida, ele trabalhe como um motor dois pólos, dessa forma dobrando a sua velocidade.

Como último avanço, foi proposta a redução de duas correntes independentes para apenas uma corrente a comandar o torque para os fusos. Isto reduziu de dois para apenas um pinhão de quatorze dentes, além de reduzir em 16mm a altura da máquina. Para isso foi necessário inserir duas polias de nylón para guiar a corrente.



**Figura 28 - Detalhe inferior do sistema da corrente**

Observa-se o corte do conjunto e os cortes parciais que apresentam a coluna guia e um dos tubos pilares. Na eventualidade de uma ruptura da corrente, os dois fusos cessam o movimento instantaneamente, sem gerar maiores danos. Este conjunto motor também pode ser montado fora da prensa para posterior fixação, facilitando assim a montagem. Foram usados também outros conceitos de DFA/DFM (Design for Assembly/Manufacture) como por exemplo a montagem em uma única direção, sem necessidade de reposicionamentos.



**Figura 29 - Detalhe lateral do sistema da corrente**

## 6 - CONCLUSÃO

O projeto de uma prensa para compactação, com força de fechamento 8,24 toneladas, curso de 1,5m, velocidade 1,13 m/min, monofásica e com custo entre R\$5.500,00 e R\$6.000,00 responde perfeitamente ao objetivo do projeto.

É um equipamento que consome 60% mais tempo do que os disponíveis no mercado, no entanto é adequado para a faixa das pequenas cooperativas de coleta. Tais cooperativas produzem um volume menor de material, e para elas ainda é adequado um equipamento mais lento, mas que possua preço acessível. A prensa projetada possui preço entre metade e um terço das equivalentes no mercado.

Quanto ao deslize entre a primeira e a segunda concepção, em que inicialmente foi privilegiado rendimento e apenas posteriormente foi privilegiado custo e velocidade. Considerando que a velocidade implica diretamente na utilidade da máquina. É necessário fazer a seguinte visão crítica sobre a formação dada na Escola, que às vezes subliminarmente privilegia critérios que nem sempre são os mais relevantes para a utilidade de um projeto.

Além de tudo, o diálogo com a ANTEAG - Associação Nacional de Trabalhadores e Empresas Autogestionárias, que resultou na negociação com a Coopermambrini e a Coopercaldeiraria, é algo que corrobora para a real fabricação e distribuição deste equipamento em rede de economia solidária. O Escritório Piloto mantém contato com a Secretaria Nacional de Economia Solidária (SENAES) e os movimentos de Autogestão. Essa é uma forma de garantir a proteção e o uso do projeto para a rede de economia solidária, como forma de promover a distribuição de renda e a emancipação de um público marginalizado.

Em recente conversa, a Cooperativa Coopercaldeiraria pediu o envio dos desenhos para estudos sobre a fabricação de um protótipo. Este envio deve ser feito até Dezembro de 2005, com o conhecimento da SENAES e dos movimentos de Autogestão. É possível que até Fevereiro de 2006 tenha sido feito um protótipo.

## ANEXO A - MEMORIAL DE CÁLCULO

<b>Motor</b>		
Potência	5 CV	
	3677,5 W	
Rotação	1770 rpm	
		<b>Rotações e velocidades preliminares</b>
		Rotação da polia movida 673 rpm
		Rotação do fuso 188 rpm
		Avanço do fuso 1131 mm/min
		Avanço [SI] 0,019 m/s
<b>Transmissão por polias</b>		
Relação	2,63 adm	<b>Torques preliminares</b>
Rendimento	0,98 adm	Torque do motor 19,84 Nm
		Torque na polia movida 51,14 Nm
<b>Transmissão por corrente</b>		Torque pós corrente 175,33 Nm
Relação	3,57 adm	(o torque acima é distribuído entre os dois fusos)
Rendimento	0,96 adm	
<b>Fuso</b>		<b>Rendimento total e potência útil</b>
Passo	6 mm	Rendimento total 0,41 adm
entradas	1 adm	Potência útil 1522 W
Rendimento	0,44 adm	
<b>Características geométricas</b>		<b>Forças</b>
Distância entre fusos	1250 mm	Força de saída 80784 N
Curso	1521 mm	Força em Kg 8238 Kg
		Força em toneladas 8,24 ton
<b>Constantes técnicas</b>		Tempo para abaixada 81 s
1 CV	735,5 W	
Gravidade	9,80665 m/s <sup>2</sup>	
<b>Variáveis de uso do equipamento</b>		
Tempo total de uso	10000 horas	

