

LEANDRO ZAKIS CÂNDIDO

DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA DE ABERTURA AUTOMÁTICO DA
PORTA DO TORNO CNC E GARRA DO ROBÔ

Relatório apresentado à Escola Politécnica
da Universidade de São Paulo para o trabalho
de formatura

Orientador:
Sérgio Rabelo

Aprovado
6/12/97
Luis Henrique
Sergio

São Paulo
1997

SUMÁRIO

Lista de Tabelas

Lista de Figuras

Resumo

1	INTRODUÇÃO.....	1
1.1	Descrição do projeto, cenário e esquema.....	1
1.2	Necessidade.....	2
2	REQUISITOS BÁSICOS DE OPERAÇÃO.....	3
2.1	Porta do torno.....	3
2.2	Garra do robô.....	5
3	SOLUÇÕES POSSÍVEIS.....	6
3.1	Porta do torno.....	6
3.1.1	Solução pneumática.....	6
3.1.2	Solução elétrica.....	8
3.2	Garra do robô.....	9
3.2.1	Solução Pneumática 1 (Tipo Alicate).....	9
3.2.2	Solução Pneumática 2 (Tipo Freio).....	10
3.2.3	Solução Pneumática 3 (Tipo Pinsa Lateral).....	11
3.2.4	Solução Eletromagnética.....	11
3.2.5	Solução a Vácuo.....	13
4	MATRIZES DE DECISÃO.....	13
4.1	Matriz de decisão - porta do torno.....	14
4.2	Matriz de decisão - garra do robô.....	14
5	CONCLUSÃO.....	15

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características do eletroimã.....	12
Tabela 2 - Matriz de decisão porta do torno.....	14
Tabela 3 - Matriz de decisão garra do robô.....	14

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Célula de manufatura.....	2
Figura 2 - Porta do torno.....	3
Figura 3 - Cálculo da força para abertura da porta.....	4
Figura 4 - Anilhas.....	5
Figura 5 - Percurso da anilha.....	6
Figura 6 - Esquema de ligações pneumáticas.....	7
Figura 7 - Posição do atuador no torno.....	7
Figura 8 - Motor elétrico mais polia.....	8
Figura 9 - Solução pneumática tipo pinça.....	9
Figura 10 - Solução tipo freio.....	10
Figura 11 - Solução tipo pinça lateral.....	11
Figura 12 - Dimensões do eletroímã.....	12
Figura 13 - Solução eletromagnética.....	12

RESUMO

Este trabalho consiste em se desenvolver um sistema de abertura e fechamento automático para um torno CNC, assim como uma garra que será fixa à extramidade de um braço robô o qual com o auxílio desta deverá poder manusear anilhas de tamanhos distintos.

Em relação ao sistema de abertura da porta do torno, a solução que acabou sendo a mais indicada foi a utilização de um atuador pneumático acoplado diretamente à porta do mesmo.

Para a garra do robô, a melhor solução também foi um dispositivo pneumático de simples concepção que satisfez bem os requisitos desejados, embora outras soluções também tenham se revelado bem interessantes, como por exemplo a eletromagnética.

REFERÊNCIAS BIBLIOGÁFICAS

HOLBROOK L. Horton. **Manual Técnico Para Desenhistas e Projetistas de Máquinas**, 8.ed. São Paulo, 1976.

EDUARD, Joseph Shigley. **Mechanical Engineering Design**, 5.ed. New York 1989.

1)INTRODUÇÃO:

1.1 Descrição do projeto, cenário e esquema.

Está sendo elaborada uma célula de manufatura totalmente automatizada. Nesta célula as peças manufaturadas irão ser transportadas por uma esteira para circularem por entre as máquinas , torno e fresa, e a estante que armazenará as peças. A primeira parte do projeto consiste em se desenvolver um sistema automático de abertura da porta do torno. A porta deve abrir quando o robô for colocar ou retirar uma peça do torno fechando logo em seguida. A segunda parte do projeto consiste em se desenvolver uma garra para o robô que possa “segurar” as peças desejadas permitindo que se retire de uma máquina e se coloque na outra. Por se tratar de uma célula de manufatura que lida com uma determinada família de peças, todos os equipamentos tem que ser adaptáveis as peças da família.

O robô se movimenta sobre um trilho que está entre a fresa CNC e o torno CNC. Por trás do trilho passa a esteira de onde o robô deverá retirar e colocar as peças para serem manufaturadas.

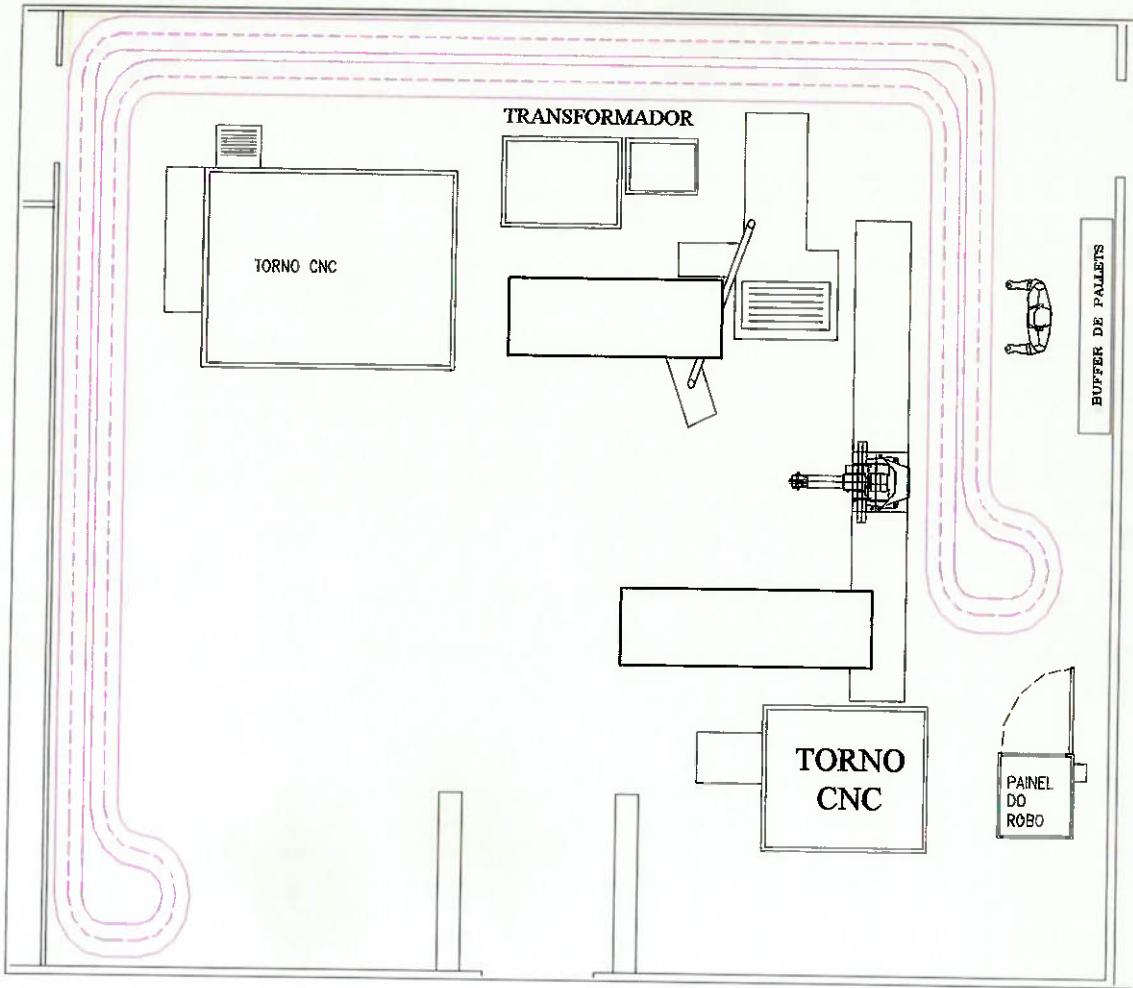


Fig. 1 Célula de manufatura.

1.2 Necessidade:

Para se aumentar o nível de qualidade e de eficiência nas empresas, vem se utilizando as máquinas de comando numérico. A maioria das indústrias trabalha com pequenos e médios lotes, onde a automatização visando maior eficiência, se torna bem mais complexa exigindo soluções que levem a uma maior simplificação do processo produtivo. Para tanto se utiliza os conceitos da *tecnologia de grupo (GT)* que é uma filosofia que explora similaridades e ganha eficiência pelo agrupamento de problemas. Para se simplificar o processo produtivo é necessário se desenvolver configurações eficientes, onde se agrupam máquinas em função de peças com processos similares. A este grupo de máquinas dedicadas, dá-se o nome de *célula de fabricação*.

As células de fabricação consistem em um grupo de máquinas de diferentes tipos, em que cada grupo seja capaz de produzir todos os componentes de uma determinada família. Cada célula é responsável por um espectro delimitado de peças, que constitui uma família. As células devem realizar, dentro do possível, todas as operações necessárias para a fabricação das peças que lhe são destinadas.

2) REQUISITOS BÁSICOS DE OPERAÇÃO:

2.1) Porta do torno.

Dimensões: O curso da porta é de 440mm.

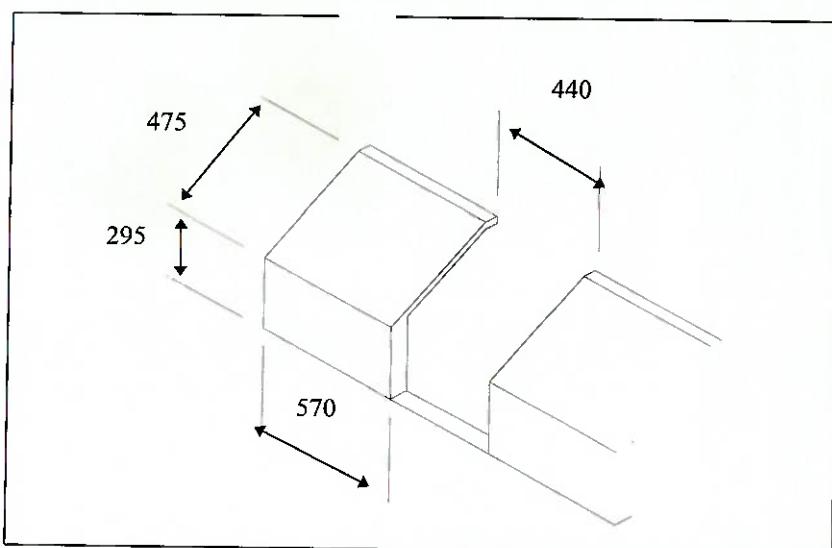


Fig. 2 Porta do torno.

Objetivos: O sistema de abertura automática do torno tem por objetivo tornar o processo de colocação e retirada das peças do torno totalmente automatizado alem de permitir um controle desta operação pela própria máquina.

Desempenho: O sistema deve ser capaz de abrir ou fechar a porta em 2 segundos.

Operacionalidade: quando for executada uma determinada linha de programa da programação de usinagem do torno, ou através de um comando externo (micro PC) o

sistema deverá abrir a porta, aguardar que o robô coloque a peça no mesmo e retire o braço, e então fechar a porta. O mesmo deverá ocorrer para a operação inversa, retirar a peça já usinada pelo torno.

