

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

ENGENHARIA MECÂNICA

DEPARTAMENTO DE PROJETO E FABRICAÇÃO

1990 (DEE)
GILBERTO M.
Prof. GILBERTO F.M. DE SOUZA

OK

**PROJETO DE UM EQUIPAMENTO DE GINÁSTICA
DOMICILIAR PARA EXECUÇÃO DE DIVERSOS
TIPOS DE EXERCÍCIOS**

ALUNO: MARCELO REFINETTI

ORIENTADOR: GILBERTO FRANCISCO MARTHA DE SOUZA

1998

Dedicatória

Aos meus pais,
Vera Lucia e Roberto Antônio,
por terem investido tanto na minha
educação e acreditado em mim, e
àqueles que me ajudaram

Agradecimentos

Ao orientador Prof. Dr. Gilberto Francisco Martha de Souza, por sua grande dedicação e participação efetiva neste projeto de formatura.

Ao sábio colega Paulo César Debenest, profundo conhecedor da tecnologia que tanto nos ajuda, por me ajudar a construir o modelo do equipamento no computador.

Àqueles que sempre me ajudaram nas dificuldades e ansiedades, pois sem eles este trabalho não existiria.

Resumo

Este trabalho teve por objetivos o projeto de um equipamento de ginástica domiciliar para a execução de diversos tipos de exercícios devido à grande carência de requisitos básicos dos aparelhos atuais, como segurança e ergonomia. Tratou-se portanto de um projeto que envolveu o estudo da necessidade, a síntese de soluções e o projeto básico de um novo mecanismo que atenda a certos parâmetros.

O projeto se desenvolveu de uma forma iterativa, pois a concepção de alguns componentes dependia de outros que ainda não haviam sido criados.

Durante o decorrer do trabalho, algumas mudanças de projeto foram propostas, principalmente para melhor atender às necessidades de um uso doméstico do equipamento.

O presente trabalho está divido em duas partes:

- Disciplina PMC 580 - Projeto de Formatura I, onde são abordados a necessidade do projeto, os parâmetros de projeto, a síntese de soluções e a matriz de decisão. No final desta primeira parte, tem-se uma solução que melhor se adaptou aos requisitos antes explicitados.
- Disciplina PMC 581 - Projeto de Formatura II, onde projetou-se os componentes da solução escolhida na primeira parte e também estimou-se o custo provável do equipamento.

Índice Geral

PARTE I: PMC 580 - PROJETO DE FORMATURA I

I – INTRODUÇÃO.....	3
II – NECESSIDADE DO PROJETO.....	4
III – PARÂMETROS DO PROJETO.....	11
IV – SÍNTSE SOLUÇÕES.....	14
V - MATRIZ DE DECISÃO.....	20
VI - CONCLUSÃO.....	22

PARTE II: PMC 581 - PROJETO DE FORMATURA II

I - INTRODUÇÃO.....	25
II - DIMENSIONAMENTO DOS COMPONENTES.....	26
A) PESOS.....	26
B) “LEVANTADOR” DE PESOS.....	29
C) PINO DE SELEÇÃO DE PESOS.....	40
D) CABOS DE AÇO.....	44
E) POLIAS.....	47
F) CÁLCULO DO DIÂMETRO DO EIXO MÓVEL.....	49
G) SELEÇÃO DO ROLAMENTO.....	55
III - VERIFICAÇÃO À ESTABILIDADE.....	56
IV - ESTRUTURA EXTERNA.....	64
V - PROCEDIMENTO DE MONTAGEM.....	66
VI - ESTIMATIVA DE CUSTOS.....	68
VII - MODELO DO MECANISMO DE POLIAS E DOBRAMENTO.....	72
VIII - CONCLUSÕES.....	78
IX - DESENHOS DE FABRICAÇÃO.....	80
 ANEXOS.....	92
I - TABELAS REFERENTES AOS CABOS.....	93
II - TABELA REFERENTE AOS ROLAMENTOS.....	102
III - TABELA CUSTOS HORA/MÁQUINA E HORA/HOMEM.....	104
IV - TABELA NORMA DIN 15062 PARA POLIAS PARA CABOS DE AÇO.....	106
 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	108

PMC 580 - PROJETO DE FORMATURA I

**PROJETO DE UM EQUIPAMENTO DE GINÁSTICA
DOMICILIAR PARA EXECUÇÃO DE DIVERSOS TIPOS DE
EXERCÍCIOS**

ALUNO: MARCELO REFINETTI

NUSP: 1626959

CURSO: ENGENHARIA MECÂNICA – PROJETO E FABRICAÇÃO

PROF. ORIENTADOR: PROF. GILBERTO F. M. DE SOUZA

ANO: 1998

ÍNDICE

I – INTRODUÇÃO	3
II – NECESSIDADE DO PROJETO.....	4
III – PARÂMETROS DO PROJETO	11
IV – SÍNTESE DE SOLUÇÕES.....	14
V - MATRIZ DE DECISÃO	20
VI - CONCLUSÃO.....	22

I – Introdução

O presente documento tem por finalidade expor o trabalho feito pelo aluno Marcelo Refinetti, estudante em 1998 do último ano do curso de Engenharia Mecânica – Projeto e Fabricação, ministrado pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, visando a realização de seu Projeto de Formatura.

O Projeto de Formatura está dividido em duas disciplinas complementares: PMC 580 – Projeto de Formatura I e PMC 581 – Projeto de Formatura II, que serão abordadas respectivamente no primeiro e segundo semestres de 1998.

O professor escolhido pelo aluno para orientá-lo durante a execução das duas disciplinas foi o Professor Gilberto F. M. de Souza, pertencente ao Departamento de Projeto e Fabricação da faculdade. Esta escolha foi baseada em experiências anteriores que ambos tiveram juntos, como o "International Design Contest", ou Robocon, no ano de 1995 em Cambrigde, Inglaterra, além do estágio supervisionado onde o Prof. Gilberto também o orientou, em 1997, sobre análise de tensões aleatórias em eixos de caminhões.

Portanto, tendo estes primeiros passos já dados, o seguinte foi a determinação de um tema para o projeto; era vontade do aluno que tal tema fosse bem abrangente em relação a toda Engenharia Mecânica, especialmente a área de tensões e projeto de mecanismos. Com a ajuda do Professor Gilberto, o tema para o projeto foi facilmente acordado por ambas as partes envolvidas: **Projeto de um Equipamento de Ginástica Domiciliar para a Execução de Diversos Tipos de Exercícios.**

II – Necessidade do Projeto

Este é um tema que agradou muito o aluno, pois o mesmo há vários anos já pratica musculação e sempre reclamava de certos aparelhos que eram desconfortáveis e faziam muito mal para determinadas partes do organismo. Além disso, o aluno começou a trabalhar em janeiro de 1998, reduzindo assim drasticamente o tempo disponível e a vontade para ir até a academia de ginástica e fazer seu exercícios diariamente. Portanto o fato do projeto focar-se em um aparelho domiciliar torna-o mais motivador para o aluno.

Assim, a idéia do aluno foi mesclar diversos tipos de aparelhos que o mesmo já usou na academia em um só, para uso domiciliar. Eis alguns exemplos de aparelhos de ginástica de academias que executam apenas um tipo de exercício, atingindo, na maioria dos casos, apenas um único grupo muscular:



Foto 1: Abdômen



Foto 2: Peitoral



Foto 3: Extensão das pernas

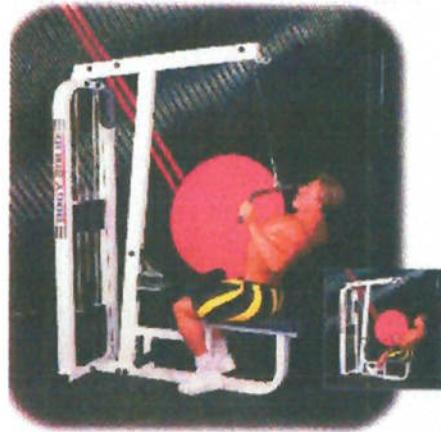


Foto 4: Costas

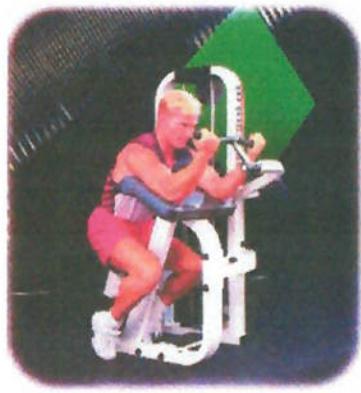


Foto 5: Biceps



Foto 6: Costas

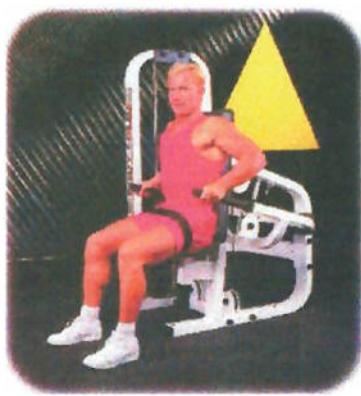


Foto 7: Biceps



Foto 8: Quadríceps



Foto 9: Supino (Peito)



Foto 10: Ombros

Os principais grupos musculares trabalhados durante uma sessão de musculação completa são:

✓ Peitoral

✓ Costas

✓ Ombros

✓ Bíceps

✓ Tríceps

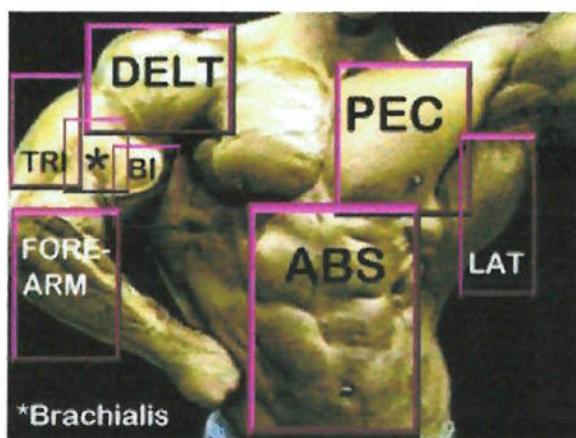
✓ Pernas

✓ Abdômen

✓ Antebraço *

✓ Punhos *

A seguir, estão apresentadas algumas fotos que ilustram a localização destes músculos:



* Partes menos trabalhadas, servindo apenas de suporte para os outros grupos musculares. Porém, pode-se isolá-los e desenvolvê-los separadamente.

Delt: deltóide, que faz parte do ombro

Pec: peitoral

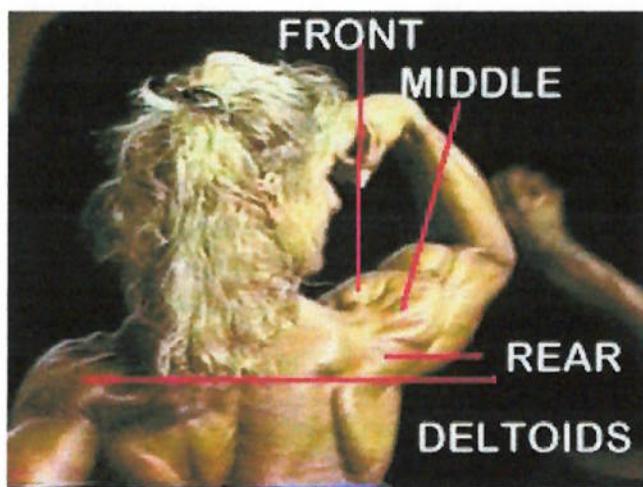
Bi: bíceps

Tri: Tríceps

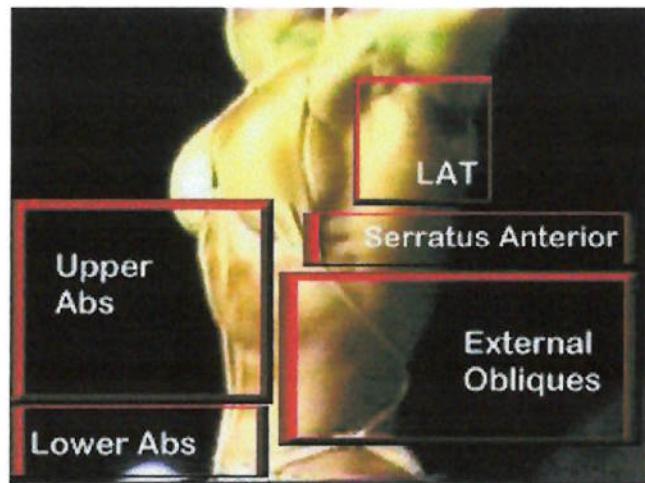
Lat: asas, que faz parte do grupo muscular costas

Fore-arm: antebraço

Abs: abdômen



Na ilustração acima mostra-se os diferentes músculos que são trabalhados quando o grupo muscular de enfoque é ombros.

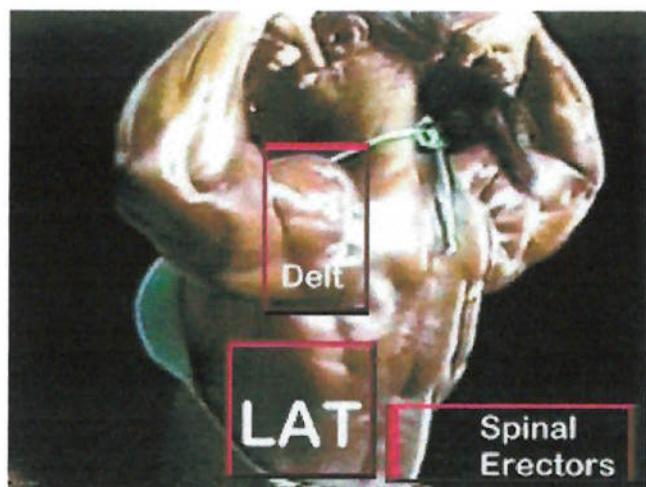


Na ilustração anterior, temos:

Upper Abs: abdômen superior

Lower Abs: abdômen inferior

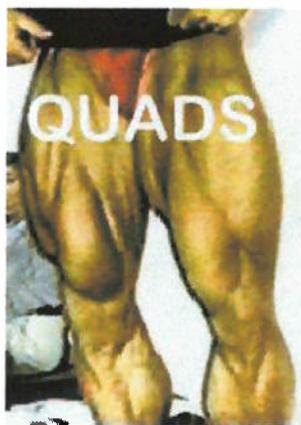
External Obliques: abdômen lateral



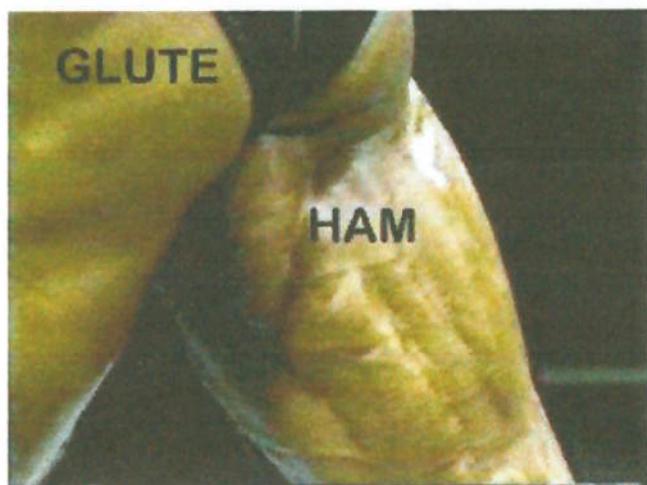
Acima, uma visão geral das costas:

Lat: músculo principal das costas

Spinal Erectors: músculo lombar, grande responsável pela sustentação do corpo na execução de diversos tipos de exercícios



Acima, o músculo das pernas, o quadríceps



Acima uma visão dos glúteos e da parte posterior da coxa.

Em uma academia de ginástica existem aparelhos para cada um dos grupos musculares apresentados acima. Mas na maioria das vezes estes aparelhos apenas trabalham um determinado grupo muscular e além disso sob apenas um único ângulo o músculo é trabalhado.