Legenda para entrada de valores:

- Valores **azuis** Valores arbitrados
- Valores **verdes** Valores resultantes de operação precedente
- Valores **vermelhos** Valores obtidos em tabelas

## Correia

Potência do motor	5 CV
rotação	1770 rpm
torque do motor	19,84 Nm
Relação desejada	2,63 adm
Rendimento	0,97 adm
coeficiente atrito [u]	0,25 adm
Perfil Hi-Power II	B tab
Correia indicada:	B-90 tab
Diâmetro menor:	150 mm
Diâmetro maior:	395 mm
(D-d)/C	0,339 adm
fcac corr arc contat	0,93 adm
fcc corr comprimento	1,00 adm
Nb - Potcia Básica	6,84 CV
Na - Pot Adicional	0,78 CV

$$N_{pc} = (N_a + N_b) \times fcc \times fcac$$

Npc Capacid correia      7,09 CV/cor

num. de correias      0,8 adm

$$n_{correias} = \frac{N_{proj}}{N_{pc}}$$

Logo, é usada      1 correia

Ângulo beta      3,3 Graus

$$\beta_{resultante} = \operatorname{sen}^{-1} \left( \cos \left( \frac{\alpha}{2} \right) \times \left( \frac{F_{tração} - F_2}{F_r} \right) \right)$$

(ângulo entre a resultante e a linha entre centros)

Ângulo da linha entre centros      21 Graus

Ângulo total da resultante. Supondo que o lado tracionado seja o superior, assim os ângulos se somam