Forças e Velocidades: O fator determinante é a velocidade de abertura e fechamento pois as forças envolvidas são baixas visto que a porta desliza sobre rolamentos. Para que o tempo de abertura da porta seja em torno de 2s, a velocidade média é de 0,22m/s. A força necessária para se obter este desempenho está calculada abaixo.

a) Cálculo da massa da porta:

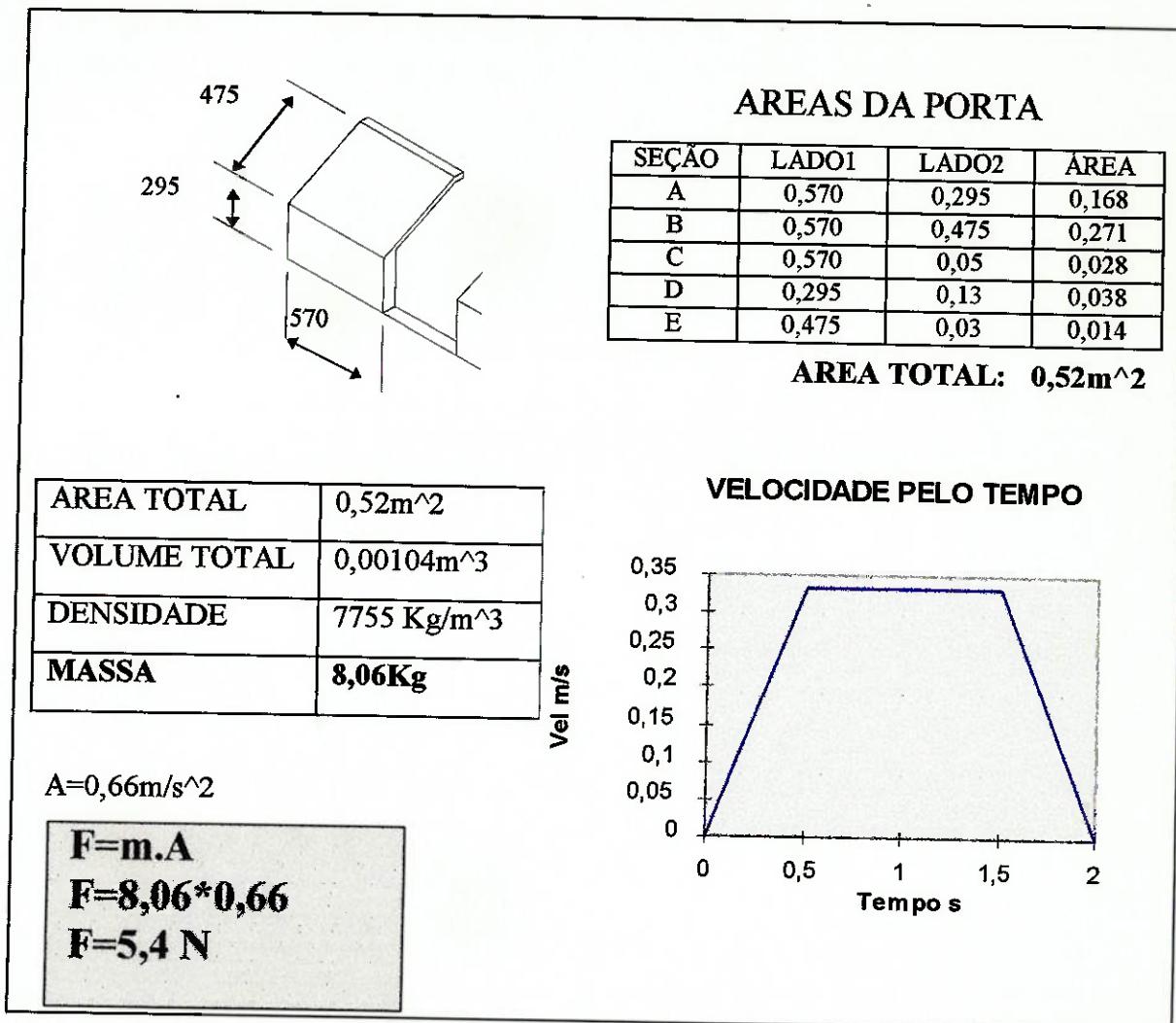


Fig 3 Calculo da força para abertura.

Portanto a força necessária para se abrir a porta do torno em 2s com a aceleração

representada acima é de 5,4 N.

2.2) GARRA DO ROBÔ:

Dimensões: A garra do robô deve ser capaz de segurar peças cilíndricas (pesos) de 19,8mm a 23mm de altura e diâmetros variando de 171,8mm a 201,00mm. Com uma massas de 3Kg 4Kg e 5Kg, conforme figuras abaixo.

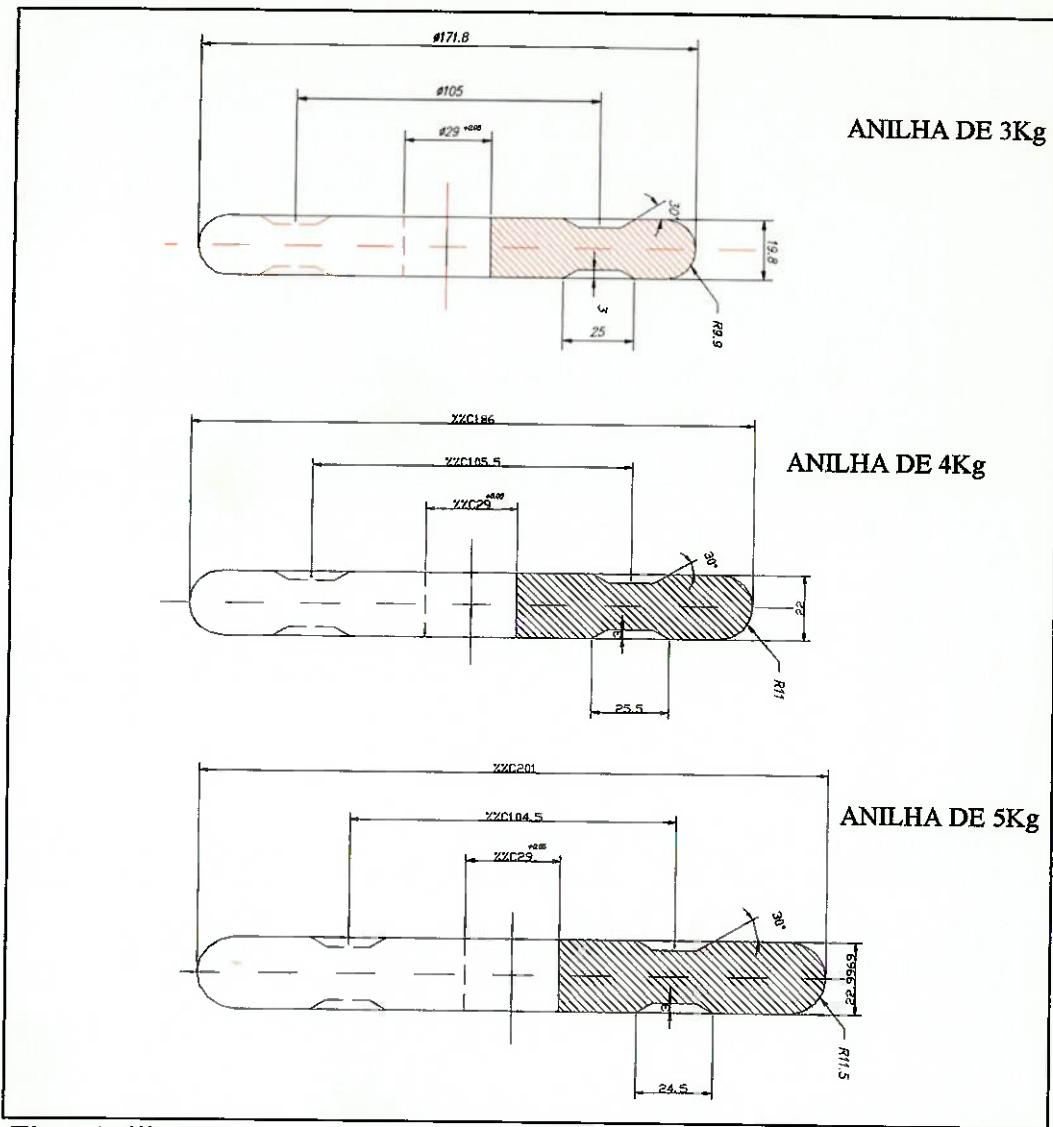


Fig 4 Anilhas

Desempenho: A garra deve ser capaz de erguer um peso máximo de 5,00Kg segurando a peça de forma que não obstrua o furo central. O robô deverá ser capaz de retirar a anilha de um suporte na esteira, colocá-la no torno, retirá-la do torno,

rotacionar a peça em trono de x e colocá-la novamente no torno para se usinar a outra face, conforme o esquema abaixo.

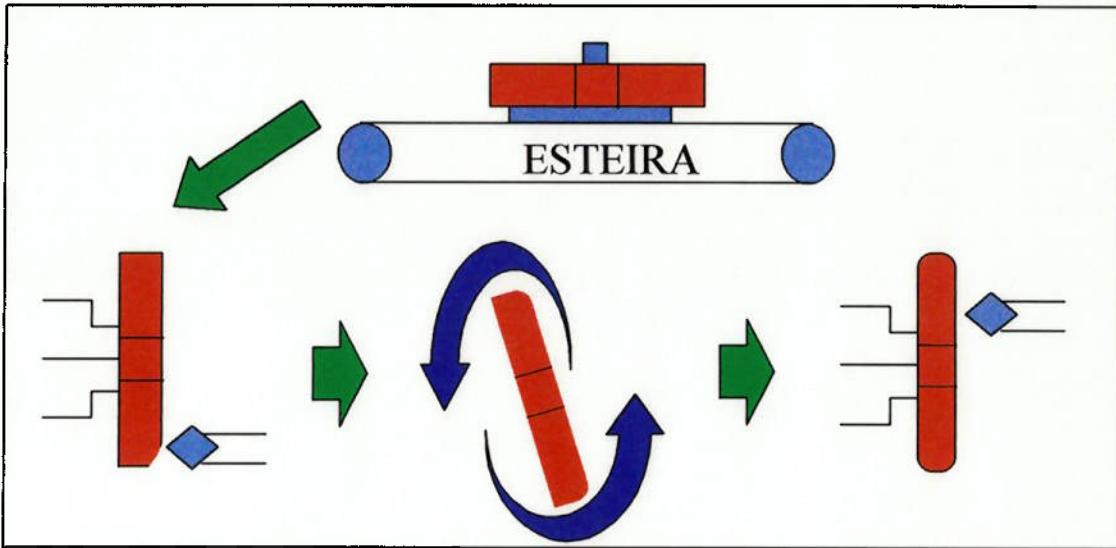


Fig 5 Percurso da anilha

Operacionalidade: A garra deve retirar a peça da fresa e colocá-la no torno.