Pela experiência do aluno com academias de ginástica, o normal é frequentá-la pelo menos três vezes por semana para fazer exercícios anaeróbicos (musculação) e outros dois dias para fazer exercícios aeróbicos (como bicicleta e esteira). Em cada um dos dias de musculação, deve-se trabalhar dois grupos musculares principais, como por exemplo em um dia exercitar peito e bíceps, no outro costas e tríceps, e por fim pernas e ombros. Abdômen, ante braço e punhos podem ser abordados ao término de cada dia de musculação.

Porém, em cada dia de musculação, em média, pode-se chegar a usar mais que dez aparelhos diferentes para cobrir os dois grupos musculares do dia. Este número é explicado da seguinte forma: para cada grupo muscular deve-se fazer quatro tipos de exercícios diferentes, para que se possa atingir o músculo em questão por vários ângulos diferentes. Por curiosidade, para cada aparelho deve-

se fazer três séries de dez repetições cada uma. Assim, somando-se os aparelhos usados para trabalhar os dois grupos musculares principais com aqueles usados para trabalhar o abdômen, o ante braço e o pulso, chegamos com certeza a mais de dez aparelhos por dia. Para um ciclo completo (três dias) pode-se chegar a trinta aparelhos diferentes usados.

Para se entender melhor o conceito de ângulo de trabalho de um músculo, considere os exercícios representados pelas fotos 4 e 6. Ambos os exercícios pertencem ao grupo muscular costas, mas o ângulo de enfoque não coincide. O exercício da foto 4 atinge os músculos em uma direção inclinada, enquanto que o exercício da foto 6 os atinge em uma direção frontal. O grupo muscular é o mesmo, mas os dois exercícios desenvolvem-no de modos diferente.

Assim, para quem não tem tempo sobrando para ir à academias de ginástica, e nem vontade de sair de casa, pegar o carro (as melhores academias de ginástica encontram-se situadas em shoppings centers ou grandes avenidas) e ir até a academia em um dia frio, fazer exercícios por uma hora e meia em média e voltar para casa, o ideal é poder malhar em casa, na hora que se tiver vontade, ganhando duas coisas preciosas hoje em dia: tempo e dinheiro (uma boa academia de ginástica não sai por menos de R\$ 150,00 por mês, ou R\$ 1800,00 por ano).

Assim, duas necessidades básicas do projeto são: abranger o maior número de exercícios possíveis e ter um custo relativamente baixo para o consumidor final, já que as concorrentes direta do produto projetado serão as academias de ginástica.

III – Parâmetros do Projeto

Para a realização de qualquer projeto, é necessário que se definam os parâmetros sobre os quais a busca de possíveis soluções se deve basear. Uma vez definidos estes parâmetros, precisa-se atribuir pesos aos mesmos, pois a relevância de cada um não precisa ser necessariamente igual à dos outros parâmetros.

A seguir é apresentada uma relação dos parâmetros considerados neste projeto e seus respectivos pesos.

- **Estabilidade** (peso 10)

Qualquer equipamento de ginástica, especialmente os domiciliares, devem ser muito estáveis, isto é, devem responder estaticamente aos esforços dos quais irão sofrer enquanto o usuário estiver praticando qualquer tipo de exercício. O equipamento não deve “balançar” ou vibrar violentamente, fato este que é comum em certos aparelhos de academias de ginástica. Portanto nada mais justo do que atribuir peso 10 a este parâmetro.

- **Ergonomia** (peso 10)

É neste parâmetro que se considera o conforto para o usuário quando este realiza qualquer tipo de exercício e a facilidade para o manuseio do equipamento. Fica claro que a utilização de um equipamento de ginástica deve se desenvolver de forma fácil, sem maiores complicações para o usuário, pois normalmente as peças que formam o equipamento são relativamente pesadas. Além do mais, o usuário deve, para qualquer tipo de exercício oferecido pelo equipamento, fazê-lo confortavelmente, numa posição para o usuário que não sobrecarregue, por exemplo, sua coluna ou outras partes do corpo que têm o papel de suporte para o exercício.

- **Diversidade de Exercícios** (peso 9)

Como o próprio nome nos diz, a quantidade de exercícios que um equipamento proporciona é fundamental quando um indivíduo for escolher seu equipamento de ginástica. Além disso, qualquer anúncio na televisão, jornais ou revistas de equipamentos de ginástica aborda a variedade de exercícios oferecida pelo tal equipamento. Não adiantaria nada compra um aparelho que só trabalhe as costas e ombros, ou pernas e peitoral. O aparelho deve abranger todos os grupos musculares de forma confortável e segura.

- Segurança para o Usuário (peso 9)

Um aparelho inseguro, é um aparelho caro. Isto porque os gastos com processos de clientes acidentados iria afundar todos os lucros com a venda do produto, além de aparecer a médio prazo uma decaída elevada nas vendas do mesmo. O aparelho escolhido deve ser seguro, isto é, não deve apresentar partes cortantes, elementos mau dimensionados que interagem diretamente com o usuário e diversos outros aspectos análogos.

- Fragilidade (peso 8)

Qualquer sistema deve levar em conta a possibilidade de surgirem diversos tipos de eventos que podem prejudicar seu funcionamento ou danificá-lo irreparavelmente. No caso de um equipamento de ginástica, estes eventos são frequentes e variados. Portanto a estrutura do equipamento deve ser forte o suficiente para protegê-lo contra qualquer tipo de mau uso ou incidente.

- Preço (peso 8)

Não é preciso comentar como este parâmetro tem uma importância alta, ainda mais se levarmos em conta que existem neste ramo inúmeros concorrentes com produtos diversificados no mercado e com preços bastante competitivos. Portanto para se alcançar um preço baixo ao consumidor final é preciso um baixo custo de produção do mesmo.

- Tamanho (peso 8)

Como será projetado um aparelho domiciliar, e levando-se em conta que hoje em dia a população é numerosa e os apartamentos e casas tendem a ter cada vez mais uma área útil menor, o aparelho deve ocupar muito pouco espaço.

- Manutenção (peso 7)

Para o equipamento poder continuar funcionando correta e seguramente, será preciso periodicamente realizar sua manutenção, como verificar ajustes, acoplamentos, junções, folgas e também lubrificar suas partes onde haja atrito considerável. O usuário deve ter facilidade para realizar tal tarefa.

- Aparência (peso 7)

Um equipamento bom, mas muito feio não vende. O design de qualquer produto influí diretamente sobre o consumidor indeciso na hora da compra. O equipamento de ginástica precisa ter um design moderno e atrativo.

- Montagem (peso 6)

A montagem do equipamento não tem um peso relativamente alto pois o cliente, como quando compra outros produtos, pode ter a opção de solicitar que o responsável pelo produto o monte na respectiva residência de destino do produto. Assim, o cliente ficaria isento de qualquer erro de montagem do equipamento. Mas, é claro, é preferível que o equipamento seja fácil de ser montado e que o próprio cliente o faça de forma tranquila.

- Peso (peso 5)

Não é necessário que o equipamento seja leve. Uma opção é que o equipamento, uma vez já instalado no seu devido lugar, não saia de lá a não ser por motivos como mudança de residência, desistência por parte do cliente ou fim de sua vida útil. Além do mais equipamentos portáteis geralmente estão limitados a um pequeno número de exercícios, o que não é objetivo deste trabalho.

IV – Síntese de Soluções

Após a definição dos parâmetros do projeto, o próximo passo é a definição das soluções para o problema. Em outras palavras, deve-se criar soluções que melhor representem o porquê do projeto. As soluções escolhidas foram:

SOLUÇÃO A

A solução A está esquematizada a seguir:

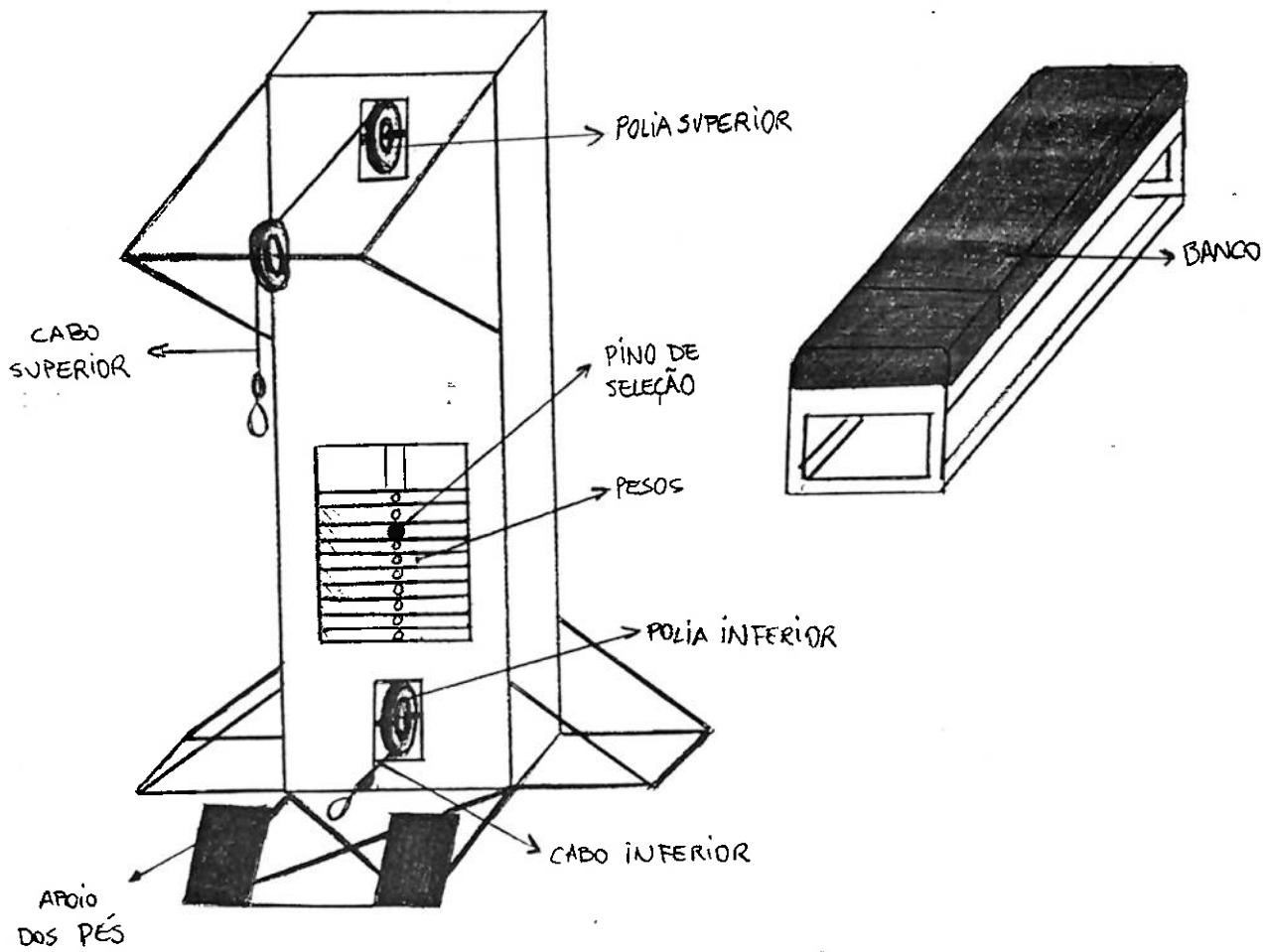
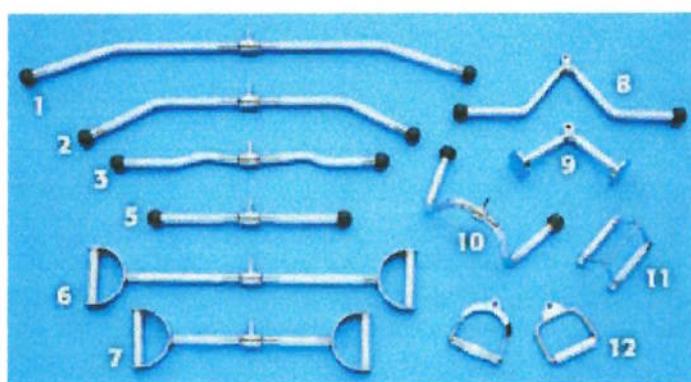


Fig.1: Esquema da Solução A

Descrição:

Esta primeira solução é um aparelho básico composto de uma torre, onde se encontram as cargas e as polias inferior e superior por onde correm seus respectivos cabos, um banco com inclinação regulável e os acessórios que caracterizam os tipos de exercícios a serem realizados.

Alguns acessórios (“pegadores”) estão ilustrados na foto abaixo:



Assim, para cada tipo de exercício, o usuário deve selecionar um acessório, prendê-lo à polia correspondente, posicionar-se corretamente e iniciar a execução do exercício.

Nota-se que, apesar da simplicidade do aparelho, ele possibilita uma enorme gama de exercícios a serem realizados, pois basicamente todos os exercícios de musculação se resumem ao esforço para se levantar um peso através de cabos que saem parte superior ou inferior de um aparelho; o que muda é a posição do corpo da pessoa em relação ao aparelho.

Portanto, os tipos de exercícios possíveis de serem realizados são para:

- Costas - os exercícios representados pelas fotos 4 e 6 são possíveis de serem realizados. Para o exercício da foto 4, usa-se o banco e para o exercício da foto 6, senta-se no chão e faz-se o movimento análogo. Os pegadores usados são o 1 ou 2 para o para o exercício da foto 4 e o 2, 6,

7, 10 ou 11 para o exercício da foto 6. Note-se que com essa alternância nos pegadores, pode-se realizar 7 exercícios diferentes, atingindo os músculos sob diferentes ângulos.

- Tríceps - usando-se os pegadores 5 e 9 pode-se fazer exercícios para o tríceps, sendo que os mesmos devem ficar acoplados na polia superior.
- Peito - o exercício representado pela foto 2 pode ser feito da seguinte maneira: usando-se o pegador 12, deita-se no banco, realizando a seguir o mesmo movimento, porém utilizando-se um braço de cada vez.
- Bíceps - o exercício da foto 2 pode ser substituído pela rosca direta, ou seja, o usuário deve ficar de pé ao invés de sentado, usando-se o pegador 3 ou 5, fazendo-se a mesma amplitude do movimento da foto. Além disso, usando-se o pegador 12 pode-se fazer, sentando no banco e com as costas um pouco inclinadas, a “rosca concentrada”, onde se apóia o braço na perna e movimente-se apenas o antebraço.
- Antebraço - realiza-se o mesmo movimento que o exercício para bíceps, porém ao invés de pegar no pegador 5 em baixo, segura-o por cima.
- Ombros - pode-se trabalhar o trapézio (vide esquemas de grupos musculares), utilizando-se o pegador 5 pela polia inferior, porém com as mãos mais próximas do que na pegada para bíceps, puxando o pegador em direção ao queixo. Também pode-se trabalhar os deltóides, usando-se o pegador 12 acoplado na polia inferior, ficando o usuário de lado para o aparelho e realizando um arco de 90º de baixo para cima, com o braço semi-esticado.
- Pernas - não é possível realizar nenhum exercício para as pernas.

Portanto, a priori pode-se contar 16 possíveis exercícios de serem realizados.