$$rot_{p2} = \frac{rot_{p1}}{\left( \frac{d_2}{d_1} \right)}$$

$$T_{p2} = T_{p1} \times \left( \frac{d_2}{d_1} \right) \times \eta$$

Rotação na polia movida      673 rpm  
Torque na polia movida      51 Nm

Potência do motor	5 CV	Fator de serviço	1,1 adm
rotação	1770 rpm		
torque do motor	19,84 Nm		
Relação desejada	2,63 adm		
Rendimento	0,97 adm		
coeficiente atrito [u]	0,25 adm		
Perfil Hi-Power II	B tab		
Correia indicada:	B-90 tab		
Diâmetro menor:	150 mm		
Diâmetro maior:	395 mm		
(D-d)/C	0,339 adm		
fcac corr arc contat	0,93 adm		
fcc corr comprimento	1,00 adm		
Nb - Potcia Básica	6,84 CV		
Na - Pot Adicional	0,78 CV		
$N_{pc} = (N_a + N_b) \times fcc \times fcac$			
Npc Capacid correia	7,09 CV/cor		
num. de correias	0,8 adm		
$n_{correias} = \frac{N_{proj}}{N_{pc}}$			
Logo, é usada	1 correia		
Ângulo beta	3,3 Graus		
$\beta_{resultante} = \operatorname{sen}^{-1} \left( \cos \left( \frac{\alpha}{2} \right) \times \left( \frac{F_{tração} - F_2}{F_r} \right) \right)$			
(ângulo entre a resultante e a linha entre centros)			
Ângulo da linha entre centros	21 Graus		
Ângulo total da resultante. Supondo que o lado tracionado seja o superior, assim os ângulos se somam			
$rot_{p2} = \frac{rot_{p1}}{\left( \frac{d_2}{d_1} \right)}$			
$T_{p2} = T_{p1} \times \left( \frac{d_2}{d_1} \right) \times \eta$			
Rotação na polia movida	673 rpm		
Torque na polia movida	51 Nm		
Potência projetada	5,50 CV		
Dist entre centros [C]	737 mm		
Compr corrente [l]	2349 mm		
$l = 2C + 1,57 \times (D + d) + \frac{(D - d)^2}{4C}$			
Compr corrente tab	2330 mm		
(D-d)/A	0,166 adm		
$A = l - 1,57 \times (D + d)$			
Fator h	0,125 adm		
$C = \frac{l - 1,57 \times (D + d) - h \times (D - d)}{2}$			
Dist entre centros ajustada [C]	722 mm		
Torque do motor	20 Nm		
Força tangencial	265 N		
$\alpha = 2 \times \cos^{-1} \left( \frac{D - d}{C} \right)$		graus	
ângulo de contato [a] em radianos	2,80	161	
$\frac{F_{tração}}{F_2} = e^{\alpha \times \mu}$			
$F_{tração} / F_2$		2,01 adm	
$F_2 = \frac{F_{tangencial}}{e^{\alpha \times \mu} - 1}$		261 N	
$F_{tração} = F_{tangencial} + F_2$		525 N	
$F_r = \sqrt{F_{tração}^2 + F_2^2 + 2 \times F_{tração}^2 \times F_2^2 \times  \cos(\alpha) }$			
Força resultante	776 N		
Resultante horizontal	707 N		
Resultante vertical	319 N		

## Corrente

corrente de rolos cilíndricos

Rotação do pinhão	673 rpm
Torque do pinhão	51 Nm
Pot. de acionamento	3567,175 W
Rendimento [n]	0,97 adm
Num dentes pinhão [z1]	14 adm
Num dentes coroa [z2]	50 adm
Relação	3,57 adm
Dist entre centros [A]	625 mm
Passo [t]	12,7 mm
Num dentes max coroa	120 adm
Fator de serviço $k_s$	1 adm
Fator de lubrificação $k_l$	1 adm
Fator de posição $k_{po}$	1 adm
Fator de operação $k$	1 adm

$$k = k_s \times k_l \times k_{po}$$

Característica da corrente tabelada

GKW Simplex 1/2" - 1500kgf Norma ASA40

Largura do rolo [B]	7,9 mm
Diâmetro do rolo [D d <sub>r</sub> ]	7,9 mm
Espessura lateral [T]	1,5 mm
Altura lateral [H]	12,0 mm
Diâmetro do pino [G]	4,0 mm
Largura [L]	15,5 mm
Carga de ruptura	1500 kgf

Lubrificação

Pressão específica	56,78 Mpa
Pressão específica*	5,79 kgf/mm <sup>2</sup>
$p_{ressesp} = \frac{P_{max}}{0,5 \times d_r \times b_r} \Leftrightarrow \frac{0,5 \rightarrow simplex}{0,76 \rightarrow duplex}$	

$$\text{rot}_{coroa} = \frac{\text{rot}_{pinhão}}{\left(\frac{z_2}{z_1}\right)}$$

$$T_{coroa} = T_{pinhão} \times \left(\frac{z_2}{z_1}\right) \times \eta$$

$P_{rupcalc}/P_{ruptab}$	1,00 adm
(número de correntes necessárias)	
Rotação da coroa	188 rpm
Torque da coroa	88 Nm

velocidade periférica 1,99 m/s

$$V_p = \frac{\text{rot} \times z_1 \times t}{60 \times 1000}$$

Tração na corrente 1789 N ( $F_t$  ou  $P_{max}$ )