Depois da operação de usinagem efetuada pelo mesmo, o robô irá retirá-la do torno e colocá-la sobre uma esteira. A garra deverá permitir ao robô uma pegada firme e precisa da anilha, assim como permitir que esta seja colocada e retirada das máquinas com precisão e facilidade.

3) SOLUÇÕES POSSÍVEIS:

3.1) PORTA DO TORNO:

3.1.1) Solução Pneumática.

A solução pneumática consiste de um atuador que será fixado diretamente à porta do torno. O curso do atuador é de 500mm sendo este suficiente para fechar a porta. Através de um sistema de controle que pode ser o próprio torno ou um micro computador, será acionada uma válvula solenoide direcional que direcionará o fluxo de

ar para avançar ou recolher o pistão. O fluxo de ar será controlado por duas válvulas reguladoras de vazão conforme o esquema abaixo.

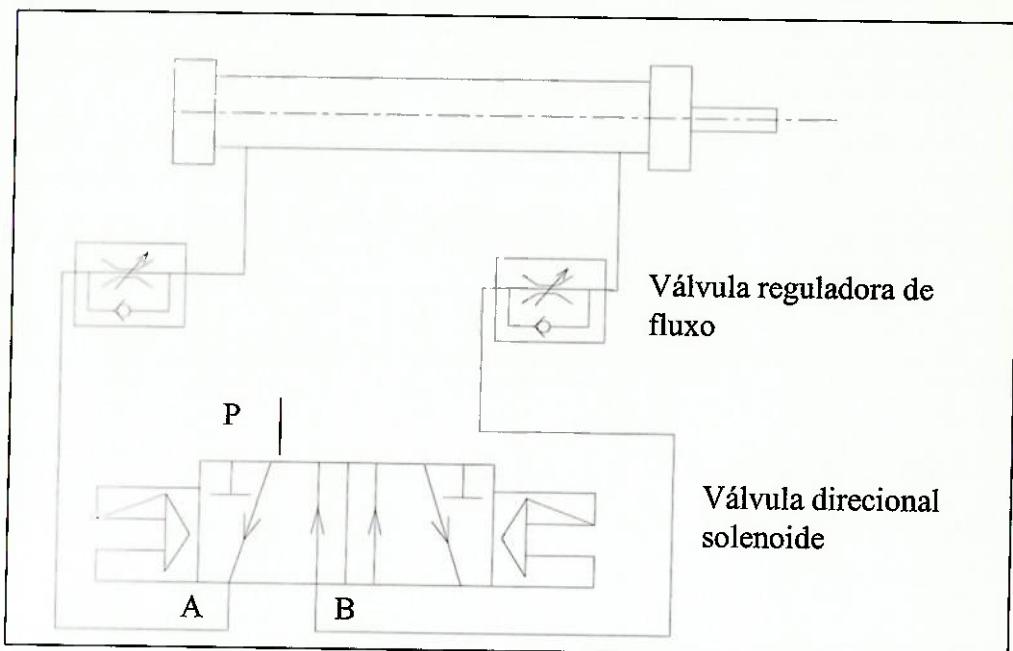


Fig 6 Esquema de ligações pneumáticas

Existe um espaço entre a parte posterior da porta do torno e a carcaça do mesmo onde o atuador seria fixado. Através de uma pequena chapa de metal, seria fixada a ponta do atuador à porta e o atuador seria parafusado ao torno por duas flanges de metal presas nas extremidades do mesmo.

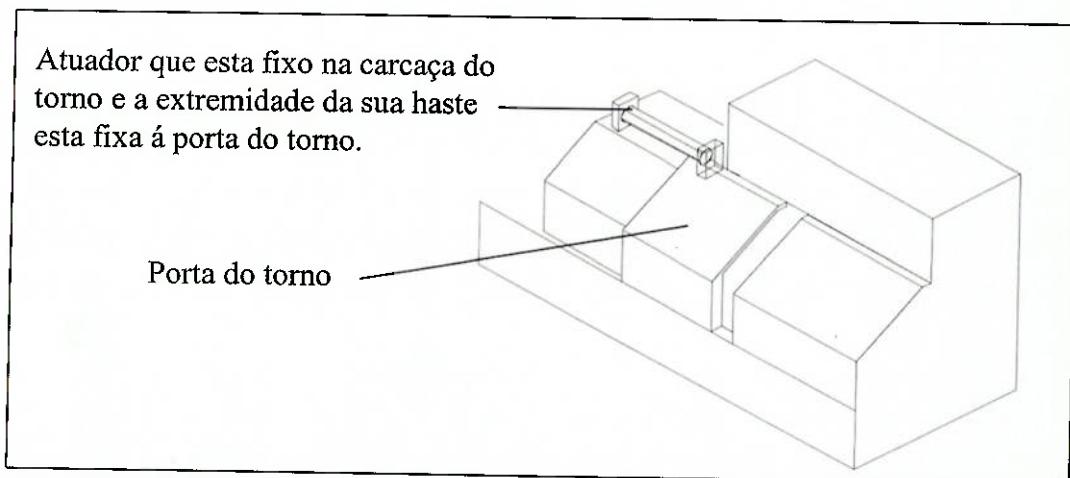


Fig 7 Posição do atuador no torno

Vantagens:

- Rede de ar comprimido no local
- Simples instalação
- Simples operação (controle)
- Disponibilidade de material.

Desvantagens:

- Preço alto
- Atuador de grandes dimensões

CUSTO:

Atuador Pneumático R\$ 169,50

Valvula direcional R\$ 232,8

Custo total R\$ 382,00

3.1.2) Solução elétrica.

A solução eléctrica consiste em se ter um motor elétrico que rodaria uma polia a qual estaria presa a porta do torno. Haveria a necessidade de se ter um controle eletrônico para inverter a rotação do motor fazendo assim com que a porta se abra ou feche.

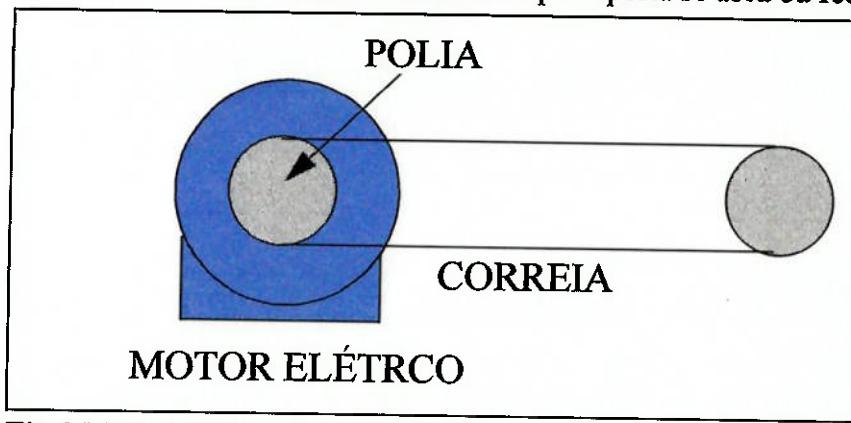


Fig 8 Motor elétrico mais polia.

Vantagens:

Custo

Desvantagens:

- Mais difícil de implementar
- Sistema de controle mais complicado.

Custo R\$ 180,00

3. 2) GARRA DO ROBÔ:

3.2.1) Solução Pneumática 1 (Tipo Alicate):

Esta solução consiste de um “alicate”, onde o atuador fecharia o mesmo, prendendo a anilha. Para prender a anilha, este mecanismo pode se aproximar desta por cima (face plana) ou pela lateral.

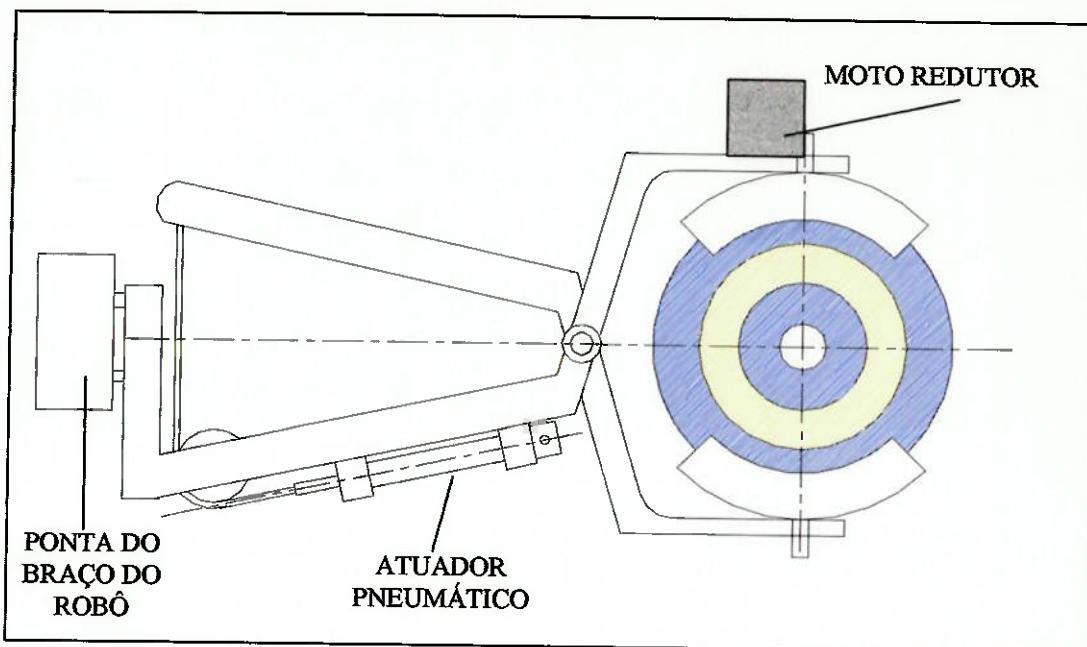


Fig 9 Solução pneumática tipo pinça

Vantagens:

- Prende a anilha firmemente pelas laterais
- Prende qualquer tipo de material

Desvantagens:

- A garra é muito comprida fazendo com que a anilha fique longe do robô.

Custo: R\$ 110,00 + R\$ 50,00= R\$160,00

3.2.2) Solução Pneumática 2 (Tipo Freio)

A esta solução consiste em um sistema semelhante a um freio onde a anilha seria o disco de freio. O mecanismo desceria por cima da anilha e então se fecharia, prendendo-a pelas laterais. Esta concepção torna o mecanismo mais compacto, sendo assim mais fácil de ser acoplado ao robô e de ser manuseado por ele.