O mecanismo que aciona as polias pode ser esquematizado a seguir (apenas um esboço):

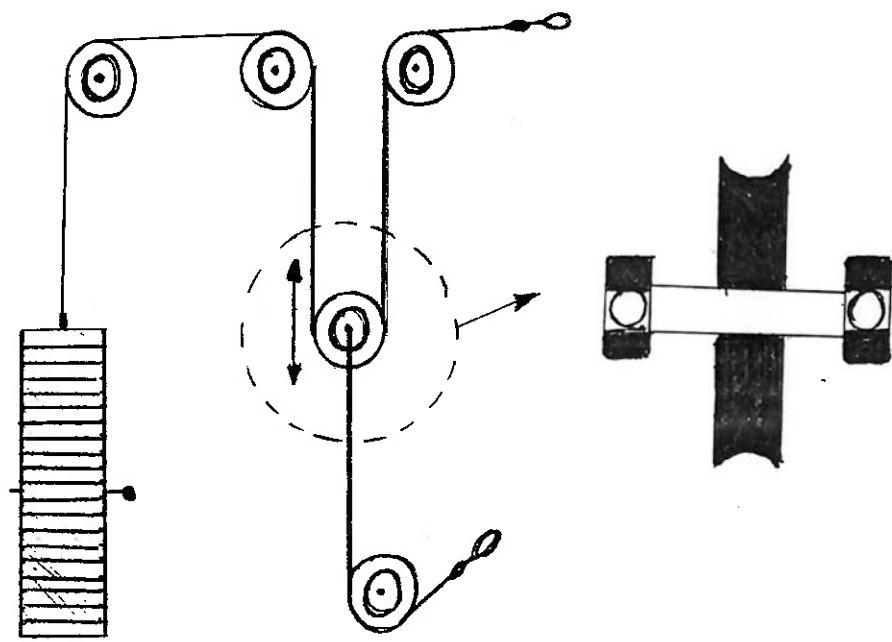


Figura 2: Esboço do Mecanismo de Polias

A solução B, a seguir, procura incluir os exercícios para pernas, e mais exercícios para as costas, com mecanismos muito específicos para tais grupos musculares.

SOLUÇÃO B

A solução B representa um nível de complexidade acima da solução A, visto que incorpora mais exercícios específicos ao aparelho.

Pode-se visualizar a solução B através da figura que segue:

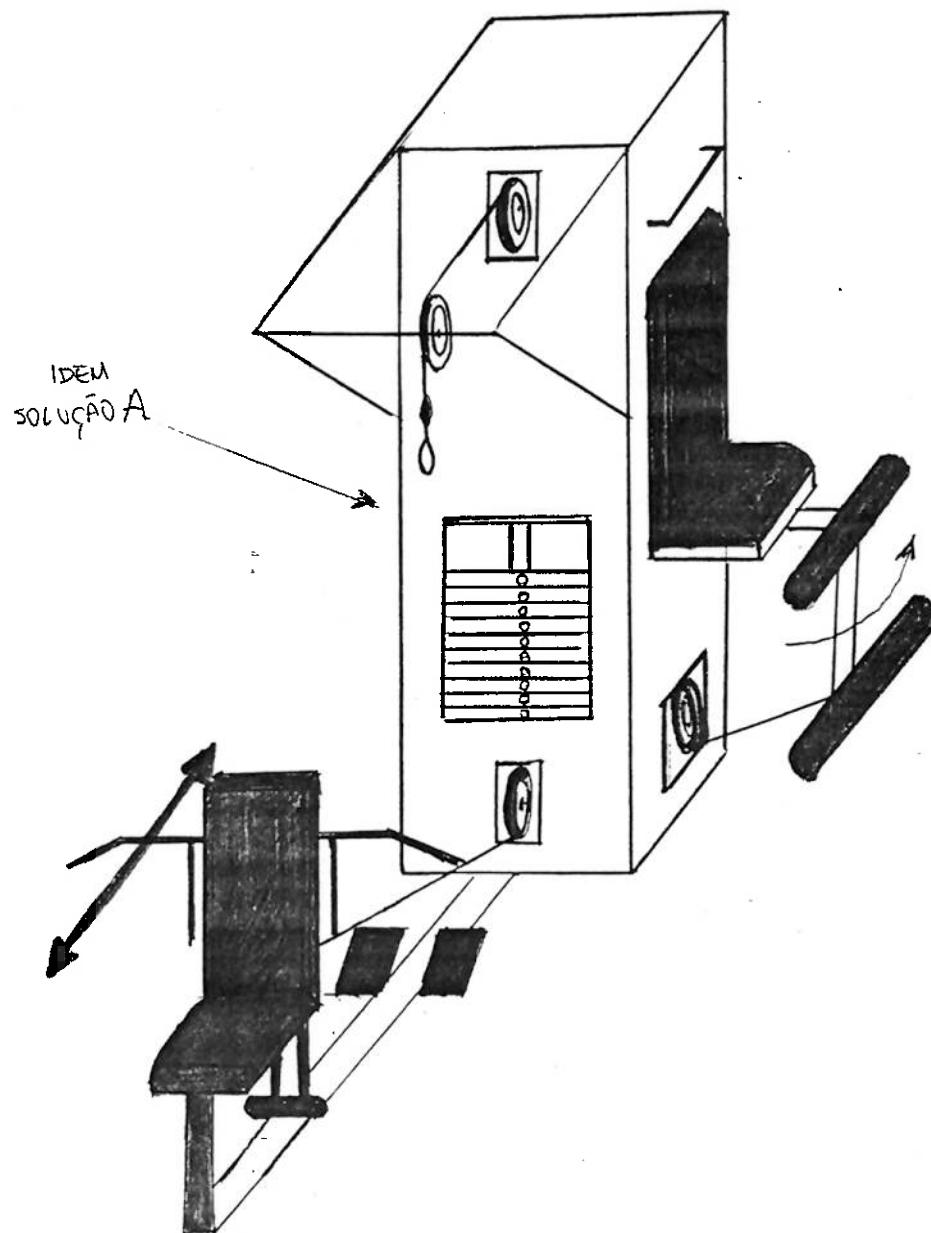


Figura 3: Esquema da Solução B

Descrição:

Além da solução A presente em um dos lados da torre, a solução B tem como principal diferencial a incorporação de um exercício específico para costas e dois para pernas. Há três mecanismos exclusivos para estes exercícios, análogos aos representados pelas fotos 6 (no caso de costas), 3 e 8 (no caso de pernas). O exercício representado pela foto 3 seria feito de pé, ao contrário do que mostra a foto, onde o usuário está deitado; o efeito é o mesmo.

Deve-se notar que para se incluir um exercício para pernas o aumento de espaço requerido aumenta consideravelmente.

O mecanismo de acionamento do aparelho seria muito mais complexo que aquele apresentado pela solução A, pois um mesmo conjunto de pesos deveria acionar os seis cabos. Ou teríamos 3 mecanismos idênticos ao da solução A no interior da torre, o que aumentaria consideravelmente seu custo.

Assim, deve-se realizar uma matriz de decisão levando-se em conta os parâmetros do projeto estabelecidos anteriormente, com seus respectivos pesos, para se chegar à solução mais adequada aos propósitos deste projeto. Note-se que o fato da solução B ser mais completa em termos de variedade de exercícios não implica que ela seja melhor. A variedade de exercícios é apenas um dos parâmetros do projeto e justamente a matriz de decisão irá avaliar as soluções levando-se em conta todos os parâmetros.

V - Matriz de Decisão

Baseado nos parâmetros do projeto discutidos anteriormente, usou-se uma matriz de decisão para selecionar uma das duas soluções propostas. A solução que apresentar a maior média ponderada será a escolhida para se dar continuidade ao projeto.

Portanto, a matriz de decisão é:

Parâmetro	Peso	Solução A	Solução B
Estabilidade	10	9	8
Ergonomia	10	7	8
Diversidade de Exercícios	9	7	10
Segurança para o Usuário	9	8	7
Fragilidade	8	7	7
Preço	8	9	7
Tamanho	8	9	7
Manutenção	7	8	7
Aparência	7	8	8
Montagem	6	9	7
Peso	5	8	7
Média Ponderada		8.1	7.6

A seguir está algumas explicações referentes a algumas notas dadas a cada uma das soluções:

- Estabilidade - ambas as soluções são bastante estáveis, com uma maior estabilidade dada à solução A pois ela é mais compacta e somente possui esforços em um plano, enquanto que a solução B tem esforços em dois planos.
- Ergonomia - é fácil de se perceber que a realização de exercícios na solução B é mais confortável, pois o corpo do usuário fica mais bem posicionado, principalmente na realização dos exercícios para costas.

- Diversidade de exercícios: o fato da solução A não dar a possibilidade de realização de exercícios para pernas reduziu muito sua nota para este parâmetro.
- Tamanho: como a solução B possui mecanismos específicos para a realização de exercícios para pernas e outro para costas, sua área de amplitude de movimentos é muito superior à área da solução A, daí a baixa nota da solução B neste parâmetro.

Portanto, a solução escolhida foi a A, pois obteve nota ponderada relativa de 8,1 enquanto que a solução B obteve uma nota inferior, de 7,6.

Com isso, um aparelho que realiza uma menor gama de exercícios, porém apresenta mecanismos que podem ser adaptados para diferentes tipos de exercícios foi considerado melhor que um aparelho com elementos mais específicos de exercícios, quando se trata de um aparelho domiciliar.

VI - Conclusão

Com a solução A escolhida, finaliza-se o estudo de viabilidade e também a disciplina PMC-580. O próximo passo será a realização no segundo semestre de 1998 do projeto básico da solução A (disciplina PMC-581), contendo desenhos de conjunto e o relatório final do projeto inteiro.

Pode-se concluir que a solução A escolhida possibilitará uma maior flexibilidade ao usuário, uma vez que ocupará menos espaço e possibilitará acoplar qualquer tipo de pegador no aparelho.

Portanto, o próximo passo será projetar o mecanismo apropriado para o aparelho e dimensioná-lo.

PMC 581 - PROJETO DE FORMATURA II

**PROJETO DE UM EQUIPAMENTO DE GINÁSTICA
DOMICILIAR PARA EXECUÇÃO DE DIVERSOS TIPOS DE
EXERCÍCIOS**

ALUNO: MARCELO REFINETTI

NUSP: 1626959

CURSO: ENGENHARIA MECÂNICA – PROJETO E FABRICAÇÃO

PROF. ORIENTADOR: PROF. GILBERTO F. M. DE SOUZA

ANO: 1998

ÍNDICE

I - INTRODUÇÃO.....	25
II - DIMENSIONAMENTO DOS COMPONENTES	26
A) Pesos.....	26
B) “Levantador” de Pesos	29
C) Pino de Seleção de Pesos.....	40
D) Cabos de Aço	44
E) Polias	47
F) Cálculo do diâmetro do eixo móvel.....	49
G) Seleção do rolamento	55
III - VERIFICAÇÃO À ESTABILIDADE	56
IV - ESTRUTURA EXTERNA	64
V - PROCEDIMENTO DE MONTAGEM.....	66
VI - ESTIMATIVA DE CUSTOS.....	68
VII - MODELO DO MECANISMO DE POLIAS E DOBRAMENTO.....	72
VIII - CONCLUSÕES.....	78
IX - DESENHOS DE FABRICAÇÃO	80

I - Introdução

Após a realização no primeiro semestre de 1998 da disciplina PMC 580 - Projeto de Formatura I, o passo seguinte foi dar continuidade ao processo de projetar um equipamento de ginástica domiciliar com os requisitos e parâmetros já estabelecidos.

Assim, já escolhida a solução que mais se adaptou às condições do problema proposto, o desafio a seguir é projetar tal equipamento, isto é, dimensionar todos os componentes, selecionar seus respectivos materiais e verificar a resistência e confiabilidade real do equipamento.

Assim, os principais itens a serem estudados são:

- Pesos
- Barra de Levantamento dos pesos
- Pino de levantamento
- Cabos
- Polias
- Rolamentos
- Eixo dos rolamentos (deslocamento vertical)
- Estrutura externa
- Barras de sustentação
- Outros

Após o dimensionamento, que inclui a seleção do material e verificação à resistência, teremos a fase de elaboração dos desenhos de fabricação dos componentes.

Como anexos, tem-se informações relevantes de referências utilizadas neste trabalho , como tabelas, gráficos, etc.

II - Dimensionamento dos Componentes

A) Pesos¹

O conjunto de pesos que fazem parte do equipamento é composto de 13 pesos de aproximadamente 5,0 Kg cada um, totalizando aproximadamente 65 Kg. Este dimensionamento da massa dos pesos está adequado ao uso doméstico, pois a variação entre a massa de cada peso não é tão alta, o que possibilita um aumento de esforço mais gradativo para os usuários. Além disso, não se justificaria uma massa total maior do que o estabelecido, pois se trata de um equipamento domiciliar e não um aparelho de academia. Porém, para efeito de cálculos de esforços nos componentes, se utilizará uma massa total de 100 kg, pois deve-se estar a favor da segurança acima de tudo neste projeto.

Assim, cada peso terá as seguintes dimensões:

$$L = 377 \text{ mm}$$

$$P = 190 \text{ mm}$$

$$H = 10 \text{ mm}$$

As figuras II.1 e II.2 ilustram o aspecto dos pesos, bidimensionalmente, e a figura II.3 nos dá uma visão tridimensional deles.

¹ Apesar de vulgarmente chamado de “peso”, é uma massa, que deve ser “levantada” pela pessoa que executa os exercícios.

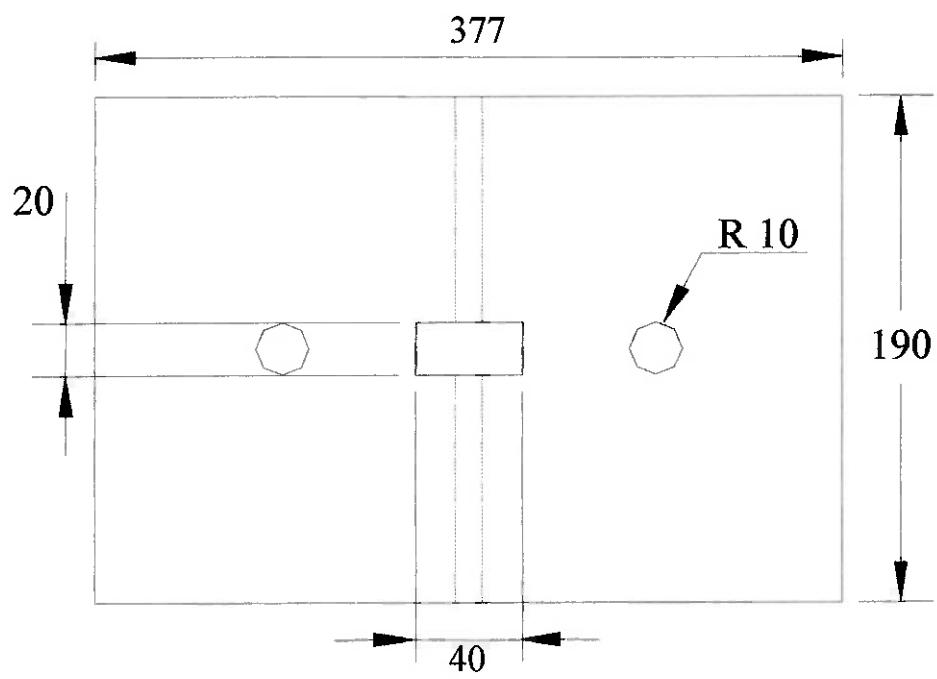


Figura II.1 - Vista superior de um peso

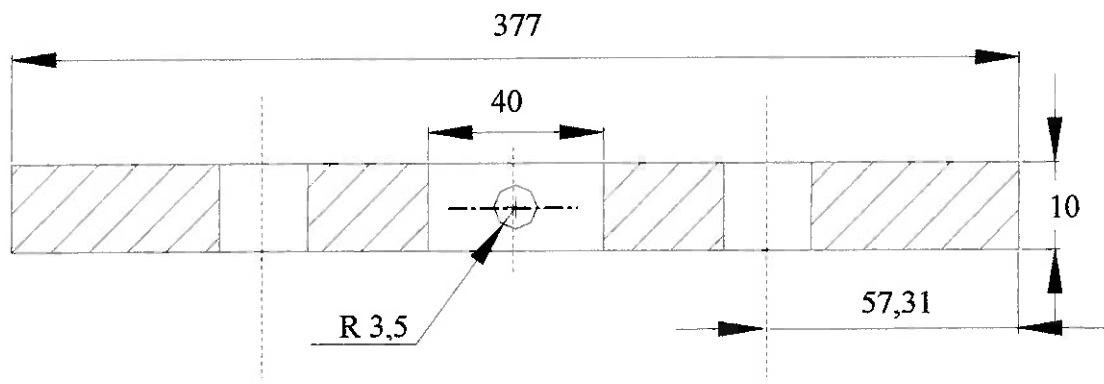


Figura II.2 - Vista de um peso em corte

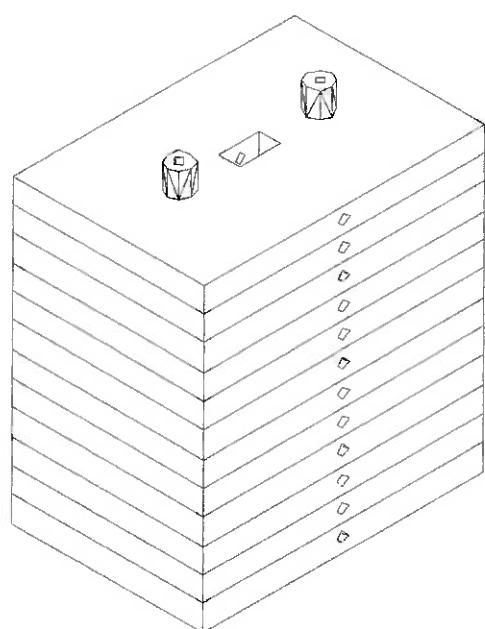
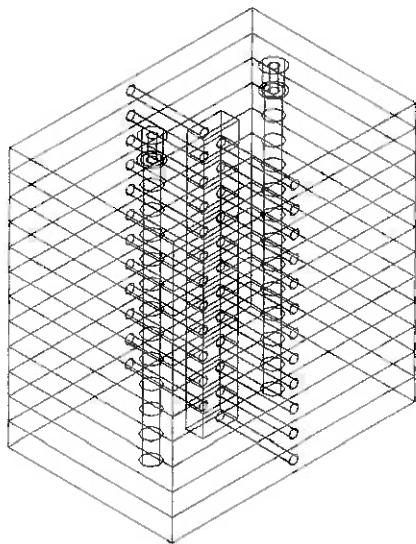


Figura II.3 - Vistas 3D conjunto pesos

Portanto, para cada peso temos:

$$V = 377 * 190 * 10 - 2 * \pi * 10^2 * 10 - 20 * 40 * 10 - \pi * 3,5^2 * 190 + \pi * 3,5^2 * 10$$

$$V = 694.444,44 \text{ mm}^3$$

O material escolhido para os pesos é ferro fundido, pois é de fácil conformação e tem uma resistência ao impacto relativamente alta.