Coeficiente de seg  $n_s$  8,2 adm

Carga de ruptura  $P_{rup}$  14667 N

$P_{rup}$  em kgf 1496 kgf

$$P_{rup} = P_{max} \times n_s \times k$$

Dist/passo[30<A/t<50] 49 adm

Número de elos [y] 131 adm

$$y = \frac{z_1 + z_2}{2} + \frac{2A}{t} + \left( \frac{z_2 - z_1}{2\pi} \right)^2 \times \frac{t}{A}$$

compr. da corr. [l] 1665 mm  $l = y \times t$   
Dist entre centros f 625 mm

$$f = \frac{t}{4} \times \left[ y - \frac{z_1 + z_2}{2} + \sqrt{\left( y - \frac{z_1 + z_2}{2} \right)^2 - 8 \left( \frac{z_2 - z_1}{2\pi} \right)^2} \right]$$

Fator de posição [ $k_o$ ] 1 adm

Peso da corrente [q] 8 N/m

Carga rad eixo [ $P_{arv}$ ] 1799 N

$$P_{arv} = F_t + 2 \times k_o \times q \times \frac{A}{1000}$$

Pinhão

Diâmetro primitivo [ $d_{o1}$ ] 57 mm

Diâmetro externo [ $d_{k1}$ ] 64 mm

Diâmetro de base [ $d_{g1}$ ] 56 mm

Diâmetro interno [ $d_{f1}$ ] 49 mm

$$d_0 = \frac{t}{\sin\left(\frac{180}{z}\right)}$$

$$d_{k1} = d_{o1} + 0,83d_r \Leftrightarrow (12 < z_1 < 25)$$

$$d_{k2} = d_{o2} + 0,9d_r \Leftrightarrow (38 < z_2)$$

$$d_g = d_0 \times \cos\left(\frac{180}{z}\right)$$

$$d_f = d_0 - 1,01d_r$$

Coroa

Diâmetro primitivo [ $d_{o2}$ ] 202 mm

Diâmetro externo [ $d_{k2}$ ] 209 mm

Diâmetro de base [ $d_{g2}$ ] 202 mm

Diâmetro interno [ $d_{f2}$ ] 194 mm

**Fuso**

Diâmetro externo (D=d+p)	33 mm
Diâmetro interno [d]	27 mm
Passo [p]	6 mm
n entradas	1 adm
Ângulo da rosca (2a)	15 graus
coeficiente de atrito [u]	0,08 adm
Entre rolamentos [L1]	1800 mm
dist rol / coroa [L2]	72 mm
Posição porca [X <sub>porca</sub> ]	100 mm
Alt. arbitrada da porca	70 mm

Força de tração [F]	40392 N
Força radial coroa	1799 N
Torque coroa	87,67 Nm

$$F_{rad-sup} = F_{rad-inf} - F_{rad-cor}$$

$$F_{rad-sup} = F_{rad-inf} \times \frac{71}{1870}$$

$$F_{rad-inf} = F_{rad-cor} \times \frac{(L_1 + L_2)}{L_1}$$

$$T = \frac{F \times d_m}{2} \times \left( \frac{p \times n_{entradas} + \pi \times \mu \times d_m / \cos(\alpha)}{\pi \times d_m - p \times n_{entradas} \times \mu / \cos(\alpha)} \right) \quad \eta = \frac{F \times p \times n_{entradas}}{2 \times \pi \times T}$$

$$\text{Torque com carga [T]} \quad 87,912 \text{ Nm} \quad \text{Rendimento [\eta]} \quad 0,44 \text{ adm}$$