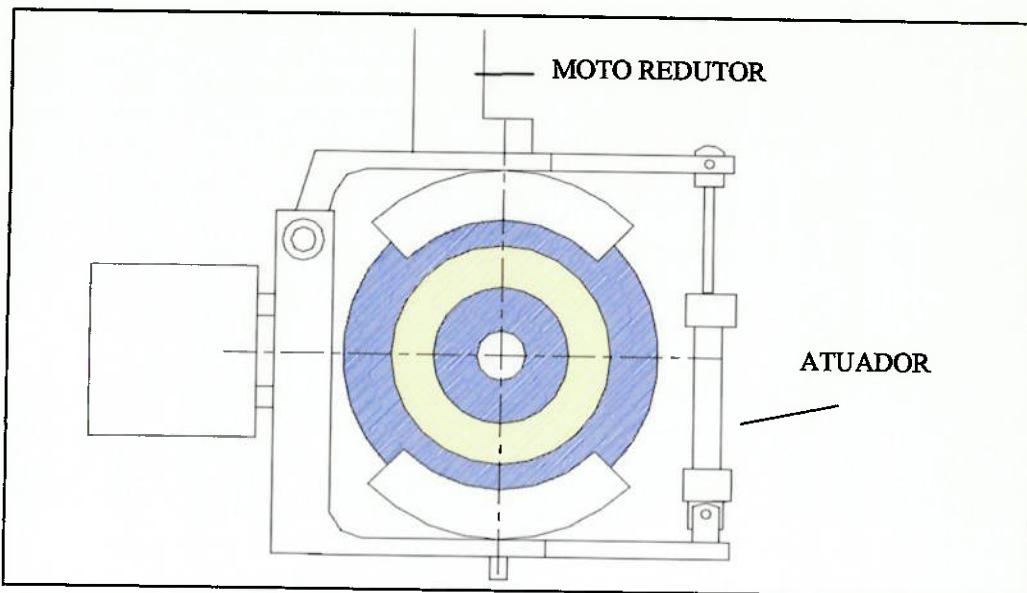


Fig 10 Solução tipo freio

Vantagens:

- Mais compacto
- Usa um atuador menor (-força)
- Prende firmemente a anilha
- Prende qualquer tipo de material
- Rede de ar comprimido disponível.

Desvantagens:

- Necessita de válvulas pneumáticas

Custo: R\$ 80,00 + R\$50,00 = r\$ 130,00

3.2.3) Solução Pneumática 3 (Tipo Pinsa Lateral)

Esta solução consiste em um dispositivo que apesar de segurar a anilha pelas laterais, faces planas, não obstrui o furo central e permite que a anilha seja rotacionada para que se possa usinar as duas faces no torno.

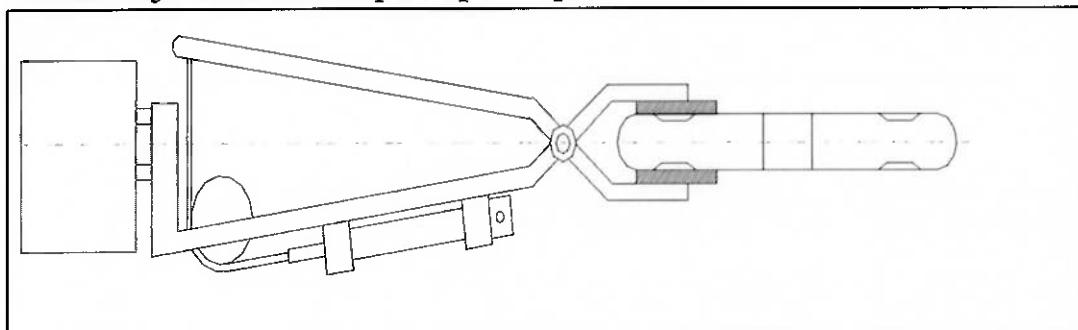


Fig 11 Solução tipo pinsa lateral

Vantagens:

- Rede de ar comprimido disponível
- Prende qualquer tipo de material

Desvantagens:

- Atuador maior devido ao momento causado pela força peso.
- Mecanismo muito comprido
- Peso distante do robô
- Não tem movimento de “pulso”(em torno de x como descrito anteriormente)

Custo: R\$ 110,00

3.2.4) Solução eletromagnética:

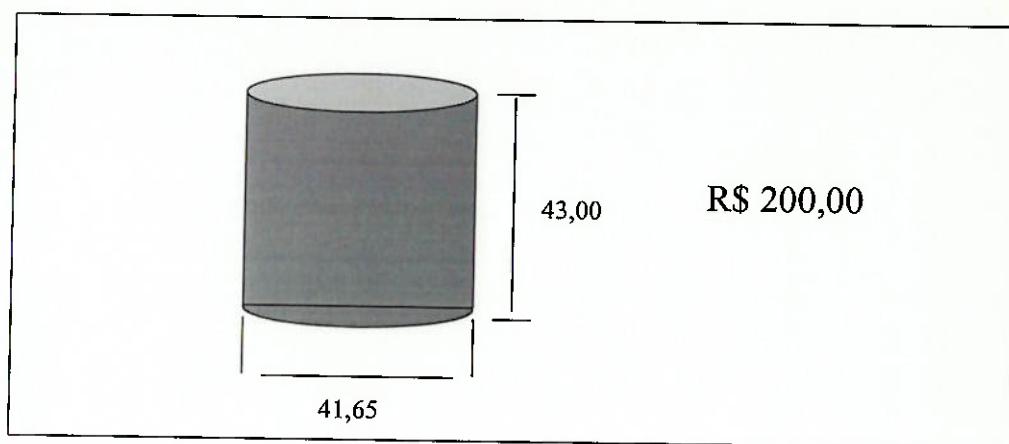
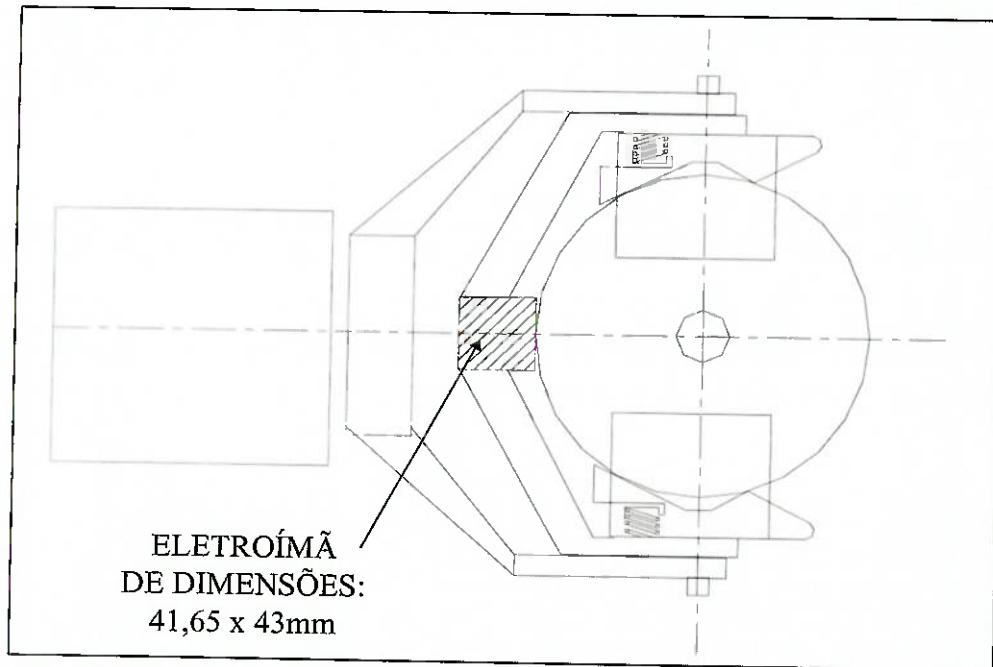
A solução eletromagnética consistiria de um eletroímã que estaria posicionado na garra do robô e que através de um sistema de encaixe , pois o mecanismo não deve obstruir o furo central da anilha e deve permitir que esta seja rotacionada em torno do eixo X , mencionado anteriormente.

Características Técnicas:

Tabela 1 - Características técnicas do eletroímã.

CAP MÁX COM COEFICIENTE DE SEGURANÇA 2:1	CAPACIDADE MÁXIMA	PESO	POTÊNCIA W	VOLTS
14 kg	28 kg	0,345kg	3	12 CC

Dimensões:

**Fig 12 Dimensões do Eletroímã****Fig 13 Solução eletromagnética**

Vantagens:

- O controle é simples.
- Não seriam necessários mecanismos de fechamento

Desvantágens:

- Só funciona para materiais ferrosos.
- Tem um custo maior.

Custo: R\$ 200,00 + R\$ 50,00 = R\$ 250,00

3.2.5) Solução a vácuo

Existe também a possibilidade de se desenvolver um dispositivo que “segurasse” a anilha por ventosas com baixa pressão. Esta idéia foi descartada pois a superfície irregular da anilha antes de ser usinada faria com que as ventosas não se fixassem bem. Além disso as válvulas utilizadas para se obter baixa pressão são muito caras.

4. MATRIZES DE DECISÃO

Para que se pudesse escolher qual o caminho a se seguir dentre as várias soluções possíveis, foi feita a matriz de decisão onde se levou em consideração as seguintes propriedades:

Porta do torno:

- Custo, Facilidade de instalação, Funcionalidade e Disponibilidade de recursos.

Garra do robô:

- Custo, Disponibilidade de recursos, Flexibilidade, Facilidade de implementação, Funcionabilidade e Proximidade do robô.

Vale apena mencionar que o custo não foi o fator de maior peso como ocorre normalmente, pois como deve ser feito apenas um dispositivo de cada e para fins acadêmicos o custo, dentro de certos limites, pode ser reduzido, conseguindo materiais gratuitamente, usados, doados etc. Por tanto, as características funcionais tiveram maior peso na escolha da melhor solução.

4.1 Matriz de decisão- porta do torno

Tabela 2 Matriz de decisão- porta do torno

SOLUÇÕES REQUISITOS		ATUADOR PNEUMÁTICO	MOTOR ELÉTRICO
PESO		NOTA - N*P	NOTA - N*P
CUSTO	2	4 - 8	7 - 14
FACILIDADE DE INSTALAÇÃO	3	8 - 24	6 - 18
FUNCIONALIDADE	3	7 - 21	7 - 21
DISPONIBILIDADE DE RECURSOS	4	9 - 36	6 - 24
TOTAL	12	89	77
TOTAL / PESO		7.4	6.4

4.2 Matriz de decisão- garra do robô

Tabela 3 Matriz de decisão- garra do robô

SOLUÇÕES REQUISITOS		PINSA	FREIO	PINSA LATERAL	ELETROMAGNÉTICA
PESO		NOTA - N*P	NOTA - N*P	NOTA - N*P	NOTA - N*P
CUSTO	2	6 - 12	9 - 18	7 - 14	8 - 16
DISPONIBILIDADE RECURSOS	3	8 - 24	8 - 24	8 - 24	7 - 21
FLEXIBILIDADE	1	7 - 7	7 - 7	7 - 7	5 - 5
FACILIDADE DE IMPLEMENTAÇÃO	3	7 - 21	7 - 21	7 - 21	6 - 18
FUNCIONABILIDADE	4	7 - 28	9 - 36	4 - 16	7 - 28
PROXIMIDADE DO ROBÔ	3	4 - 12	9 - 27	4 - 12	9 - 27
TOTAL	16	104	133	94	115
TOTAL / PESO		6.5	8.3	5.87	7.2

5 Conclusão.

Tendo ecolhido as melhores soluções indicadas pelas matrizes de solução, sendo estas a pneumática tipo freio para a garra do robô e a pneumática para o torno, temos como propósito para dar procedimento ao trabalho, desenvolver melhor estes dispositivos, chegando até ao seu detalhamento e finalmente a construção de um protótipo.