Para o FoFo, tem-se, [1]

$$S_u = 345 \text{ MPa} \text{ (tensão de ruptura)}$$

$$S_y = 224 \text{ MPa} \text{ (tensão de escoamento)}$$

$$E = 103 \text{ GPa} \text{ (módulo de elasticidade)}$$

$$\rho = 7,2 \text{ Mg/m}^3 = 7,2 * 10^{-6} \text{ Kg/mm}^3$$

Portanto, a massa de cada peso será:

$$M = \rho * V = 7,2 * 10^{-6} * 694.444,44$$

$$M \cong 5,0 \text{ Kg}$$

Portanto, a massa total será:

$$M_{\text{total}} = 13 * 5,0$$

$$M_{\text{total}} \cong 65 \text{ Kg}$$

$$M_{\text{segurança}} = 100 \text{ kg}$$

B) “Levantador” de Pesos

O “levantador” de pesos é o elemento que será puxado pelo cabo quando da intervenção do usuário. Assim, quando o usuário puxa o pegador, o mesmo puxa o cabo preso ao prendedor, que por sua vez faz o “levantador” de pesos se movimentar para cima. Como o “levantador” de pesos está, através de um pino, preso a um certo número de pesos, estes últimos se erguem.

O “levantador” de pesos pode ser visualizado pela figura II.4:

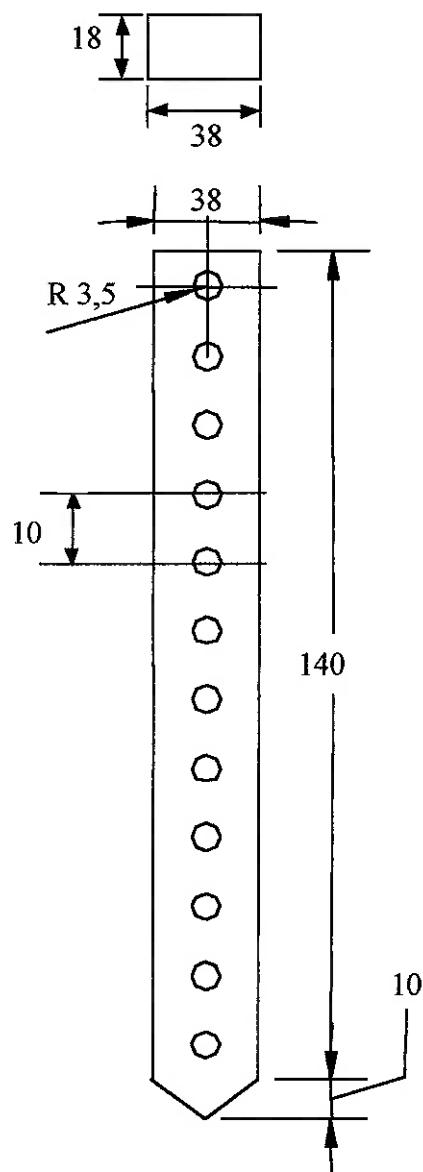


Figura II.4 - Levantador de Pesos

A figura II.5 ilustra o levantador de uma maneira tridimensional.

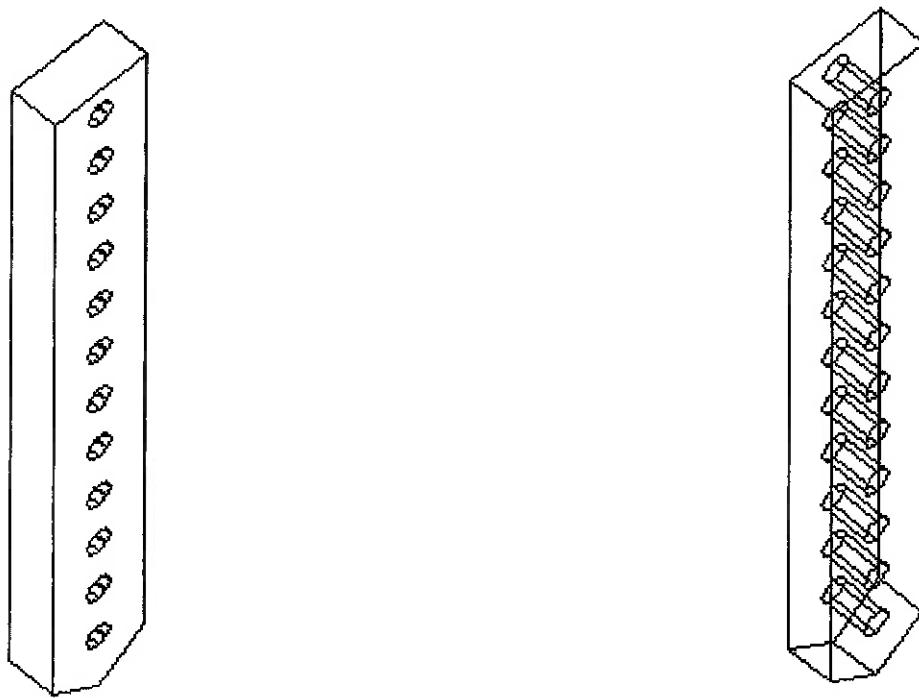


Figura II.5 - Visão 3D do “levantador” de pesos

A solicitação que atua no “levantador” de pesos está esquematizada a pela figura II.6 a seguir:

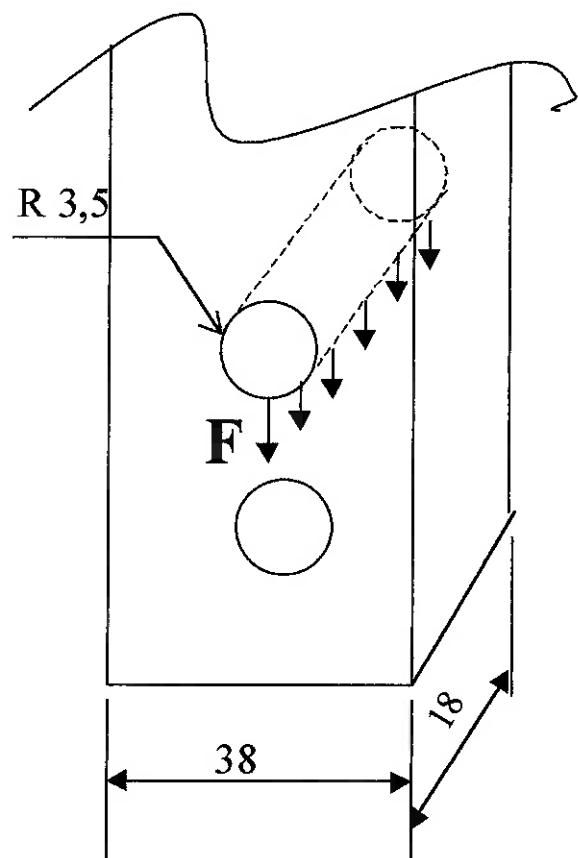


Figura II.6 - Esquema de solicitação no furo do “levantador” de pesos

De maneira simplificada, o modelo de solicitação pode ser visto como a figura II.7:

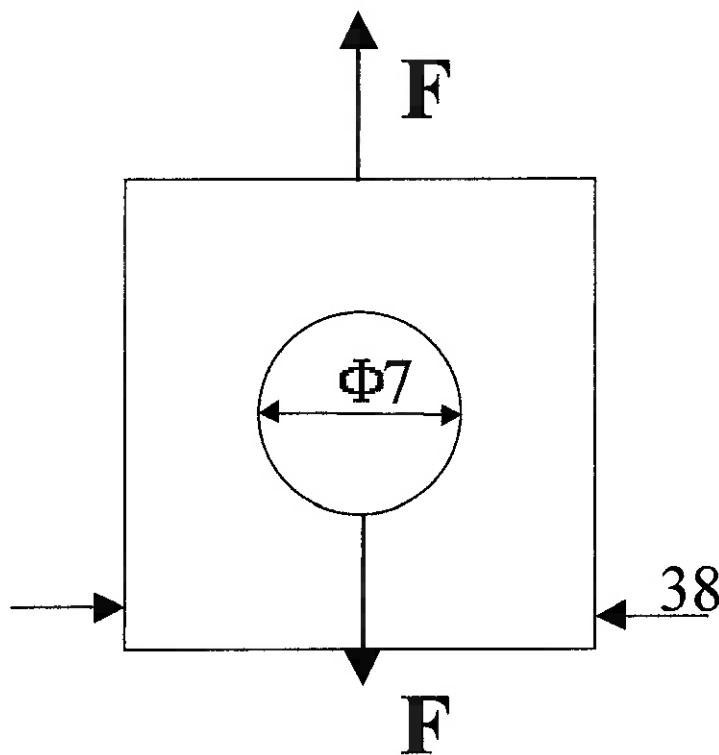


Figura II.7 - Modelo de solicitação no “levantador” de pesos

Como $M_{segurança}$ (massa de segurança) = 100kg $\Rightarrow F_{máx} = 100 \cdot 9,8 = 980$ N

Neste caso de solicitação, existe uma concentração de tensões. Assim, a tensão real agindo na região do furo é igual à tensão nominal multiplicada por um fator de concentração de tensão:

$$\sigma_{máx} = K_t \cdot \sigma_{nom} \quad \text{onde } K_t \text{ é a constante de concentração de tensão}$$

O gráfico II.1, tirado do Juvinal, determina o valor da constante de concentração de tensões, K_t :

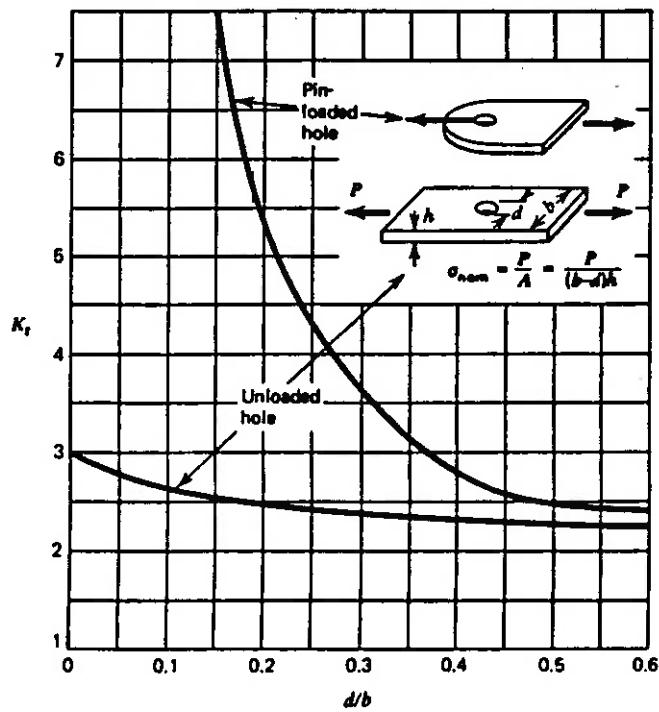


Gráfico II.1 - Determinação de K_t

Assim:

$$b = 38$$

$$d = 7$$

$$\frac{d}{b} = 0,18$$

Com esta relação estabelecida, acha-se K_t correspondente ao eixo das ordenadas, tendo como base a curva superior (carga no buraco do pino)

$$K_t \approx 5,8$$

Pela relação de σ_{nom} dada, acha-se tal valor ($h=18$):

$$\sigma_{nom} = \frac{F}{A} = \frac{F}{(b-d)*h} = \frac{980}{(38-7)*18*10^{-6}} \approx 1,8 MPa$$

Portanto:

$$\sigma_{\text{máx}} = 5,8 * \sigma_{\text{nom}} = 10,44 \text{ MPa}$$

Igualando-se $\sigma_{\text{máx}}$ a S_y , obtém-se o material que atende às exigências.

No caso, escolheu-se Alumínio pois tem uma densidade bem baixa, e assim a massa do “levantador” de pesos irá interferir bem pouco na massa realmente a ser levantada pelo usuário.

Material: Al 6063-0

- $S_u = 90 \text{ MPa}$
- $S_y = 48 \text{ MPa}$
- $\rho = 2,8 \text{ Mg/m}^3$

Outro componente do “levantador” que deve ser dimensionado é o pino de aço que irá suportar a carga a ser levantada (vide anexo para mais detalhes da peça). O esquema de solicitação deste pino ficaria do seguinte modo (figura II.8):

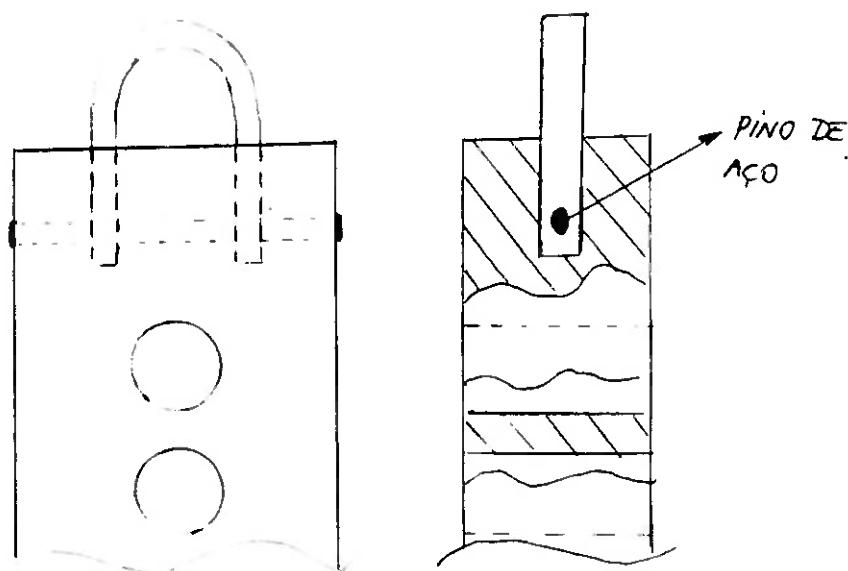


Figura II.8 - Pino do levantador de pesos

Portanto, temos em cada um dos dois pontos, a seguinte situação:

$$M_{seg} = 50 \text{ kg} (100 \text{ kg} / 2)$$

Diâmetro do pino = 2 mm

$$F_{seg} = 50 * 9,8 = 490 \text{ N}$$

S_{sy} = "shear yield strength": tensão de escoamento para o cisalhamento

S_{us} = "ultimate shear strength": tensão de ruptura para cisalhamento

No nosso caso, trata-se de dupla carga de cisalhamento, pois existem dois planos de cisalhamento para cada extremo.