**Ponto crítico no rolamento inferior**

$$Fletor_{rol-inf} = F_{rad-cor} \times L_2$$

$$\begin{aligned} \text{Fletor} &= 129 \text{ Nm} \\ \text{Torçor} &= 88 \text{ Nm} \\ \text{Normal} &= 40392 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\sigma x_{Flexão} = \frac{M_{Fletor} \times d/2}{\pi \times d^4 / 64} \quad \sigma x_{tração} = \frac{F_{tração}}{\pi \times (d/2)^2} \quad \tau_{xy} = \frac{T_{Torçor} \times d/2}{\pi \times d^4 / 32} \quad \tau x z_{cisfil} = \frac{F_{tração}}{\pi \times d \times h_{porca} \times \sqrt{2} \times (1 + \tan(\alpha))}$$

$$\sigma VM_{médio} = \sqrt{\sigma x_{tração}^2 + 3\tau xy^2 + 3\tau xz^2}$$

Sigma x - Flexão	67 Mpa	altr	Sigma x - Flexão	63 Mpa
Sigma x - Tração	71 Mpa	cons	Sigma x - Tração	71 Mpa
Tau xy - Torção	23 Mpa	cons	Tau xy - Torção	23 Mpa
Tau xz - Cis filete	0 Mpa	cons	Tau xz - Cis filete	12 Mpa
Sigma Von M med	81 Mpa		Sigma Von M med	83 Mpa
Sigma Von M alt	67 Mpa		Sigma Von M alt	63 Mpa

Tensão limite de escoamento (ABNT 1040)	
Tensão máxima de tração - limite de ruptura	
Tensão limite a fadiga do material	
ka superfície	0,77 adm
kb tamanho	0,85 adm
kc confiabilidade	1 adm
q snsbldde ao ntalh	0,75 adm
Kt conc teórico	2,1 adm
Tensão limite a fadiga da peça	

$$\begin{aligned} \text{Sigma med Diagra} &= 110,8 \text{ Mpa} \\ \text{n fator segurança} &= 1,4 \text{ adm} \end{aligned}$$

$$S_{med-diagrama} = \frac{Sn}{\left( \frac{\sigma VM_{alternante}}{\sigma VM_{médio}} + \frac{Sn}{Srt} \right)}$$

**Ponto crítico na porca**

$$Fletor_{porca} = F_{rad-sup} \times (L_1 - X_{porca})$$

$$\begin{aligned} \text{Fletor} &= 121 \text{ Nm} \\ \text{Torçor} &= 88 \text{ Nm} \\ \text{Normal} &= 40392 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\sigma x_{Flexão} = \frac{M_{Fletor} \times d/2}{\pi \times d^4 / 64} \quad \sigma x_{tração} = \frac{F_{tração}}{\pi \times (d/2)^2} \quad \tau_{xy} = \frac{T_{Torçor} \times d/2}{\pi \times d^4 / 32} \quad \tau x z_{cisfil} = \frac{F_{tração}}{\pi \times d \times h_{porca} \times \sqrt{2} \times (1 + \tan(\alpha))}$$

Sigma x - Flexão	67 Mpa	altr	Sigma x - Flexão	63 Mpa
Sigma x - Tração	71 Mpa	cons	Sigma x - Tração	71 Mpa
Tau xy - Torção	23 Mpa	cons	Tau xy - Torção	23 Mpa
Tau xz - Cis filete	0 Mpa	cons	Tau xz - Cis filete	12 Mpa
Sigma Von M med	81 Mpa		Sigma Von M med	83 Mpa
Sigma Von M alt	67 Mpa		Sigma Von M alt	63 Mpa