Como esta primeira parte tem por objetivo indicar o caminho que deve ser seguido, os dispositivos deverão sofrer alterações que os tornem melhores, podendo assim vir a alterar um pouco o dispositivo em si mas seguindo a linha proposta neste trabalho.

LEANDRO ZAKIS CÂNDIDO

**CÉLULA DE MANUFATURA FLEXÍVEL
DESENVOLVIMENTO DA GARRA DO ROBÔ
SEGUNDA PARTE**

Relatório apresentado à Escola Politécnica
da Universidade de São Paulo para o trabalho
de formatura

São Paulo
1997

SUMÁRIO

Lista de Figuras

Resumo

1	INTRODUÇÃO.....	17
2	ESPECIFICAÇÃO DO PROBLEMA.....	18
3	ESTUDO DA SOLUÇÃO.....	18
3.1	Cálculo de forças e seleção do atuador.....	19
3.1.1	Determinação do curso do atuador.....	19
3.1.2	Cálculo da força do atuador.....	20
3.2	Determinação do atuador.....	23
4	SOLUÇÃO - DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO.....	24
4.1	Base.....	24
4.2	Polias e alavancas.....	25
4.3	Sapata.....	26
4.4	Dispositivo completo.....	26
5	CONCLUSÃO.....	28
6	AGRADECIMENTOS.....	29

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Garra do robô.....	17
Figura 2 - Esquema do dispositivo da garra.....	19
Figura 3 - Principais deslocamentos.....	20
Figura 4 - Representação esquemática do mecanismo.....	21
Figura 5 - Cálculo da força de tração no atuador com peso na vertical..	22
Figura 6 - Cálculo das forças com peso na horizontal.....	23
Figura 7 - Base em perspectiva e vista frontal.....	25
Figura 8 - Sistema de polia e alavanca.....	25
Figura 9 - Sapata.....	26
Figura 10 - Esquema do dispositivo completo.....	27

1)INTRODUÇÃO:

Na primeira parte deste trabalho, foram apresentados dois problemas que seriam o sistema de abertura e fechamento da porta do torno e a garra do robô. Devido ao projeto da garra ter se tornado bem interessante e ter exigido bastante dedicação, o projeto do sistema de abertura e fechamento da porta do torno foi abandonado e a garra do robô tornou-se o único projeto deste trabalho o qual tem por objetivo projetar e construir uma garra que atenda as especificações necessárias, as quais serão listadas posteriormente.

Conforme foi decidido na primeira parte deste trabalho, a garra do robô deveria seguir o modelo pneumático do tipo "freio" conforme a figura 1. Devido a maiores estudos decidiu-se retirar o atuador da parte anterior da garra e passá-lo para a posterior para que este não ficasse muito vulnerável a eventuais pancadas que poderiam ocorrer durante a manipulação. Com a necessidade de se alterar a posição do atuador foi preciso se iniciar um estudo de um novo sistema para acionar as sapatas que iriam "segurar" as anilhas.

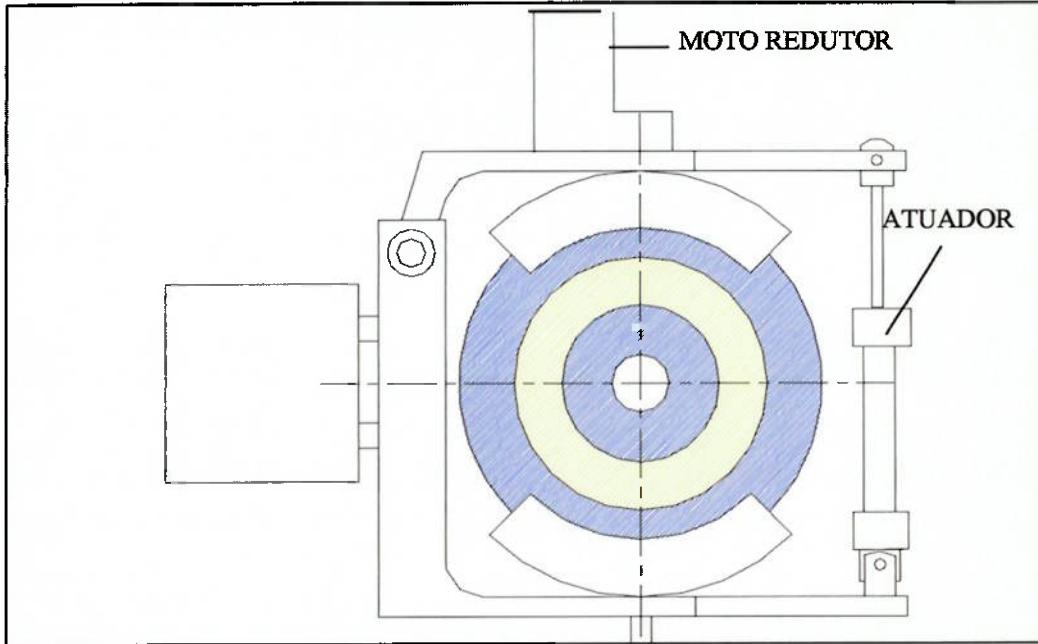


Figura1: Garra do tipo freio.

2) ESPECIFICAÇÃO DO PROBLEMA.

Conforme estipulado anteriormente, a garra deveria ser o mais curta possível, pesar no máximo 1kg, segurar três tipos de anilhas com diâmetros variados de 171,8mm ; 168,0mm e 201,0 mm e ter o movimento de “pulso” para rotacionar a anilha em torno do eixo y conforme a figura2. Este movimento de pulso, que seria efetuado pelo moto redutor, foi eliminado da garra pois o próprio robô poderia fazê-lo. Portanto o problema passou a ser: criar uma garra que fosse leve (menos de 1kg), que pudesse manipular anilhas de até 5kg e que tivesse o mecanismo mais simples possível para que fosse viável se executar um protótipo.

3) ESTUDO DA SOLUÇÃO

Foi iniciado o estudo de um mecanismo que pudesse atender as especificações acima. Para começar foram respeitadas as especificações geométricas e funcionais para mais tarde ver se as mecânicas seriam atendidas. Portanto pensou-se em primeiro lugar em se desenvolver um mecanismo que:

1) Fosse capaz de segurar as três anilhas.

O sistema deve abrir e fechar o suficiente para abranger os três diâmetros necessários (171.8 186 e 201mm).

2) Fosse o mais compacto possível.

Para isso o atuador foi colocado “em pé” no mesmo plano da anilha.

3) Fosse capaz de suportar a anilha de 5kg.

Para tanto todo o estudo de força foi direcionado para se selecionar um

atuador que não abrisse sob a ação do maior peso.

Levando-se em conta os requisitos acima se chegou ao mecanismo representado abaixo na figura 2.



Figura 2: Esquema do dispositivo da garra.

3.1) CÁLCULO DE FORÇAS E SELEÇÃO DO ATUADOR.

3.1.1) Determinação do curso do atuador.

Para que se conseguisse um deslocamento das sapatas suficiente para segurar os dois pesos, chegou-se através do desenho, a um curso do atuador de 50mm e o raio de fixação das alavancas na polia B de 25mm. Obteve-se então os deslocamentos indicados na figura 4.

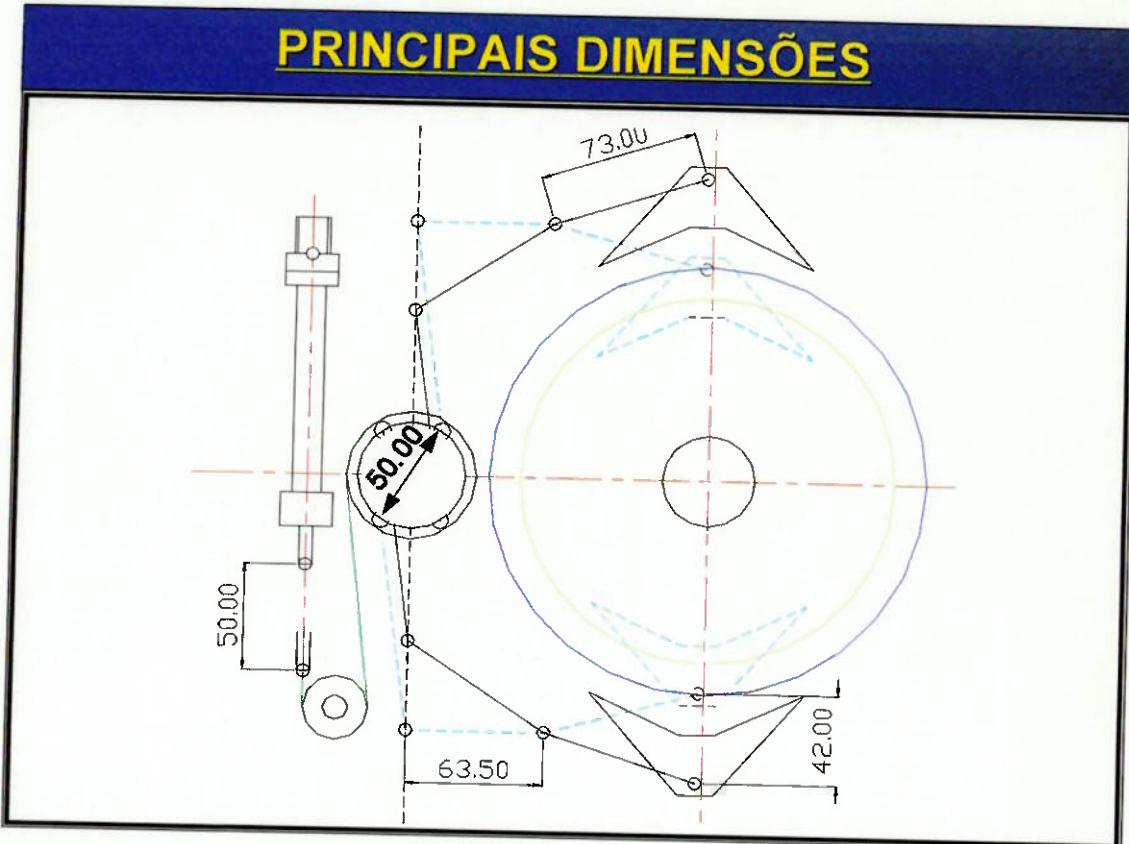


Figura 3: Principais deslocamentos.

3.1.2) Cálculo da força do atuador.

Para se calcular a força necessária no atuador, foram consideradas duas situações críticas.

Primeiro: A anilha maior, 5kg, estar na vertical com todo o peso sobre uma sapata.

Para se efetuar os cálculos, usou-se uma representação esquemática do mecanismo onde cada parte móvel foi representada e numerada conforme a figura abaixo.