Portanto:

$$\tau = \frac{F}{2 * A}$$

$$\tau_{máx} = S_{sy} = \frac{F_{máx}}{2 * A} = \frac{490N}{2 * \pi * (1 * 10^{-3})^2}$$

$$S_{sy} = 78 \text{ MPa}$$

Para materiais dúteis, temos:

$$S_{sy} = 0,58 * S_y$$

Com isso:

$$S_y \approx 134,5 \text{ MPa}$$

Podemos a seguir escolher um material com estas características:

Material (pino) = Aço 1020. onde:

$$S_u = 455 \text{ MPa}$$

$$S_y = 290 \text{ MPa}$$

O coeficiente de segurança deste pino é:

$$S.F. = \frac{290 \text{ MPa}}{134,5 \text{ MPa}} = 2,15$$

O conjunto pesos e “levantador” de pesos ficaria como as figuras II.9, II.10, II.11, II.12 e II.13:

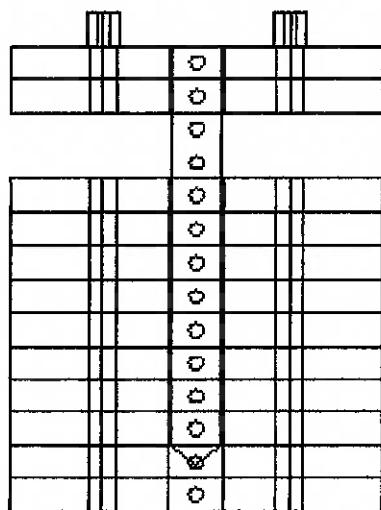


Figura II.9

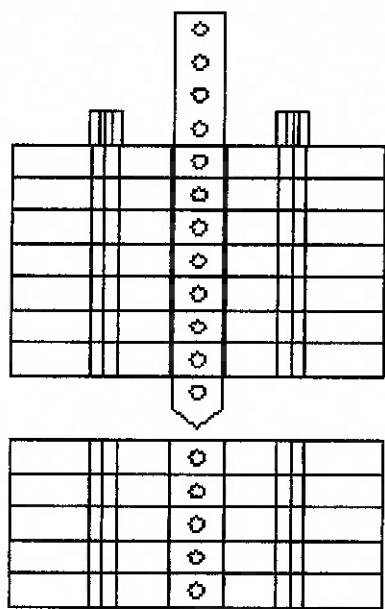


Figura II.10

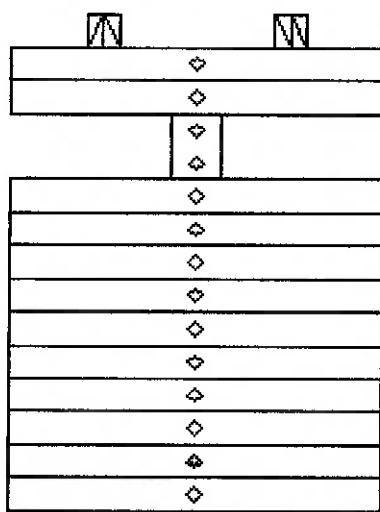


Figura II.11

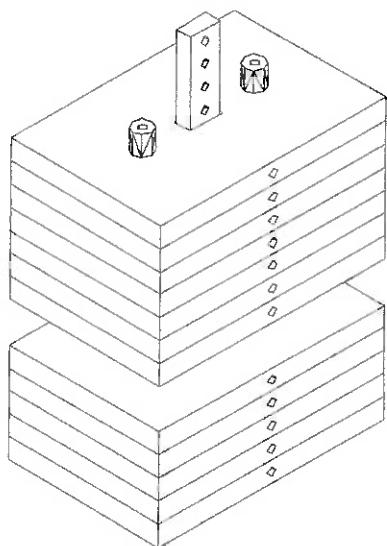


Figura II.12

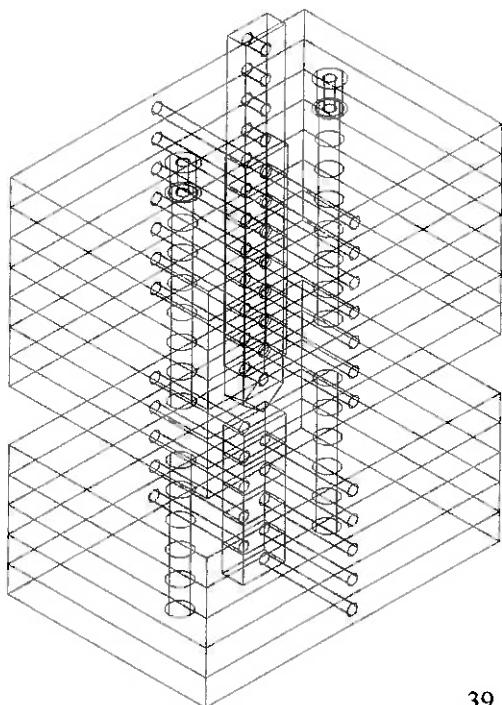


Figura II.13

C) Pino de Seleção de Pesos

Existem basicamente três tipos de pinos usados em equipamentos de musculação para a seleção da quantidade de pesos a serem levantados, conforme ilustra as figuras II.14, II.15 e II.16:



Figura II.14

O primeiro tipo, contendo uma esfera em uma das extremidades, é o mais largamente utilizado, sendo que o final de curso do pino é determinado pelo contato da esfera com os pesos.



Figura II.15

No segundo tipo de pino, coloca-se o pino normalmente no furo correspondente do peso; para que o pino saia, é necessário apertar o botão da extremidade. Este pino é o mais seguro, pois em hipótese alguma o pino sairá dos pesos durante a prática dos exercícios.



Figura II.16

Este terceiro e último tipo de pino é também bastante utilizado nas academias de ginástica, e é o mais barato de todos, pois é basicamente uma barra dobrada de metal. Por este motivo e levando-se em consideração que é muito improvável que o pino venha a sair fora dos pesos durante a execução do exercício, devido ao enorme cisalhamento que ocorre, é este tipo de pino que será usado para este projeto.

Portanto, precisa-se projetar o pino e definir seu material.

Esquematicamente, as dimensões do pino são mostradas pela figura II.17:

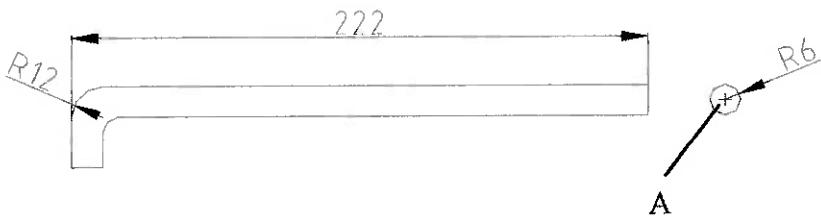


Figura II.17

$$\tau_{máx} = S_{sy} = \frac{F_{máx}}{2 * A} = \frac{980N}{2 * \pi * (3 * 10^{-3})^2}$$

$$S_{sy} = 17,33 \text{ MPa}$$

Para materiais dúteis, temos:

$$S_{sy} = 0,58 * S_y$$

Com isso:

$$S_y \approx 30 \text{ MPa}$$

Podemos a seguir escolher um material com estas características:

Material (pino) = Aço 1020. onde:

$$S_u = 455 \text{ MPa}$$

$$S_y = 290 \text{ MPa}$$

O coeficiente de segurança deste pino é:

$$S.F. = \frac{290 \text{ MPa}}{30 \text{ MPa}} = 9,6$$

D) Cabos de Aço

Para proteger os cabos de aço e as polias do atrito que ocorre entre eles, há a necessidade de envolver os cabos com uma capa protetora de borracha.

Convencionalmente, os cabos de aço são fabricados em diversas qualidades, classificada pela sua resistência em seis categorias, conforme a tabela II.1:

O esquema de forças que age no corpo do pino pode ser visualizado pela figura II.18:

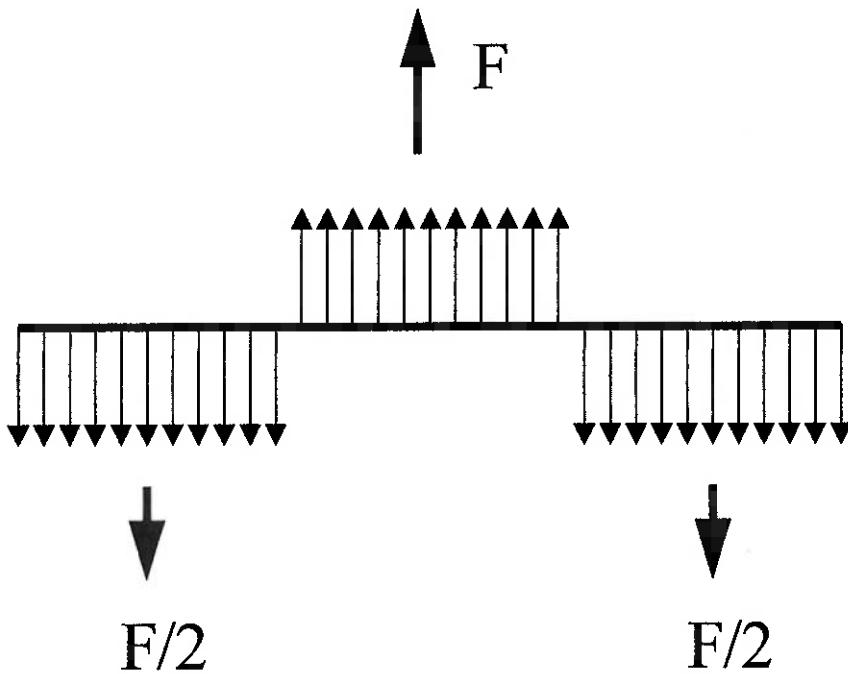


Figura II.18

Assim, temos:

$$M_{\max} (\text{massa máxima}) = 100\text{kg} \Rightarrow F_{\max} = 100 * 9,8 = 980 \text{ N}$$

S_{sy} = "shear yield strength": tensão de escoamento para o cisalhamento

S_{us} = "ultimate shear strength": tensão de ruptura para cisalhamento

No nosso caso, trata-se de dupla carga de cisalhamento, pois existem dois planos de cisalhamento.

Portanto:

$$\tau = \frac{F}{2 * A}$$

<i>Resistência à Tração</i>	<i>Denominação Americana Correspondente</i>
200 Kg/mm ²	"Extra Improved Plow-steel"
180 Kg/mm ²	"Improved Plow-Steel"
160 Kg/mm ²	"Plow Steel"
140 Kg/mm ²	"Mild Plow Steel"
120 Kg/mm ²	"Traction Steel"
60 Kg/mm ²	"Iron"

Tabela II.1

A estrutura de um cabo de aço pode ser visualizada a seguir (figura II.19):



Figura II.19

A carga em um cabo de uso geral, especialmente quando ele é movimentado, não deve, via de regra, exceder a um quinto da carga de ruptura do mesmo:

$$S.F_{min} = 1/5 * S_{rup_cabo}$$

A flexibilidade de um cabo está em proporção inversa ao diâmetro dos arames exteriores do mesmo; por isso, escolhe-se uma composição com arames finos quando prevalece o esforço à fadiga de dobramento.

Portanto, segundo um catálogo da CIMAF [2], empresa produtora de cabos de aços, temos os seguintes diâmetros para o cabo de aço polido da classificação 6x19 (ver anexo):

Cabo de Aço Polido da Classificação 6x19			
Diâmetro em mm	Diâmetro em polegadas	Peso aproximado em kg/m	Carga de ruptura mínima efetiva em kgf
			"Improved Plow Steel" 180-200 kgf/mm ²
3,2	1/8"	0,043	660
4,8	3/16"	0,096	1.500
6,4	1/4"	0,171	2.660
8	5/16"	0,267	4.150

Tabela II.2 - Diâmetros para os cabos de aço

O cabo 6x19 foi escolhido porque ele é recomendado quando há flexão do mesmo.

O cabo que será usado no equipamento será o de 4,8 mm de diâmetro, pois além de ser o mais usado na maioria dos equipamentos de ginástica, apresenta uma carga de ruptura mínima efetiva de aproximadamente 1.500 kgf. Teremos assim um fator de segurança em torno de 20, enquanto que o fabricante de cabos CIMAF indica um fator de segurança de 5 (vide anexos).

E) Polias

Após se escolher o diâmetro do cabo, pode-se então projetar as 5 polias que farão parte do equipamento.

Segundo a Norma DIN 15062 [3], ter-se a seguinte tabela (II.3) para se projetar as polias (ver no anexo material completo):

Coroa da Polia					Quubo - valores teóricos			
r	h	b	D1	Diam Cabo	d1	d2(máximo)	Furo d3	
		FoFo	Ago			FoFo	Ago	
25	10	18	18	63	35,50	25	12	
32	12,5	22	22	80	56,5	32	14	
4	15	28	28	100	6,5 a 8,0	40	20	
						25	12 a 20	

Tabela II.3 - Dimensões Polia - Norma DIN

Como o cabo tem um diâmetro de 4,8 mm, podemos considerar para efeito de cálculo da polia um d_{cab} de 5,0 mm (a favor da segurança).

Com isso, nos posicionamos na segunda linha da tabela.

As dimensões encontram-se ilustradas na figura II.20.

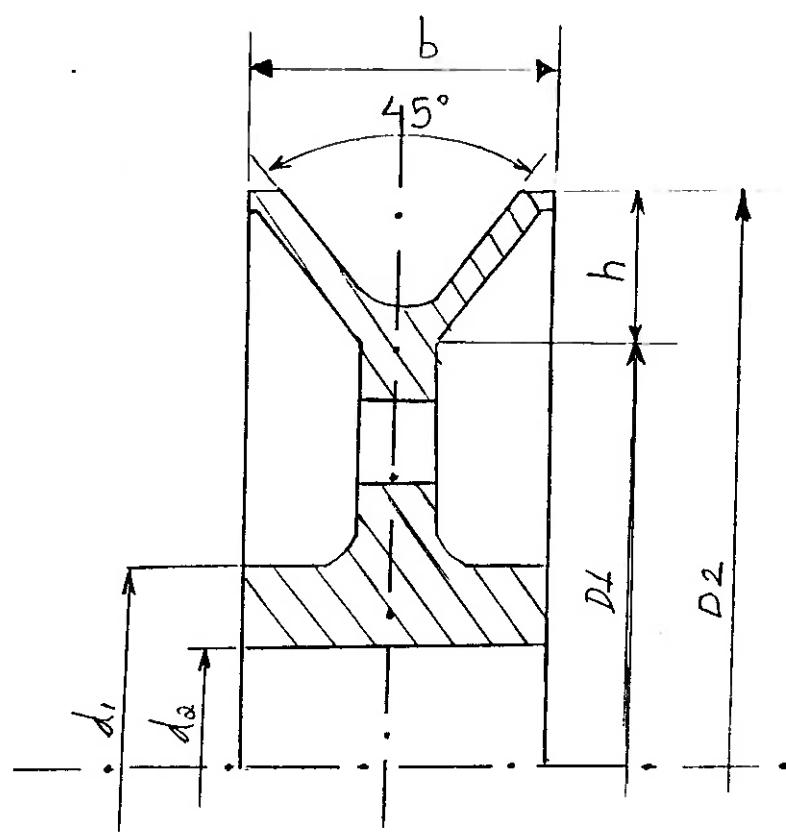


Figura II.20 - Principais dimensões das polias

As dimensões propostas seriam:

$$h = 12,5 \text{ mm}$$

$$b = 22 \text{ mm}$$

$$D_1 = 80 \text{ mm}$$

$$d_1 = 32 \text{ mm}$$

$$d_2 = 14 \text{ mm (máximo)}$$

$$d_3 = \text{até } 12 \text{ mm}$$

Antes de confirmarmos estas dimensões, devemos calcular o diâmetro mínimo do eixo.