$$\sigma VM_{alternante} = \sigma x_{Flexão}$$

$$Se = 360 \text{ Mpa}$$

$$Srt = 620 \text{ Mpa}$$

$$Sn' = 310 \text{ Mpa}$$

$$kd temperatura = 1 \text{ adm}$$

$$Sn' = Srt / 2 \quad ke = 1 / (1 + q \times (kt - 1))$$

$$ke \text{ conc. de tens.} = 0,548 \text{ adm}$$

$$kf efeito divrsos = 1 \text{ adm}$$

$$Sn = Sn' \times ka \times kb \times kc \times kd \times ke \times kf$$

$$\text{Sigma med Diagr} = 119,2 \text{ Mpa}$$

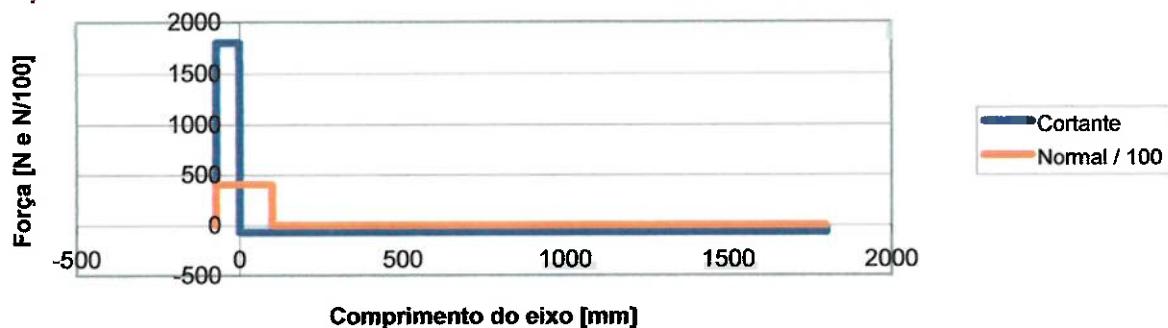
$$\text{n fat de seguranc} = 1,4 \text{ adm}$$