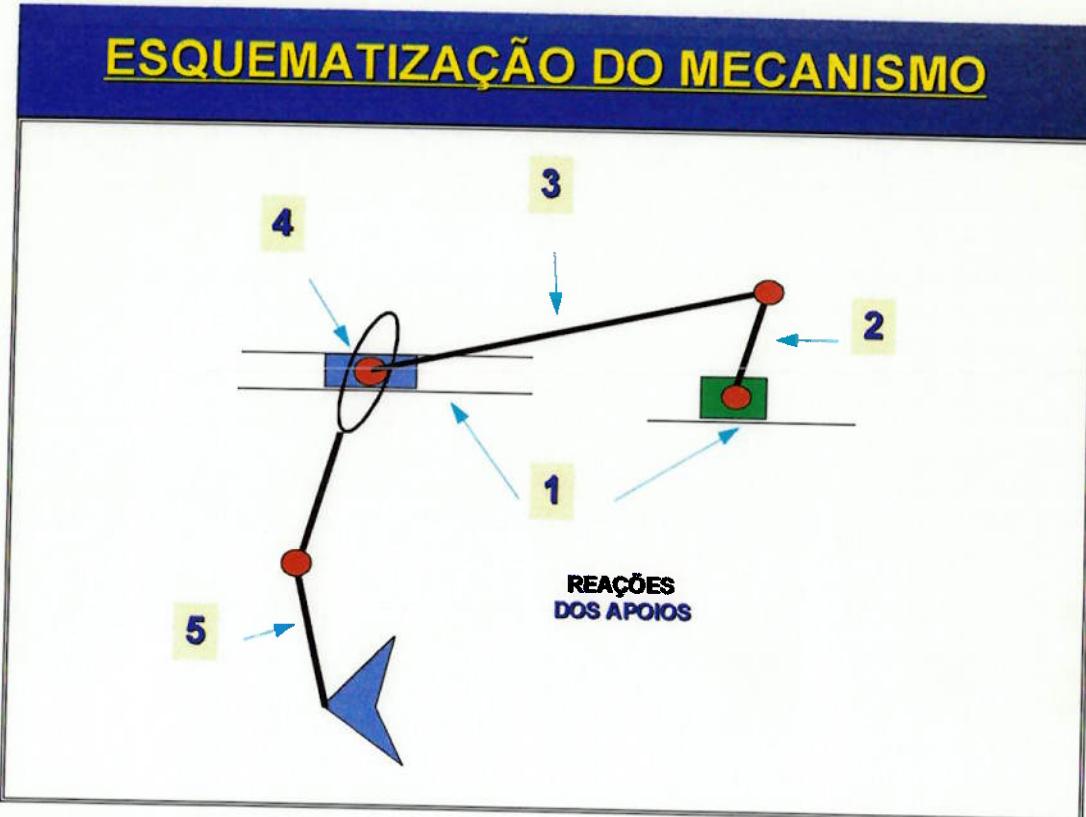


Figura 4: Representação esquemática do mecanismo.

Cálculos: conforme a figura acima, e fazendo-se as devidas decomposições vetoriais chegamos as seguintes forças:

$$F_{54} = 52,70N$$

$$F_{34} = 49,00N$$

$$F_{14} = 34,42N$$

$$F_{32} = 49,00N$$

$$F_{23} = 20,50N$$

$$F_{TRACAO} = 44,50N$$

As principais forças estão representadas vetorialmente na figura abaixo.

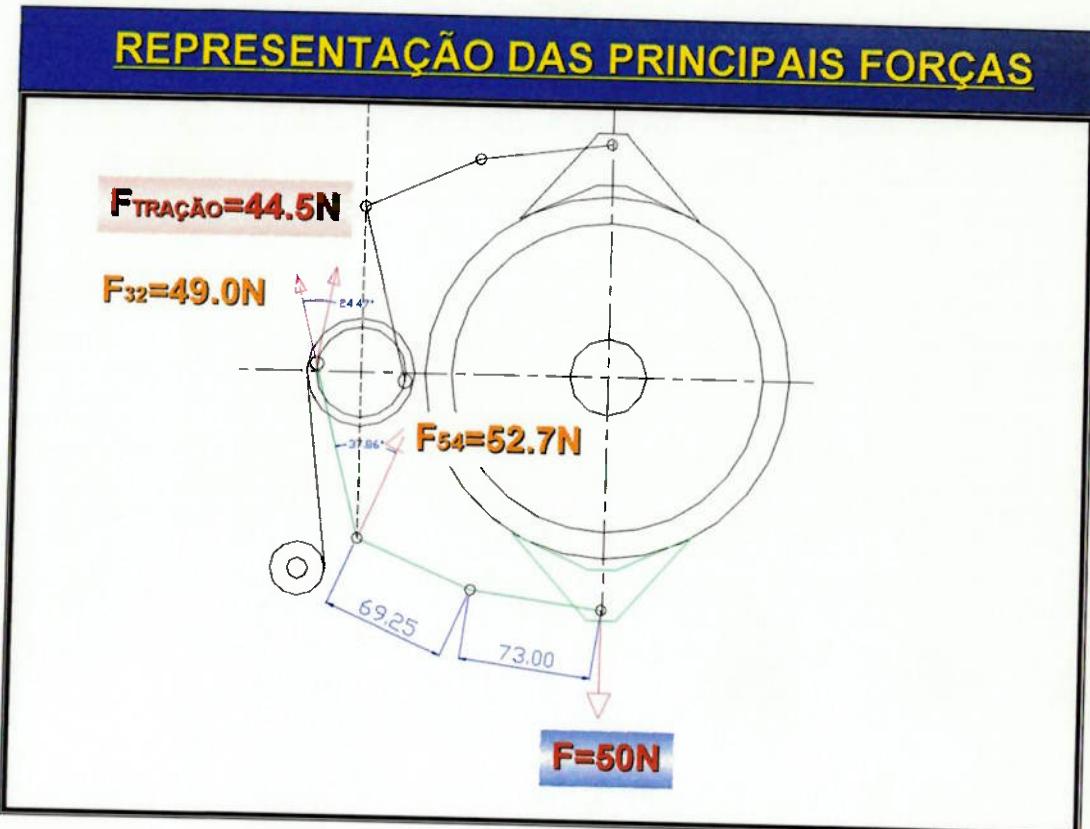
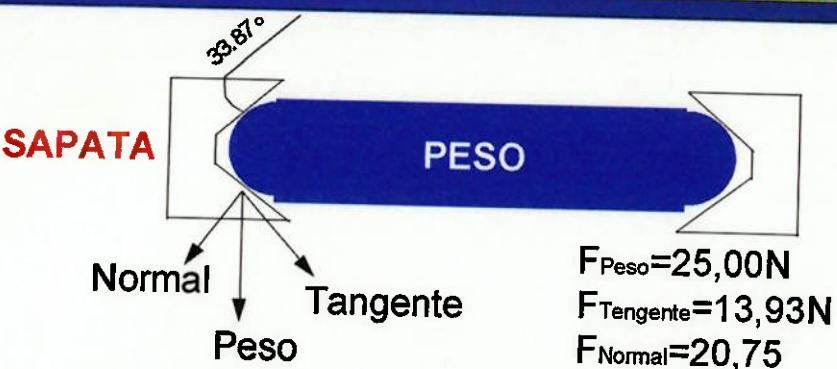


Figura 5: Calculo da força de tração no atuador com peso na vertical.

Segundo: A anilha está na horizontal distribuindo o peso nas sapatas.

Neste caso, para que a anilha não caia é necessário se verificar as forças de atrito agindo no sistema.

FORÇAS ATUANTES COM A ANILHA NA HORIZONTAL



Usando-se o coeficiente de atrito de 0,3 temos:

$$F_{\text{at}} = nN \quad n=0,3 \quad F_{\text{at}}=20,75*0,3 \quad F_{\text{at}}=6,23\text{N}$$

$$F_{\text{Tangente}}=13,93$$

Portanto para que a anilha não caia é necessário uma força de fechamento que tenha uma resultante tangente de 7,70N e esta vale $F_{\text{fechamento}}=9,24\text{N}$

Sendo esta bem menor que no caso da anilha na vertical.

Figura 6: Cálculo das forças que agem no sistema com o peso na horizontal.

3.2) DETERMINAÇÃO DO ATUADOR.

Portanto, segundo os cálculos acima, temos que ter um atuador que tenha 50mm de curso e seja capaz de aplicar uma força de tração de 45N. Isso nos levaria a um atuador de 16mm de diâmetro do êmbolo, que segundo o catálogo pode aplicar uma força de tração de 87N com pressão de 6 bar. O êmbolo imediatamente menor 12mm, aplica uma força de tração de 38N. Isso nos da uma folga para superar as forças de atrito do mecanismo e a da mola que estará agindo contra o atuador, pois o retorno da garra a posição aberta será por mola.

Para se construir o protótipo, foi conseguido junto a FESTO a título de doação o seguinte atuador:

- I) 16mm de diâmetro.
- II) Curso de 50mm

- III) Dupla ação.
- IV) Tipo DSNU-16-50 P-A
- V) Pressão máxima de 10 bar.
- VI) Conector para mangueira de ar comprimido de 6mm de diâmetro.
- VII) Massa de 113g.

4) SOLUÇÃO - DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO.

A partir dos dados dimensionais obtidos acima, cursos, deslocamentos, posições etc. Tendo o atuador e sabendo-se as dimensões das anilhas começou-se a desenvolver a estrutura que sustentaria todos os dispositivos móveis, assim como a geometria de cada um destes dispositivos.

4.1) BASE.

A primeira peça a ser criada foi a base, assim chamada pois nela se apoiariam todos os outros elementos. Por ser o principal dispositivo estrutural, esta foi a única peça a ser submetida a análise por elementos finitos, ver anexo 1, o que comprovou a sua resistência as tensões as quais seria submetida.

Para o estudo feito em elementos finitos, todas as forças atuantes foram aplicadas sobre uma única chapa ou base e não sobre duas o que seria a situação real. Foi suposto também que a garra estaria erguendo um peso de 6kg. Tudo isso foi feito para simular uma situação muito crítica e apesar disso a peça não chegou a atingir a tensão limite de escoamento do material selecionado. Foi possível então comprovar a resistência da garra e determinar os pontos da estrutura que estariam sendo mais solicitados.

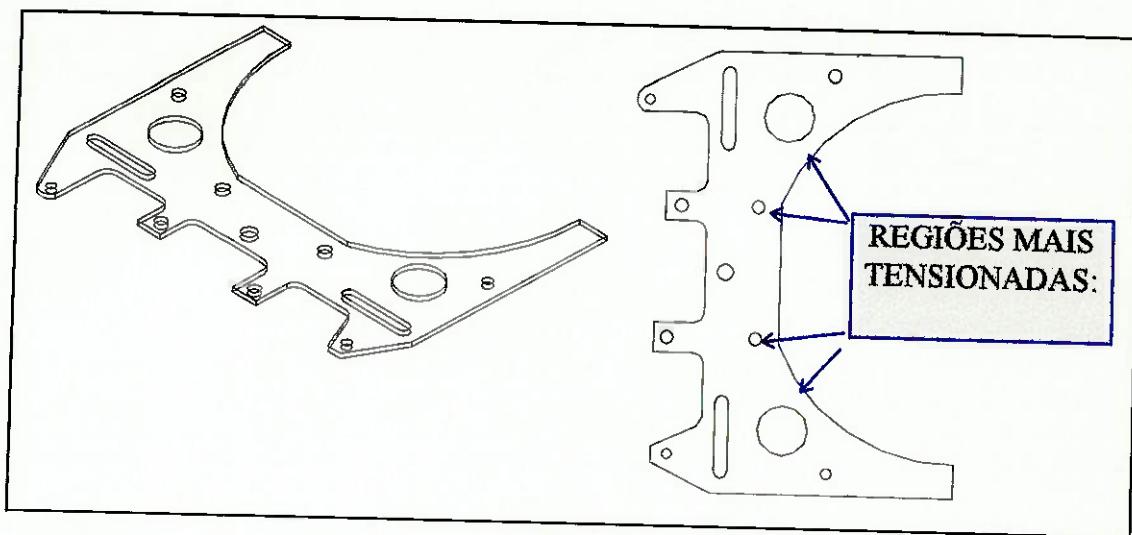


Figura 7: Base em perspectiva e vista frontal.