F) Cálculo do diâmetro do eixo móvel

Os eixos das polias terão o mesmo diâmetro e o mesmo comprimento, pois as polias são as mesmas. Porém apenas a polia que se movimenta verticalmente terá um eixo especial, com 2 furos nas pontas, por onde passam os superlaços de aço.

A figura II.21 ilustra em visão 3D como é o mecanismo de movimentação deste eixo. Mais detalhes podem ser verificados no desenho de fabricação, em anexo.

Segundo a fabricante de cabos de aço CIMAF, há uma variação das tensões nos laços segundo os ângulos de inclinação (ver anexo - cabos).

O ângulo que está presente no eixo móvel pode ser calculado da seguinte forma:

$$L = 395 - 2*20 = 355 \text{ mm}$$

$$L/2 = 177,5 \text{ mm}$$

Portanto, temos:

$$\operatorname{tg}\theta = 110/177,5$$

$$\theta = 31,79^\circ \cong 30^\circ$$

Segundo a CIMAF, a tensão no laço T para uma carga P, com um ângulo $\theta = 30^\circ$, é:

$$T = P * E$$

O valor de E, segundo a tabela em anexo é de 2,00

Como $2 * P = 1960$, então $P = 980$ N

$$\therefore T = 980 * 2 = 1960 \text{ N}$$

O valor de H é determinado pelo coeficiente K.

$$K = 0,29$$

$$\therefore H = L * K = 103 \text{ mm}$$

H tem que ser maior que D_2 (polia) \Rightarrow

$$H > D_1 + 2h \Rightarrow H > 105 \text{ mm}$$

$\therefore H = 110 \text{ mm}$ (OK, variação de apenas 6,7% do valor estabelecido pelo fabricante)

O diagrama da figura II.22 ilustra as forças agindo no eixo.

Temos as seguintes dimensões:

$a = 20 \text{ mm}$

$L = 400 \text{ mm}$

$L/2 = 200 \text{ mm}$

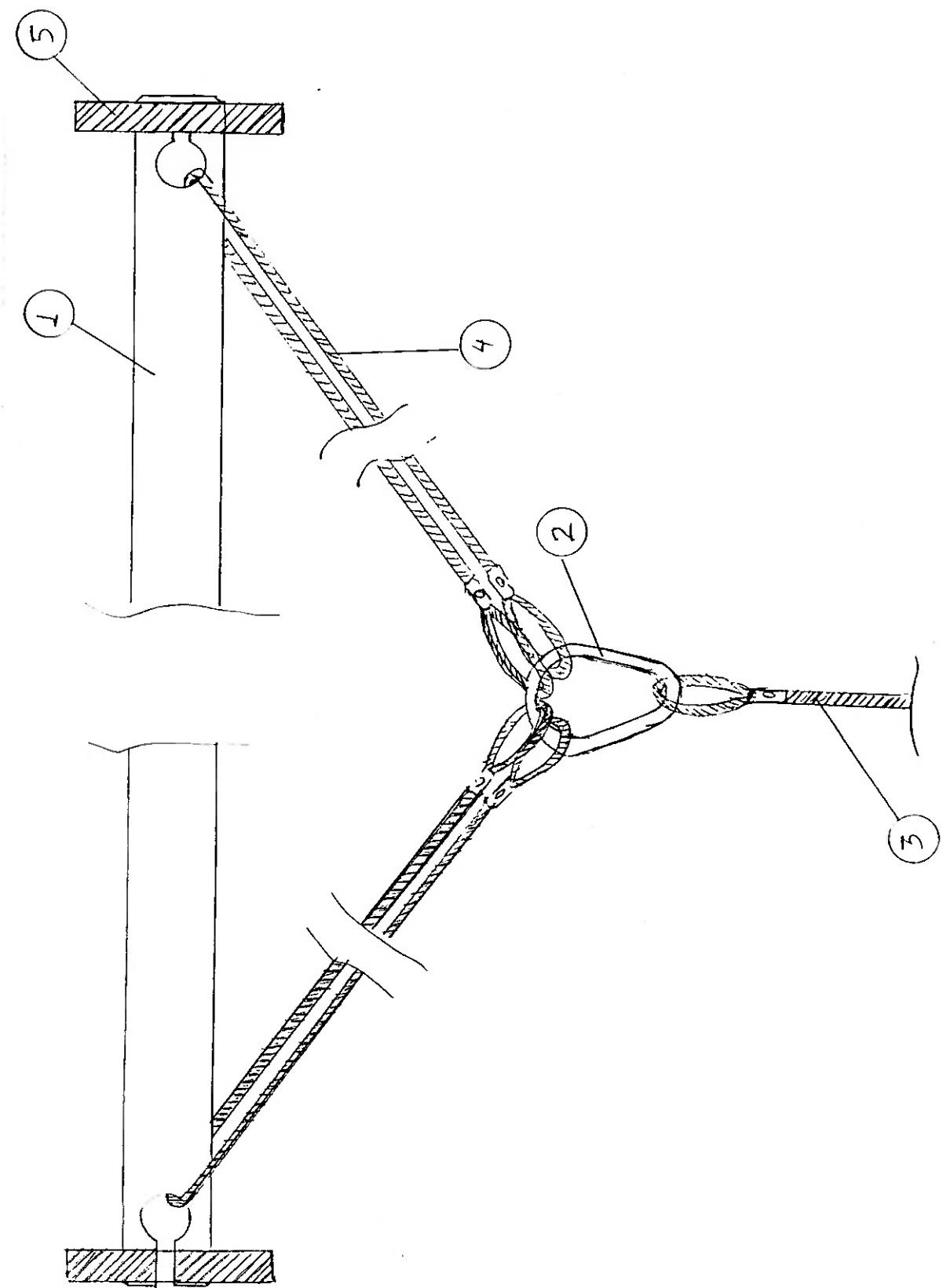


Figura II.21 - Esquema de montagem do eixo móvel

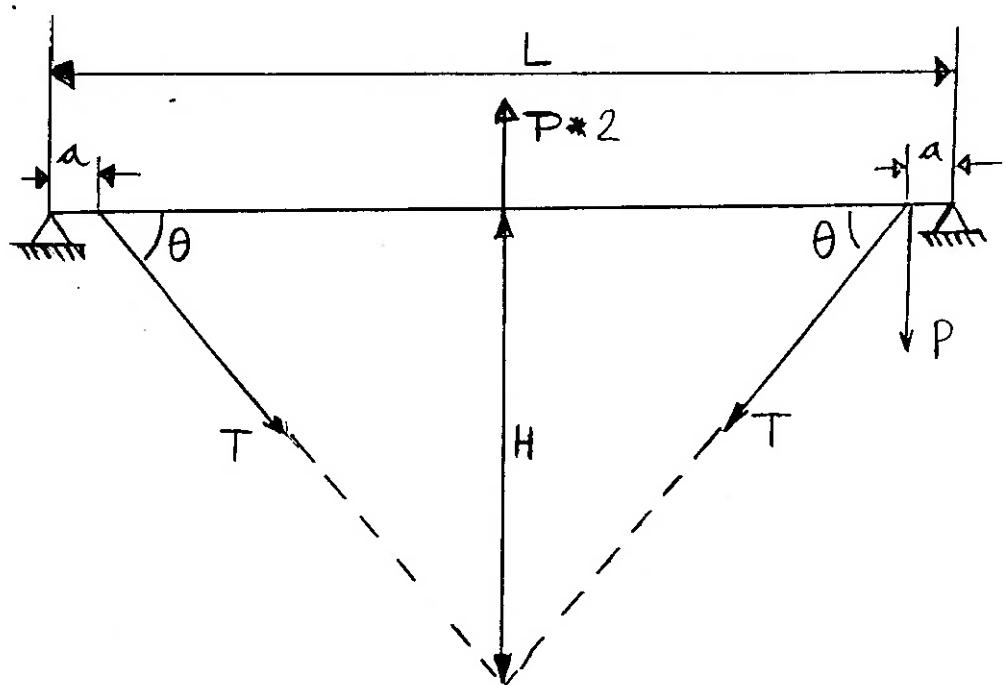


Figura II.22 - Esforços no eixo

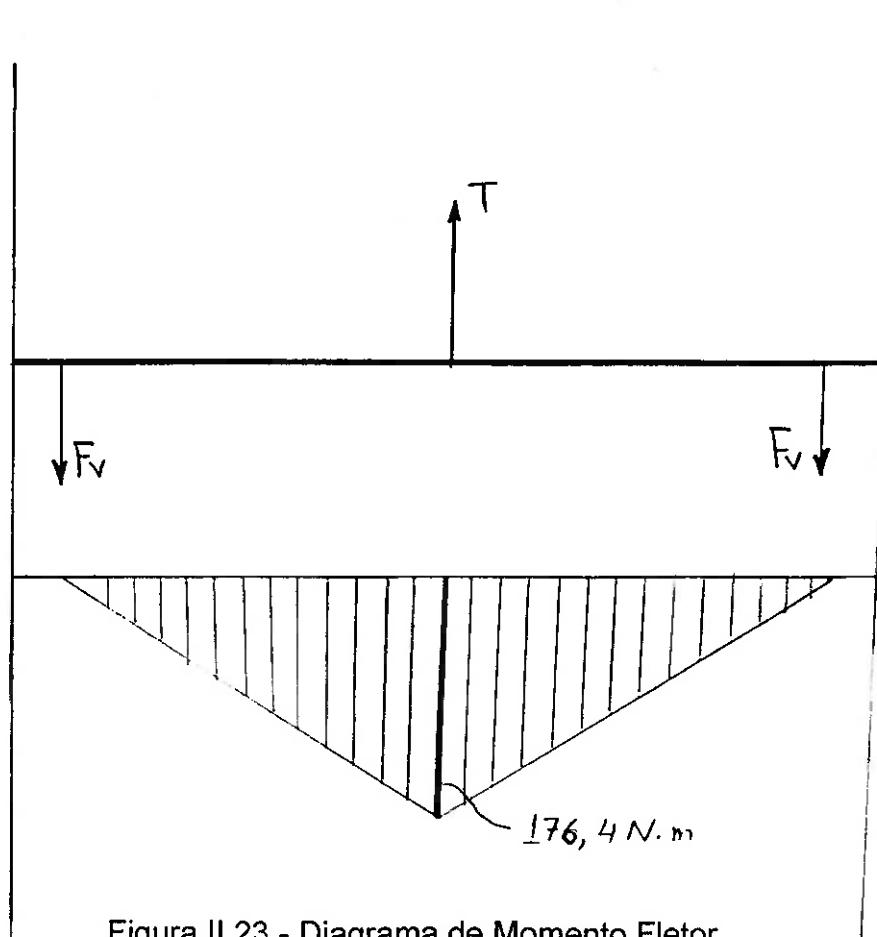


Figura II.23 - Diagrama de Momento Fletor

Assim, temos:

$$F_v = T \cdot \sin\theta$$

$$F_v = 980 \text{ N}$$

Portanto segundo o diagrama de momento fletor (figura II.23), temos um momento máximo de 176,4 N.m ocorrendo no meio do eixo.

O material do mesmo é aço 1045, cuja tensão de escoamento é 450 MPa.

Assim, temos:

$$\sigma = \frac{M \cdot c}{I} = \frac{M * (d/2)}{\frac{\pi * d^4}{64}}$$

$$\therefore d = \sqrt[3]{\frac{M}{0,1 * \sigma_{esc}}}$$

$$\therefore d = 15,7 \text{ mm}$$

Com isso, vemos que o valor do diâmetro interno do rolamento deve ser de 16 mm no mínimo².

² Não será feita uma verificação à fadiga pois as tensões dinâmicas atuantes sobre o eixo são inferiores ao limite de escoamento do material, que é de 600 MPa.

G) Seleção do rolamento

Segundo catálogo geral do fabricante de rolamentos SKF [3], também em anexo, temos para os rolamentos rígidos de esferas a seguinte tabela:

d (mm)	D (mm)	B (mm)	C (N)	C _o (N)	Massa (kg)	Designação
15	24	5	1560	800	0,0074	61802
17	26	5	1680	930	0,0082	61803

Tabela II.4 - Seleção do rolamento

Como d tem que ser no mínimo 15,7 mm, o ideal seria um rolamento com d = 16mm; como não há tal rolamento, temos que escolher um rolamento com d = 17mm.

Portanto, as dimensões dos rolamentos serão:

$$d = 17 \text{ mm}$$

$$D = 26 \text{ mm}$$

$$B = 5 \text{ mm}$$

$$\text{Massa} = 0,0082 \text{ kg}$$

$$\text{Designação} = 61803$$

Com isso, chega-se à conclusão que os eixos terão 17 mm de diâmetro, e que as polias deverão ter um d₂ de 26 mm.

Portanto, como a norma DIN sugere que d₂ seja no máximo 14 mm para a polia, deve-se efetuar algumas alterações na polia, reforçando sua estrutura para poder se impor um d₂ de 26 mm.

Para isso, devemos manter o valor de D₁ em 80 mm, que é o valor indicado para movimentação do cabo, e aumentar o valor de d₁ para 40 mm.

III - Verificação à Estabilidade

Como a estabilidade e a segurança são dois dos parâmetros com maior peso, devemos realizar um estudo detalhado deles.

Iremos verificar o comportamento do equipamento em relação ao tombamento.

A situação crítica, porém que nunca ou muito dificilmente ocorreria, seria quando o usuário utilizasse a polia superior, e a direção do esforço seria paralela ao solo, pois a componente horizontal do esforço seria máxima, não existindo nenhuma componente vertical, que ajudaria a impedir o tombamento. É claro que a carga a ser utilizada para os próximos cálculos será a carga de segurança, isto é, 100 kg.

As figuras contidas nas próximas 3 páginas procuram ilustrar e detalhar o mecanismo de movimentação dos pesos, cabos e polias, mostrando as distâncias mais importantes e pesos dos componentes.

A figura III.1 nos dá uma visão geral do equipamento; a figura III.2 nos mostra as principais distâncias e finalmente a figura III.3 ilustra os pesos das polias e das chapas (tem-se também os esforços que estão agindo nos componentes).