$$f_{segurança} = \frac{S_{med-diagrama}}{\sigma VM_{médio}}$$

$$\text{Fator de Segurança} = 1,4 \text{ adm}$$

## Diagramas do fuso

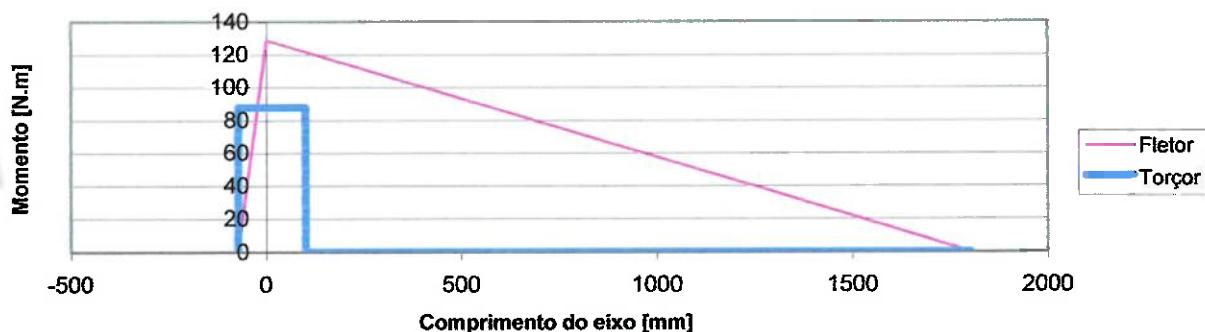
**Força cortante e Força normal**



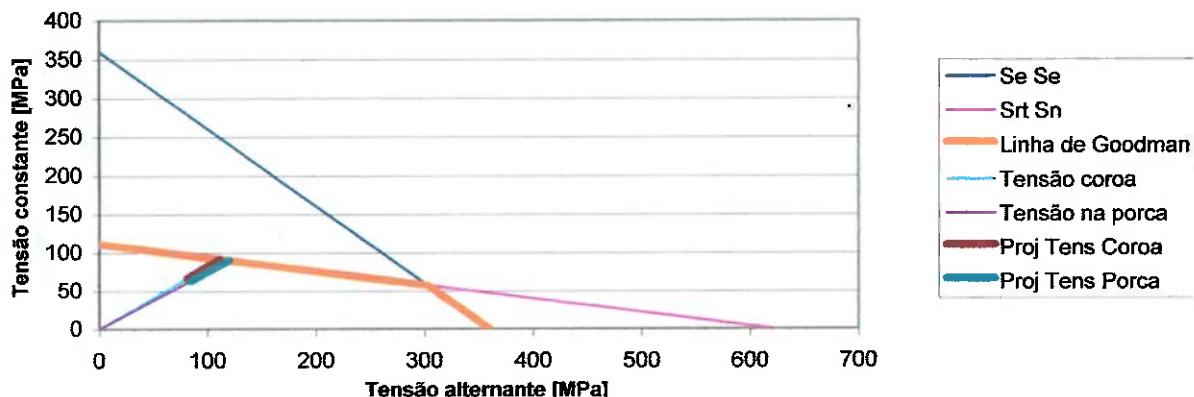
**Cálculos dos diagramas:**

	0,0001 Posição	cortante	fletor	Nr/100	torçor	
Coroa	-72	0	0	0	0	antes
	-71	1799	0	404	88	depois
Rol inf	0	1799	129	404	88	antes
	0	-71	129	404	88	depois
Porca	100	-71	121	404	88	antes
	100	-71	121	0	0	depois
Rol sup	1800	-71	0	0	0	antes
	1800	0	0	0	0	depois

**Momento fletor e Momento torçor**



**Diagrama de tensões sob fadiga**



## **ANEXO B - ORÇAMENTO**

48

### **Parte motriz**

	Preço	quant.	Preço total
<b>Motor monofásico aberto 5CV 4polos Kohlbach</b>	R\$ 946,00	1	R\$ 946,00
<b>Correia Hi-Power II B-90 + polias d150 e D395 com um canal</b>	R\$ 50,00	1	R\$ 50,00
<b>Engrenagem simplex para corrente de rolo, p 1/2" e 14 dentes</b>	R\$ 18,81	1	R\$ 18,81
<b>Engrenagem simplex para corrente de rolo, p 1/2" e 50 dentes</b>	R\$ 72,35	2	R\$ 144,71
<b>3,4 metros de corrente simplex p 1/2" + 1 uma emenda de 1R\$</b>	R\$ 47,38	1	R\$ 47,38
<b>Fuso de aço ABNT-1045 com diâmetro externo 33mm passo 6mm em rosca trapezoidal e 1,9m de comprimento</b>	R\$ 264,00	2	R\$ 528,00
<b>Demais componentes (rolamento, parafusos, retentores)</b>	R\$ 120,00	1	R\$ 120,00
<b>Valor total da parte motriz:</b>			<b>R\$ 1.854,90</b>

## **Parte estrutural**

		volume [m <sup>3</sup> ]	peso [kg]	Preço total
<b>Valor por peso:</b>	Estrutura fixa	0,0412	321	R\$ 2.088,84
6,50 R\$/Kg	Mesa móvel	0,0118	92	R\$ 598,26
<b>Densidade do aço:</b>	Portas	0,0172	134	R\$ 872,04
7800 kg/m <sup>3</sup>	Total	0,0702	548	
	<b>Valor total da parte estrutural:</b>			<b>R\$ 3.559,14</b>

**Preço total da máquina:** R\$ 5.414,04

Período de realização do orçamento: 11 a 22 de Abril de 2005

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

NAGUMO, R. **Gestão, funcionamento e conjuntura de uma associação popular na cadeia da reciclagem.** 2002. 64p. Trabalho de formatura - Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2002.

SINGER, P. **Introdução a economia solidária,** São Paulo : Fundação Perseu Abramo, 2002

Shigley, J. E. **Mechanical engineering design,** New York, NY : McGraw-Hill, c2004, 7<sup>th</sup> ed.

MELCONIAN, S. **Elementos de Máquinas,** São Paulo : Editora Érica, 1997, 2<sup>a</sup>ed.

ZAMPESE, B. **Mancais de rolamento** 2<sup>a</sup> ed., São Paulo : Gremio Politecnico-Dlp, 1980,

**Catálogo 4000 PB,** Grupo SKF, 1989