4.2) Polias e alavancas.

Baseado nas dimensões descritas na figura 4 foi possível se desenvolver as alavancas de fechamento das sapatas assim como a polia central os quais estão representados abaixo.

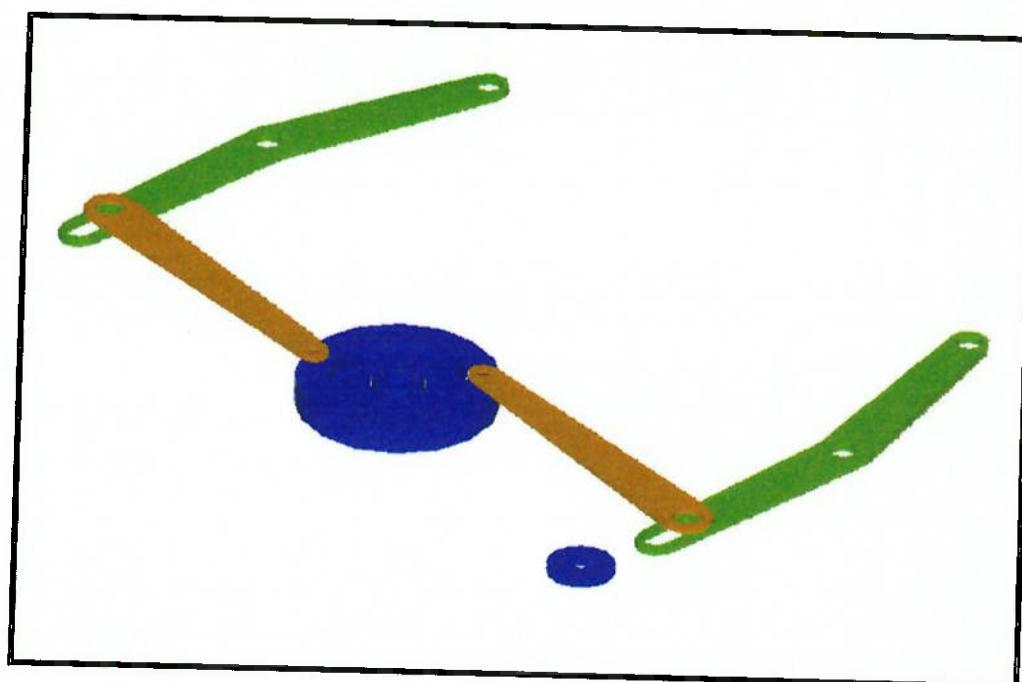


Figura 8: Sistema de polia e alavancas.

4.3) Sapata.

A sapata foi desenvolvida de forma a se obter os ângulos descritos na figura 7. Esta se revelou a peça mais difícil a ser fabricada devido a sua geometria não muito convencional. As sapatas possuem duas faces planas que servem para apoiá-las na base e transmitir o peso das anilhas para a mesma. Ver figura abaixo.

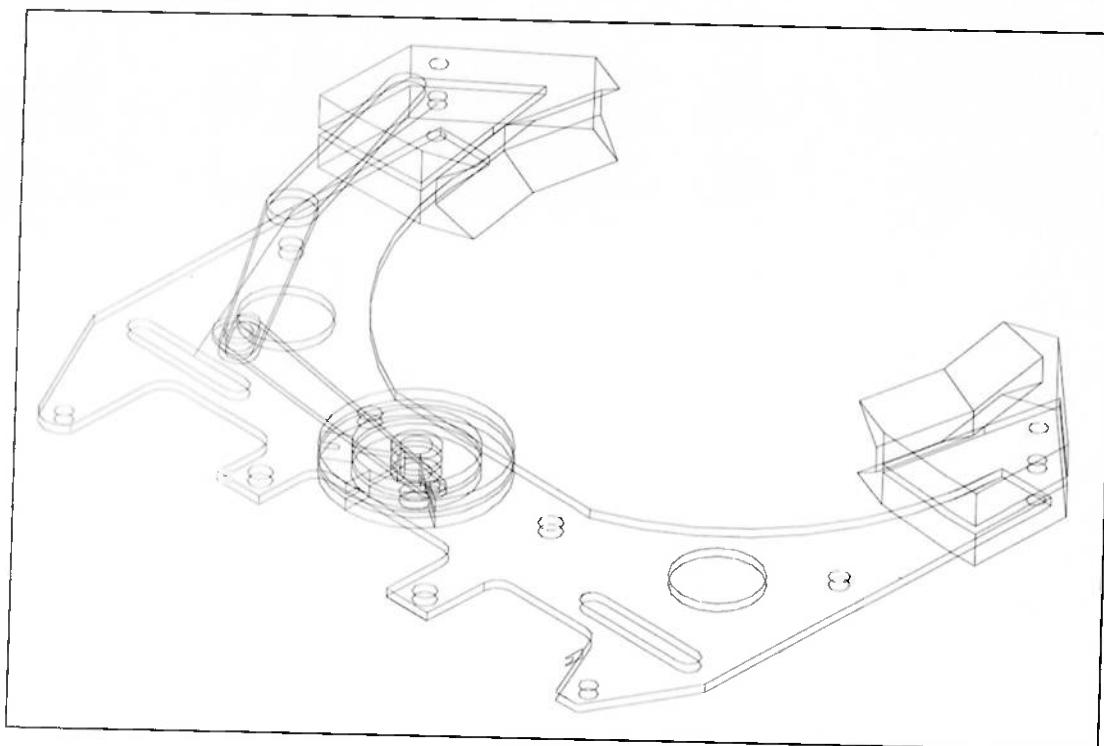


Figura 9: Sapata.

4.4) Dispositivo completo.

Em cima destas peças foram sendo criadas todas as outras até se obter o dispositivo completo o qual foi modelado em Autocad13 para que fosse possível se comprovar o encaixe de todas as peças e se projetar as dimensões das mesmas.

VISTA EM PERSPECTIVA DA GARRA

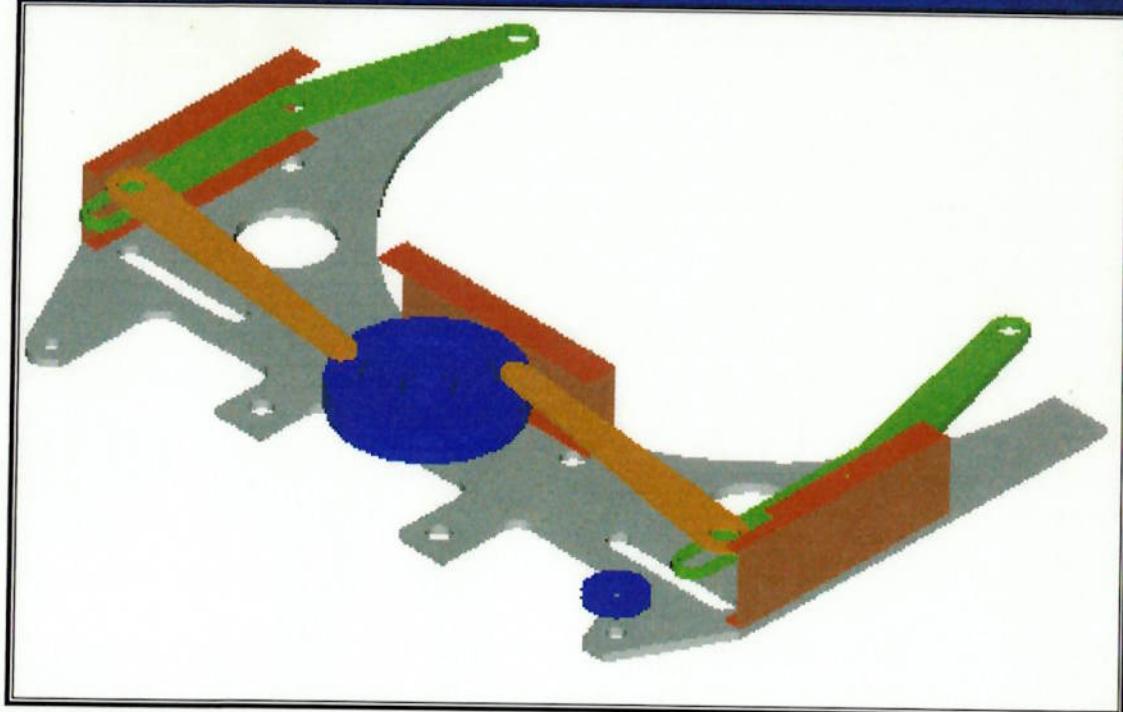


Figura 10: Esquema do dispositivo completo.

5) Conclusão:

Através da construção do protótipo, foi possível se constatar a funcionalidade do dispositivo o qual apresentou excelentes características de rigidez e funcionalidade. As peças móveis se articulam sem travamento e a força transmitida pelo atuador é ampliada pelo dispositivo.

Infelizmente não foi possível se realizar testes práticos devido a falta de tempo hábil para se implementar todos os dispositivos de apoio.

O objetivo de peso foi alcançado pois a garra completa pesa menos de 1kg.

Concluímos portanto que o dispositivo se demonstrou bastante satisfatório comprovando as características de projeto.

Em anexo encontram-se as análises em elementos finitos, os desenhos de conjunto e de fabricação assim como fotos do protótipo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Sr. Alexandre da empresa Buhler, o qual gentilmente me auxiliou na execução da peça chamada base, efetuando o corte a laser da mesma.

Agradeço ao pessoal da Festo que gentilmente forneceu o atuador usado no protótipo.