O peso das polias pode ser calculado assim:

$$V_{polia} = \frac{\pi(105 \cdot 10^{-3})^2}{4} \cdot 22 \cdot 10^{-3}$$

$$\therefore V_{polia} = 1,9 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$F_0 F_0 \Rightarrow \rho = 7,2 \text{ Mg/m}^3$$

$$\therefore massa_{polia} = 1,37 \text{ kg}$$

$$\therefore Peso_{polias} = 13,44 \text{ N}$$

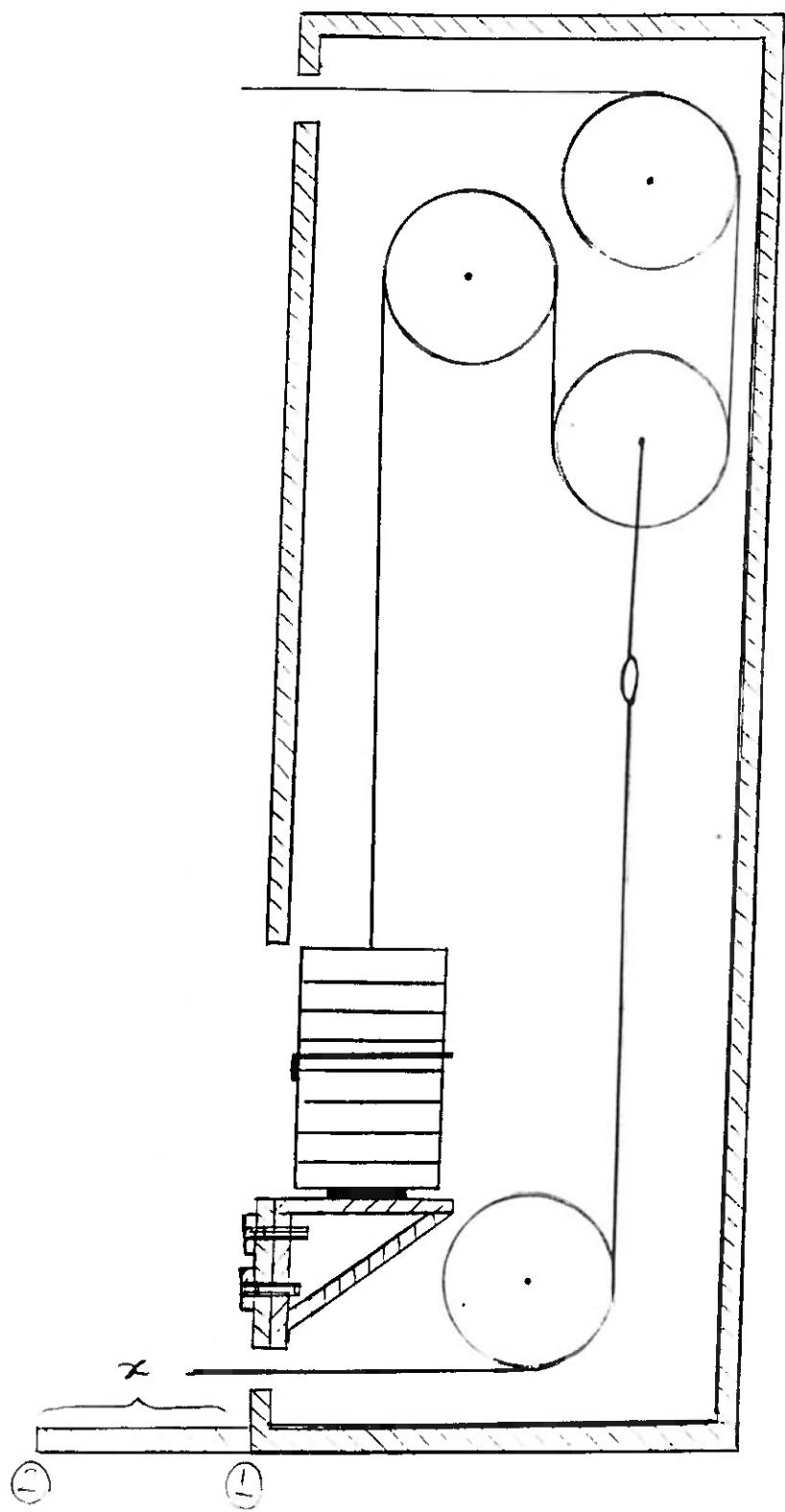


Figura III.1

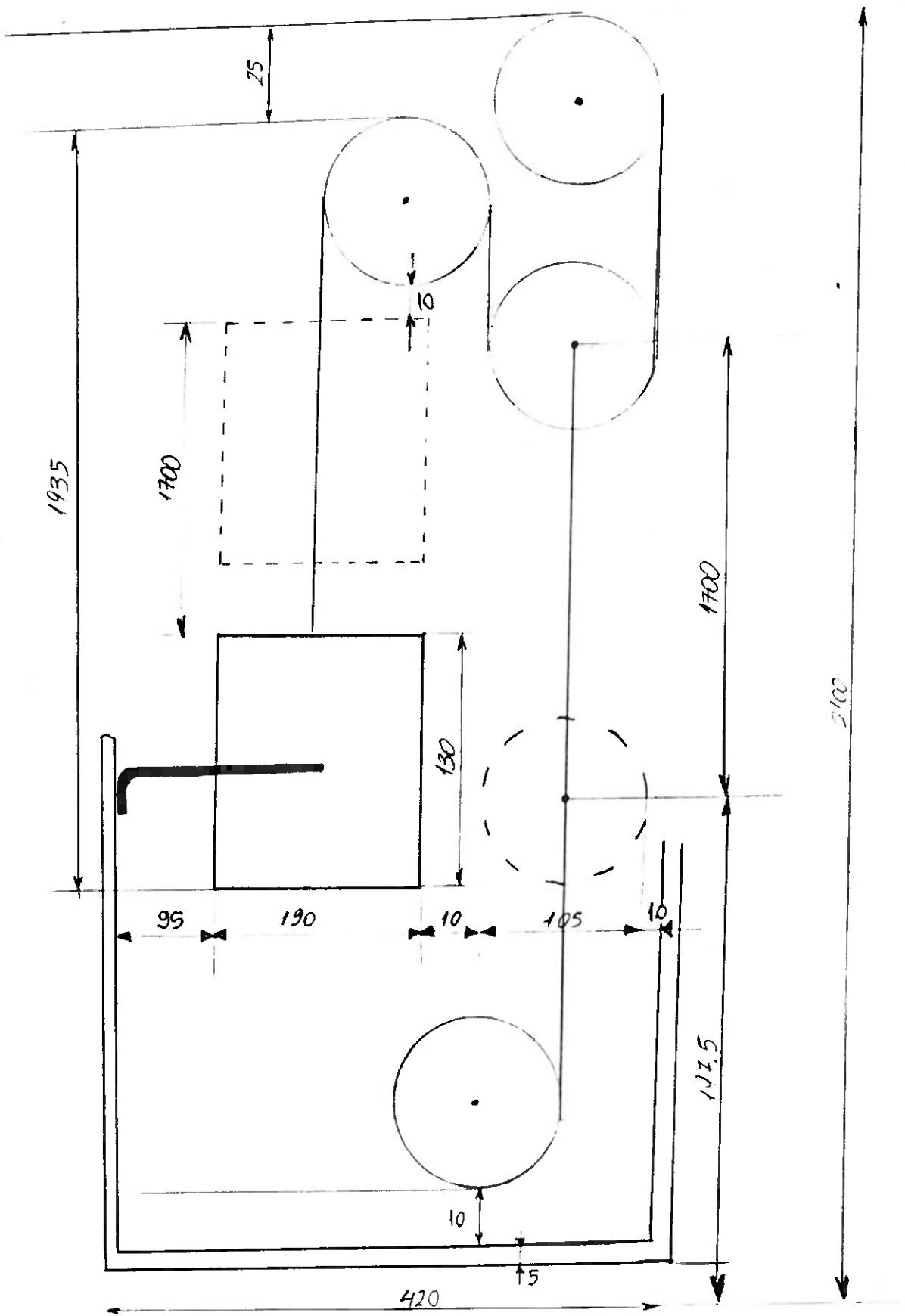


Figura III.2

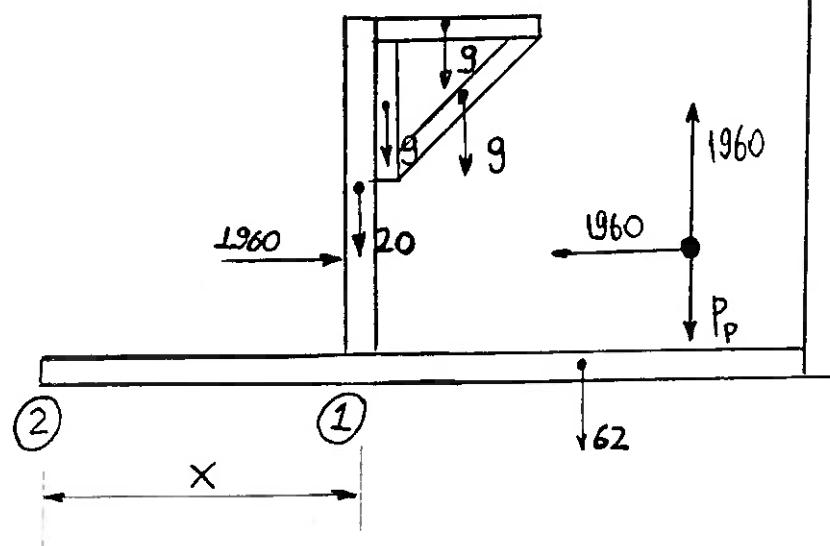
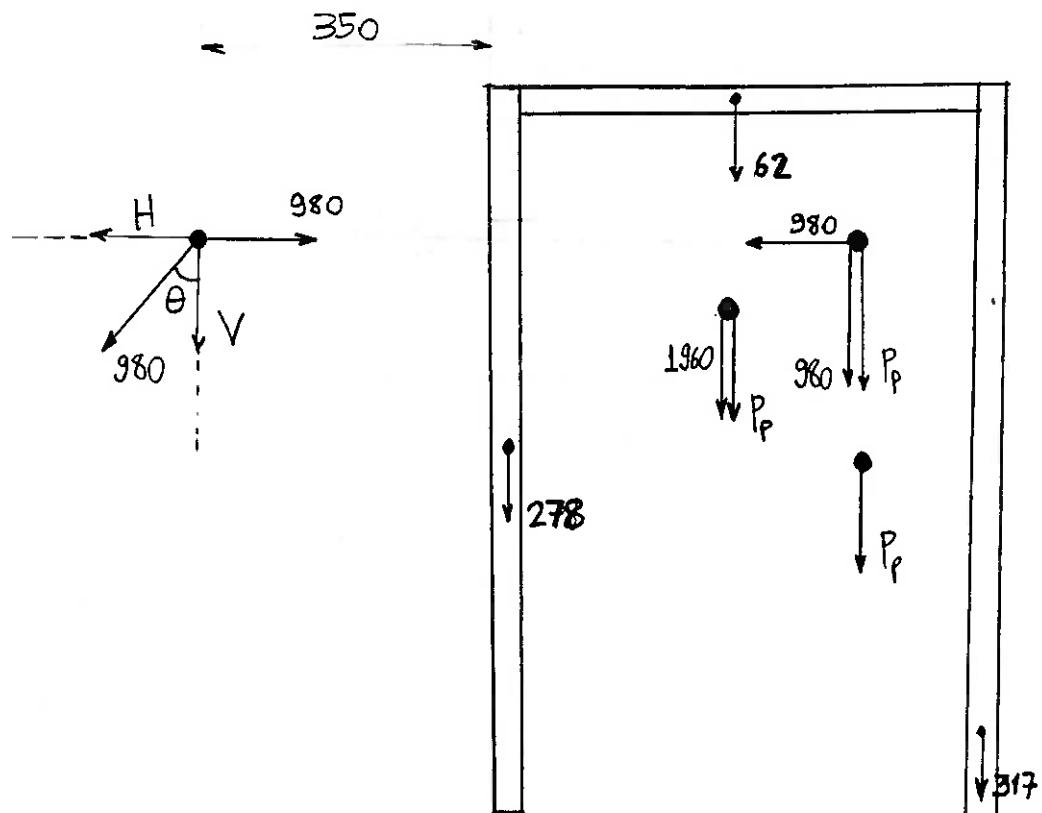


Figura III.3

Calculemos agora o momento em relação ao ponto 1:

$$M_r = -1695 \text{ N.m}$$

Portanto, para essa situação, teríamos tombamento.

Para o ponto 2, com $x=300$ mm:

$$M_r = -1.158 \text{ N.m}$$

Também haveria tombamento, se necessitarmos um eventual lastro de 169 kg.

Para $x = 350$ mm, chegaríamos à conclusão de que o ângulo máximo que poderia ser efetuado durante os exercícios seria de apenas 30° . Portanto, é preciso serem feitas algumas modificações neste projeto.

Antes, devemos achar a distância x tal que o momento resultante seja zero, não havendo, portanto, tombamento e a necessidade de um lastro. Para isso, foi usado um programa feito no Microsoft Excel, que nos forneceu o valor para esta distância:

$$X_{estab} = 950 \text{ mm}$$

Isto nos dá uma idéia interessante: como um dos exercícios para costas mais praticados requer que o usuário sente no chão a uma distância de aproximadamente 1 m do aparelho, então poderíamos prolongar apenas a base do equipamento e assim resolveríamos o problema de estabilidade do nosso aparelho.

A figura III.4 ilustra esta idéia.

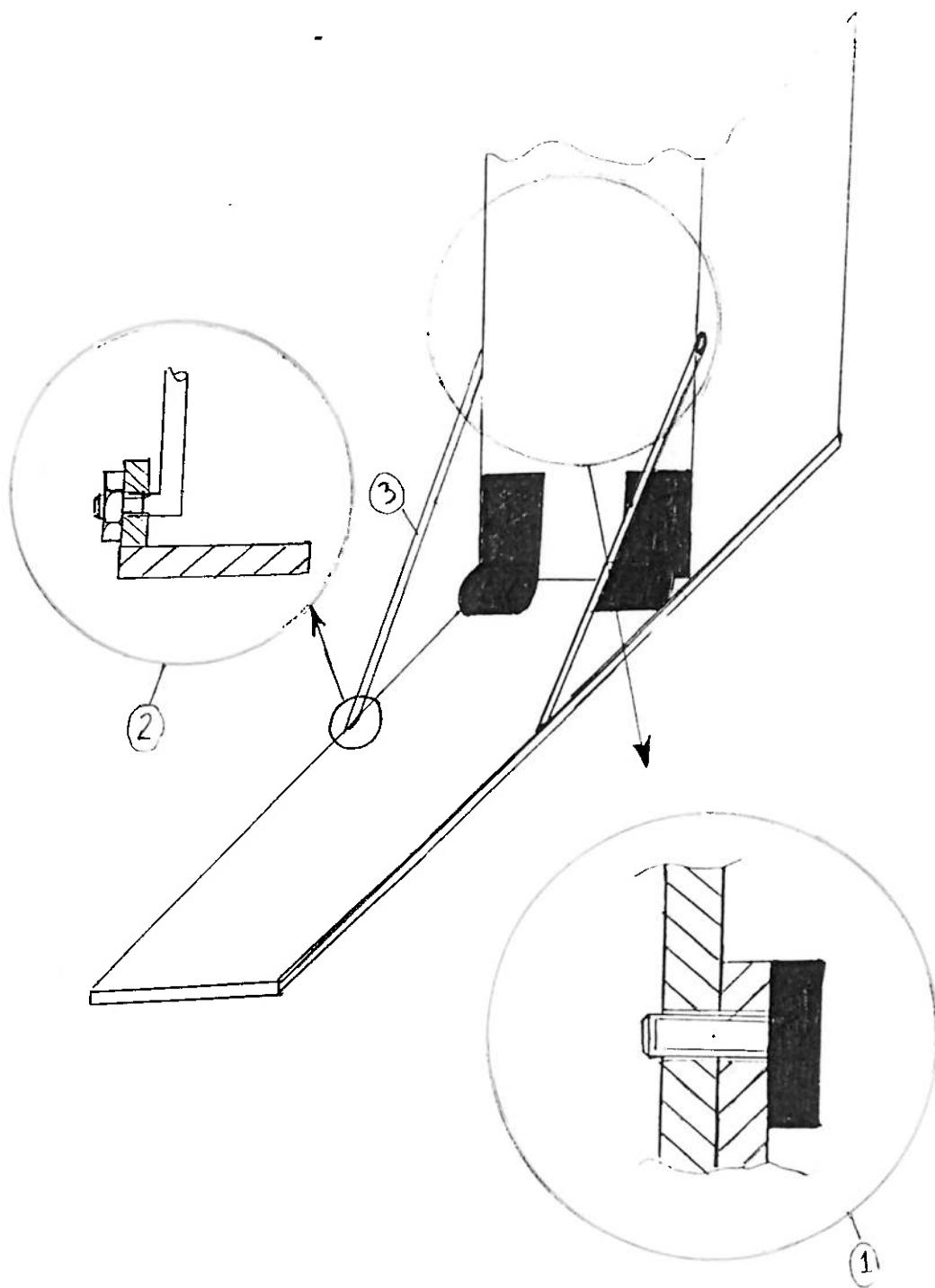


Figura III.4 - Extensão da base do aparelho

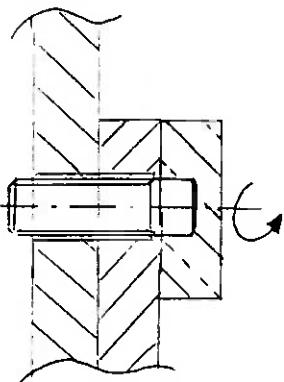
Assim, o ponto 2 está a uma distância x de 1,2 m e desta forma teríamos um eventual lastro de -112 kg (contra o tombamento). Portanto nosso esquipamento está muito estável e não há o menor risco de tombamento.