ANEXO 1

ANÁLISE DA BASE EM ELEMENTOS FINITOS

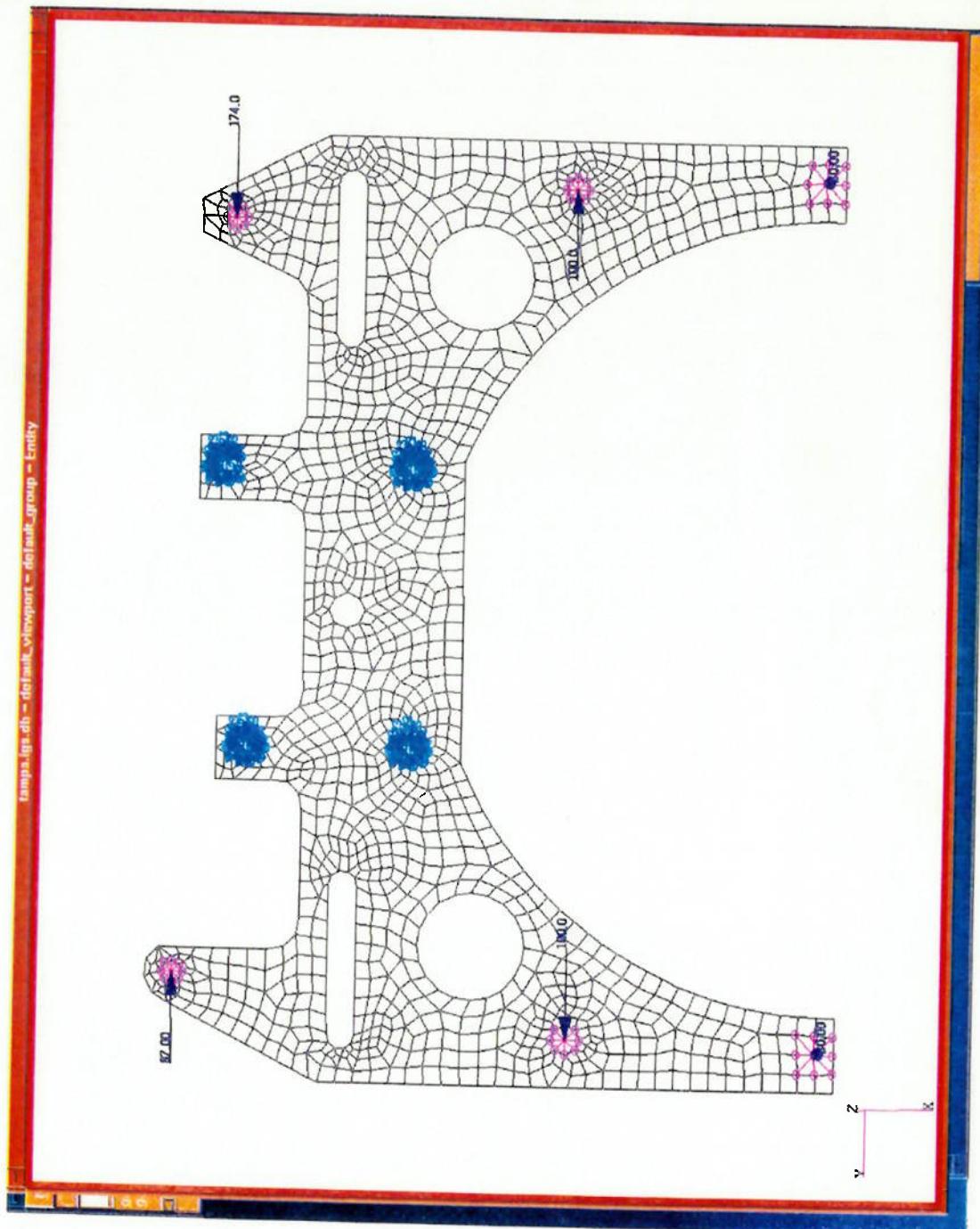
Material:	Description:	Unalloyed aluminum			Standard:
AA/ASTM 1100*					ASTM B209
The 1000 series of aluminum alloys contain in excess of 99% Al, having microstructure consisting mainly of relatively pure aluminum fcc matrix. Major impurities are iron and silicon. They are not heat treatable and moderate increases in strength may be obtained by cold working. These alloys are characterized by excellent corrosion resistance, high thermal and electrical conductivity, low mechanical properties and excellent workability. The 1100 alloy is the most common of this serie and is used in heat exchangers, storage tanks, name plates, decorative parts and reflectors.					
C =	Mo	OBS:			Equivalent materials:
Mn 0.05 max.	V =	Zn= 0.10 max.			UNS- A91100
P =	Ti =	Other=each 0.05 max.			ABNT- 1100
S =	Nb	total 0.15 max.			~DIN EN 573-3/4 - EN AW-1100(EN AW-Al 99.0 Cu)
Si = *	Cu	0.05...0.20			~former DIN 1712 and 1725 - Al 99.0 Cu
Al 99.0 min.	B =				GM- 4006-M
PROPERTIES		SYMBOL	UNIT	H16 or H26**	H18 or H28**
ULTIMATE TENSILE STRENGTH		S _u	MPa	130...165	150 min.
YIELD STRENGTH (ELASTIC LIMIT 0.2)		S _y s	MPa	115...140	
MODULUS OF ELASTICITY		E	GPa	69	69
POISSON's COEFFICIENT		ν	—	~0.33	~0.33
REDUCTION OF AREA AT RUPTURE		R _A	%		
ELONGATION AT RUPTURE			%	1...4***	1...4***
TRUE FRACTURE STRENGTH		σ_f	MPa		
TRUE FRACTURE DUCTILITY		ϵ_f	—		
STRAIN HARDENING EXPONENT		n	—		
STRENGTH COEFFICIENT		K	MPa		
CYCLIC YIELD STRENGTH		σ_{ys}	MPa		
CYCLIC STRAIN HARDENING EXPONENT		n'	—		
CYCLIC STRENGTH COEFFICIENT		$\sigma'f$	MPa		
FATIGUE STRENGTH COEFFICIENT		k'	MPa		
FATIGUE STRENGTH EXPONENT		b	—		
FATIGUE DUCTILITY COEFFICIENT		$\epsilon'f$	—		
FATIGUE DUCTILITY EXPONENT		c	—		
ENDURANCE LIMIT		—	MPa	62	62
ALTERNATE BENDING		—	MPa		
ALTERNATE TENSION		—	MPa		
ALTERNATE TORSION		—	MPa		
DENSITY		ρ	Kg/dm ³	2.71	2.71
BRINELL HARDNESS		BHN	—	38	44
IZOD IMPACT STRENGTH		—	J		
ULTIMATE SHEAR STRENGTH		—	MPa	83	90
ULTIMATE COMPRESSION STRENGTH		—	MPa		
SHEAR MODULUS		—	GPa	~26	~26

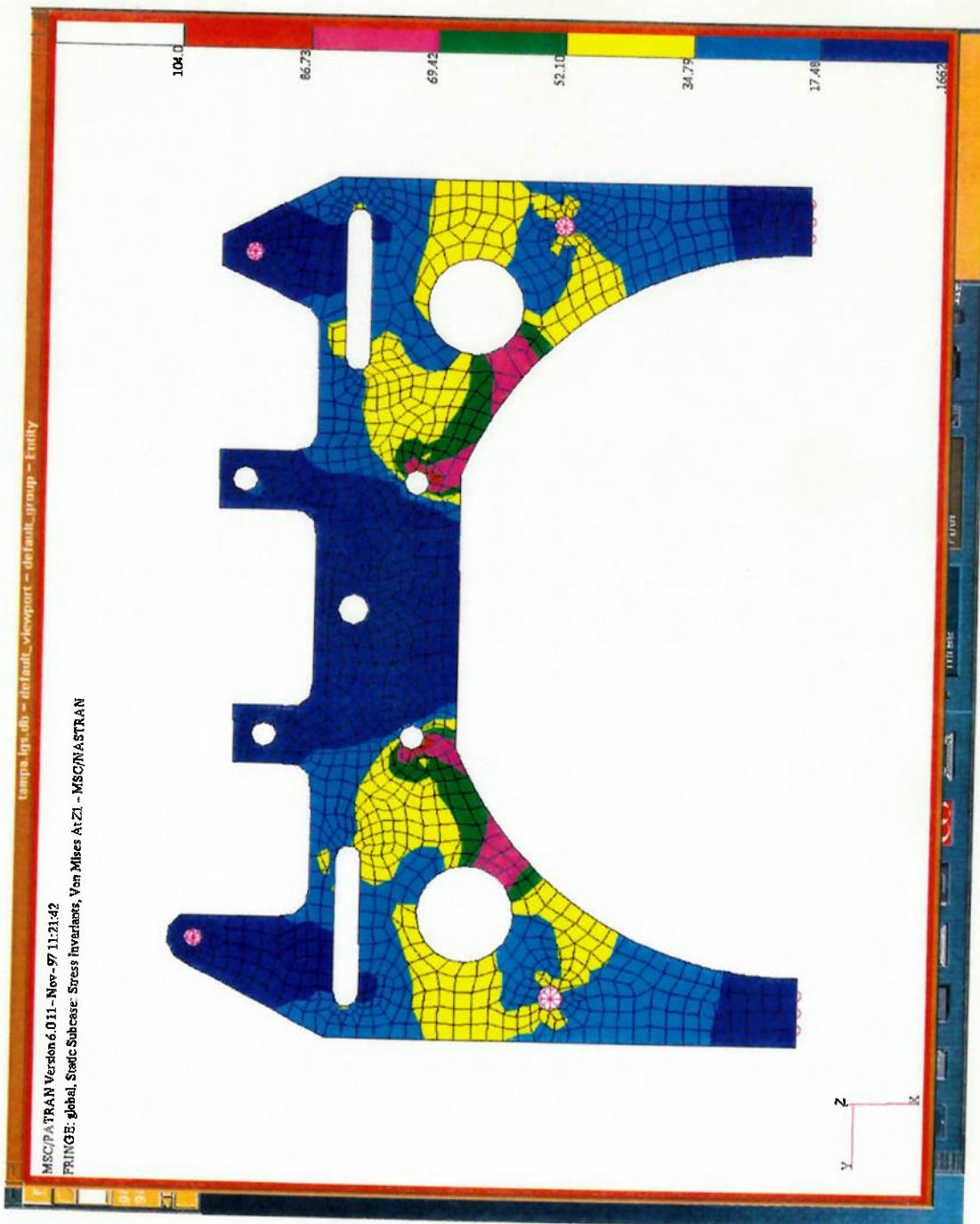
Material: AA/ASTM 1100*		Description: Unalloyed aluminum										Standard: ASTM B209	
THERMAL PROPERTIES:	COEFFICIENT OF LINEAR THERMAL EXPANSION	°C	20...10	20...20	20...300	20...40	20...50	20...60	20...70	20...80	20...100		
		μm/m°K	23.6										
	THERMAL CONDUCTIVITY	°C	0	100	200	300	400	500	600	700	800	1000	1200
		W/m°K	222*										
SPECIFIC HEAT	°C	50...10 0	150 ... 200	200... 250	250... 300	300... 350	350... 450	450... 550	550... 650	650... 700	700... 750	750... 800	850... 900
	J/Kg°K	904**											

*Without reference to temperature, in general at 25 Celsius deg., for H18 = 218.
 **Without reference to temperature range, probably 50...100.

TYPICAL TENSILE PROPERTIES AT VARIOUS TEMPERATURES (values for reference, source SAE J454)

Temperature (C deg)	O			H14			H18		
	UTS (MPa)	YS (MPa)	Elong. in 2in(%)	UTS (MPa)	YS (MPa)	Elong. in 2in(%)	UTS (MPa)	YS (MPa)	Elong. in 2in(%)
-196	172	41	50	207	138	45	234	179	30
-80	103	38	43	138	124	24	179	158	16
-28	97	34	40	131	117	20	172	158	15
24	90	34	40	124	117	20	165	152	15
100	69	32	45	110	103	20	145	131	15
149	55	29	55	97	83	23	124	97	20
204	41	24	65	69	52	26	41	24	65
260	28	18	75	28	18	75	28	18	75
316	20	14	80	20	14	80	20	14	80
371	14	11	85	14	11	85	14	11	85





ANEXO 2:

DESENHOS DE CONJUNTO E FABRICAÇÃO