Porém, não devemos nos esquecer que trata-se de um equipamento de ginástica domiciliar, e portanto o mesmo não deve ser muito grande. A solução proposta acima de estender a base a uma distância de 1,2 m torna o equipamento muito espaçoso.

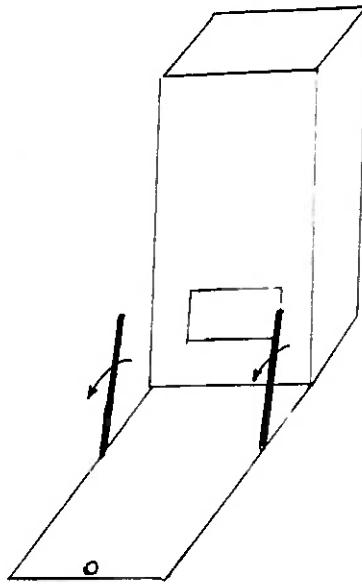
Portanto, o equipamento deve também ser “dobrável”, isto é, a extensão da base deve rotacionar em direção ao equipamento para o usuário prender sua extremidade no aparelho.

Isto pode ser feito por dobradiças (como as que existem nas portas de uma casa).

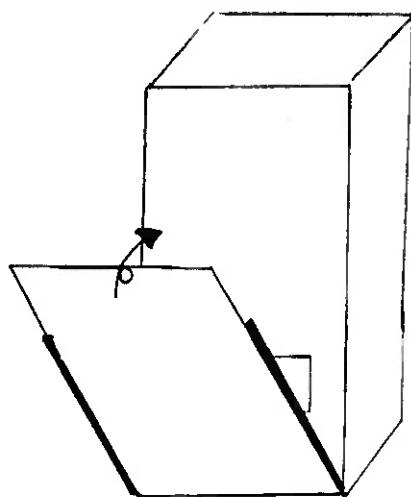
Assim, quando o usuário terminar de realizar seus exercícios, ele deverá desrosquear o parafuso que está ilustrado na figura III.4, nº (1) das duas barras (3), girar as barras no sentido de afastá-las do aparelho (isto é possível graças ao mecanismo (2)) até encostá-las na extensão da base. Após isso, o usuário deverá então rotacionar a extensão e depois prendê-la no topo do aparelho. A figura III.5 ilustra os passos a serem tomados.



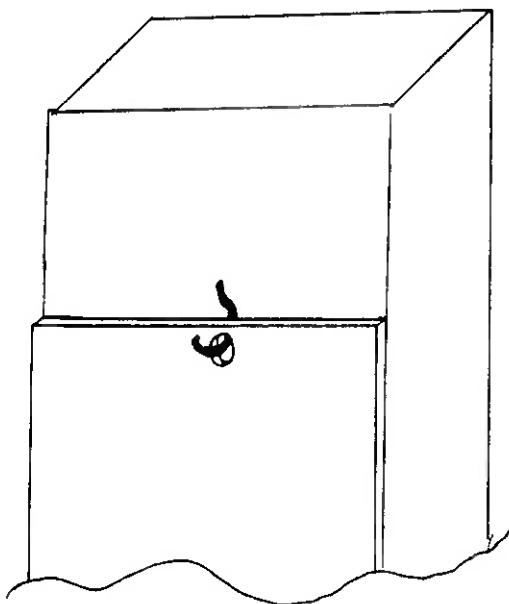
1. Desrosquear os 2 parafusos.



2. TRAZER DARRAS PARA A extensão da base



3. ROTACIONAR extensão da base em direção da torre.



4. Prender extensão da base no GANCHO

Figura III.5 - Como se "dobrar" o aparelho

IV - Estrutura Externa

Para se poder realizar os exercícios que requerem que o usuário faça o esforço na polia superior na direção perpendicular ao solo, é necessário que se projete uma estrutura externa superior onde a polia esteja a uma distância de 350 mm do aparelho.

Portanto se projetou uma estrutura semelhante à exposta pela figura IV.1.

Observando a figura, podemos verificar que está também ilustrado como se prende o cabo superior quando se deseja utilizar a polia inferior. Este procedimento se dá através do acoplamento dos dois laços ilustrados, através de um prendedor tipo de alpinista (ver detalhe ampliado).

Também há na figura os detalhes de como se prende as barras de sustentação no aparelho. É através de rosqueamento (as pontas das barras são rosqueadas).

Também pode-se notar que a parte posterior do aparelho não está tampada, facilitando assim a montagem do equipamento, uma possível manutenção ou mesmo a lubrificação das guias. Esta decisão foi tomada tendo em vista que os aparelhos devem ficar encostados em uma parede, e assim esta parte “aberta” não aparecerá.

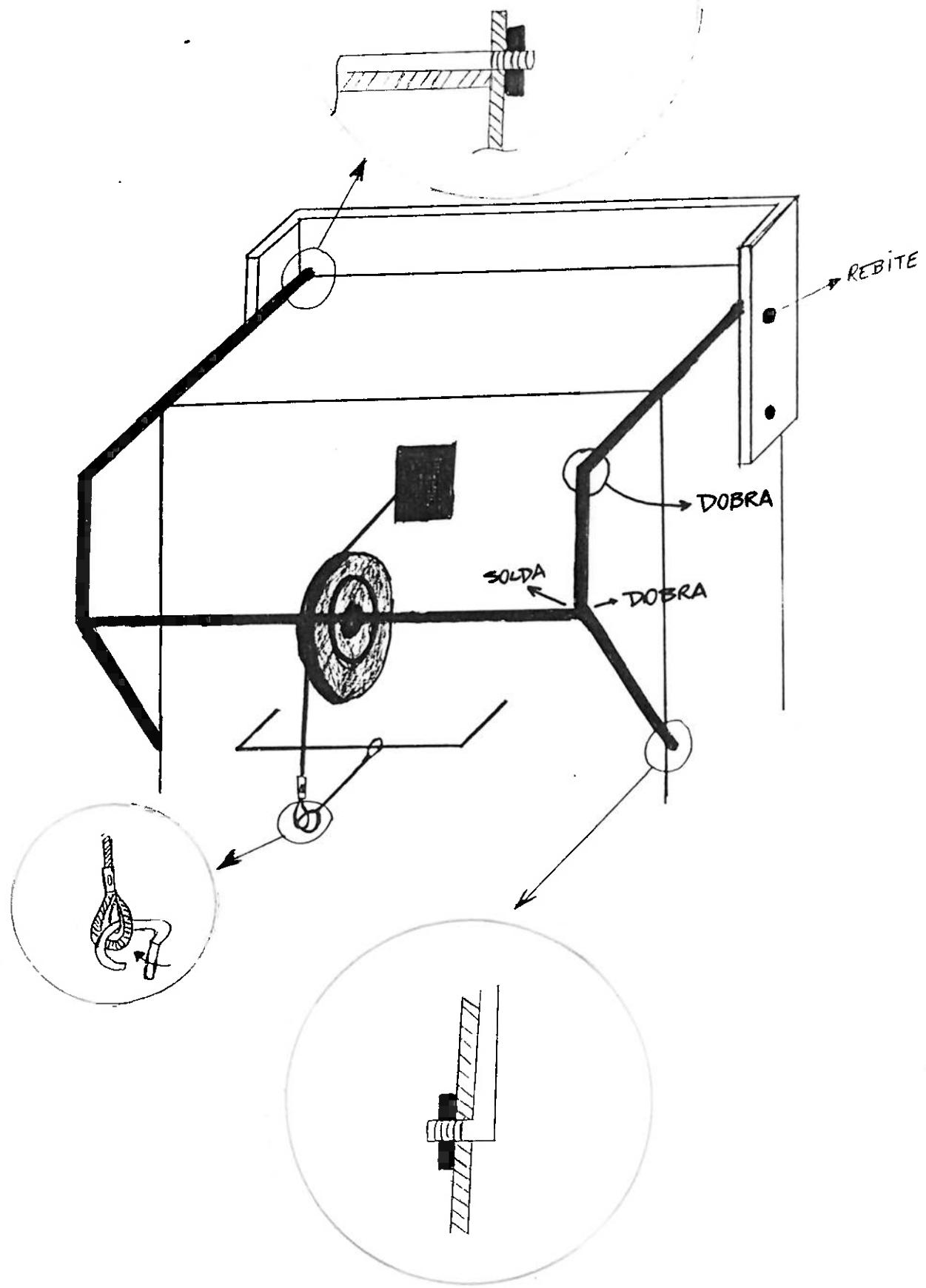


Figura IV.1 - Barras de sustentação superiores

V - Procedimento de Montagem

Como o equipamento de ginástica é composto de componentes muito pesados e de difícil montagem, ele deverá ser montado na casa no cliente pelo representante da revenda do aparelho.

Algumas partes já irão montadas para a revenda, mas a montagem final ocorrerá no local final onde o equipamento será usado.

Portanto os seguintes componentes estarão pré-montados:

- Polias nos respectivos eixos
- Eixo móvel (superlaços, buchas e anel pêra)
- Chapas soldadas da torre, junto com guias soldadas.
- Estrutura externa (barras de sustentação com polia). Para a montagem do conjunto de barras de sustentação, que consiste de soldagem e dobramento, primeiro se monta a polia na barra do meio, depois se dobram as duas barras para o derradeiro estágio de soldagem da barra da polia nas outras suas barras que foram dobradas.

Portanto, quando o revendedor for instalar o equipamento na casa do cliente, os itens mencionados acima já virão montados.

Os passos que o instalador deverá tomar serão:

- Prender a mão francesa na torre;
- Encaixar os eixos na torre (eixos fixos);
- Prender, por rebitagem, a chapa em U na parte posterior superior da torre;
- Prender as barras de sustentação superiores na chapa em U;

- Colocar os pesos sobre a mão francesa (todos, empilhados);
- Colocar as guiados pesos, introduzindo-a na torre pelos furos do teto da torre, inserindo-as nos pesos até atravessar a mão francesa. Depois disso é só por as porcas nas extremidades das guias;
- Introduzir o levantador de pesos, já com o cabo, nos próprios pesos, e prendê-lo com o pino de levantamento;
- Passar o cabos pelas polias;
- Inserir o eixo móvel, passando o cabo mencionado acima em volta da polia;
- Passar o cabo do eixo móvel ao redor da polia inferior;
- Encostar a torre na parede, onde o equipamento será usado;
- Prender as barras da extensão da base, usando porcas;
- prender a extensão da base na torre (dobradiças);
- Rosquear as barras da extensão da base na torre;
- Prender o pegador no cabo superior ou inferior, imobilizando o outro cabo;
- Iniciar os exercícios.

VI - Estimativa de Custos

Para que o aparelho projetado tenha sucesso de vendas, é preciso que o mesmo seja relativamente barato, ou que apresente um preço ao consumidor final competitivo.

Portanto, a seguir são mostradas cinco tabelas que procurarão estimar o custo de produção do equipamento.

Os custos considerados foram:

- Custos de usinagem (uso das máquinas)
- Custos de mão de obra (durante a usinagem das peças)
- Custos de material
- Custos das peças prontas, que serão compradas de outras empresas

A tabela VI.I. mostra uma relação de custos de hora/máquina e hora/homem fornecida pelo Laboratório de Máquinas Operatrizes, para cada tipo de usinagem.

Tabela de Custos de Operações			
Máquina	Custo Hora/Máquina (R\$)	Custo Hora Homem (R\$)	Custo Hora/(Homem+Máquina) (R\$)
Furadeira	4,15	4,15	8,30
Serra	4,90	4,15	9,05
Torno	9,96	8,30	18,26
Fresadora	11,62	13,28	24,90
Plainadora	11,62	8,30	19,92
Retificadora	11,62	13,28	24,90
Eletroerosão	11,62	13,28	24,90
Torno CNC	33,20	16,20	49,40
Fresadora CNC	33,20	16,20	49,40
Tesoura Mecânica	8,30	3,32	11,62
Dobradeira	8,64	3,32	11,96
Prensa	8,64	3,32	11,96
Oper. Manuais	3,32	8,30	11,62
Guilhotina	16,20	8,30	24,50

Tabela VI.I. - Custos de Operações

Com esta tabela e uma estimativa do tempo de usinagem para cada operação³, chega-se à tabela VI.II, aplicada ao equipamento de ginástica. O custo total de usinagem e de mão de obra será de R\$ 560,35

Tabela de Custos de Usinagem e Mão de Obra						
Componente	Operação	Custo (R\$/h)	Tempo (Horas)	Quantidade	Total (R\$)	%
Peso	Fresa	24,90	0,33	13,00	107,90	19,3%
	Furo	8,30	0,17	13,00	17,98	3,2%
Levantador	Corte	9,05	0,50	1,00	4,53	0,8%
	Fresa	24,90	0,30	1,00	7,47	1,3%
	Furo	8,30	0,50	13,00	53,95	9,6%
Pino	Corte+Dobra	9,05	0,50	1,00	4,53	0,8%
Polia	Corte	9,05	0,67	5,00	30,17	5,4%
	Torno (perfil, furo Externo)	18,26	1,50	5,00	136,95	24,4%
Bucha Eixo	Torno	18,26	0,50	1,00	9,13	1,6%
Eixo	Corte	9,05	0,10	5,00	4,53	0,8%
	Torno	18,26	0,67	5,00	60,87	10,9%
	Fresa (inclui furo)	24,90	0,50	1,00	12,45	2,2%
Chapas (Estrutura Externa)	Dobra	11,96	2,50	1,00	29,90	5,3%
	Corte	9,05	1,00	1,00	9,05	1,6%
Barra da Extensão da Base	Roscas	18,00	1,50	1,00	27,00	4,8%
	Dobra	11,96	0,33	1,00	3,99	0,7%
Barra Externa	Solda	15,00	0,33	1,00	5,00	0,9%
	Dobra	11,96	0,50	1,00	5,98	1,1%
	Rosca	18,00	1,50	1,00	27,00	4,8%
	Dobra	11,96	0,17	1,00	1,99	0,4%
					Total	560,35

Tabela VI.II. - Custos de Usinagem e Mão de Obra do equipamento de ginástica

O próximo passo é estimar o custo dos materiais. A tabela VI.III. nos dá esta informação. O custo total de materiais é de R\$ 346,41.

Tabela de Custos dos Materiais					
Peça	Material	Preço (R\$/kg)	Massa Total (kg)	Quantidade	Preço Total
Peso	FoFo	2,50	5,00	13,00	162,50
Levantador	Alumínio	3,50	0,29	1,00	1,00
Pino	Aço 1020	2,00	0,07	1,00	0,13
Polia	FoFo	3,00	1,37	5,00	20,55
Espaçador	Bronze	4,50	0,01	5,00	0,23
Bucha Eixo	Bronze	4,50	0,03	10,00	1,54
Eixo	Aço 1020	2,00	0,69	5,00	6,90
Chapas (Estrutura Externa)	Aço 1020	2,00	62,00	1,00	124,00
Barras da Extensão da Base	Aço 1020	2,00	0,49	2,00	1,95
Barra Externa	Aço 1020	2,00	13,80	1,00	27,60
					Total 346,41

Tabela VI.III. - Custos de Materiais

³ Estimativa feita por um funcionário do Laboratório

A tabela VI.IV. ilustra o custo dos componentes que serão comprados, que são os rolamentos e os cabos. O custo total de componentes prontos será de R\$ 99,9.

Tabela de Custos de Componentes Prontos			
Peça	Quantidade	Preço	Preço Total
Rolamentos	10	R\$ 9,18	91,80
Cabos	5,4 metros	1,5 R\$/m	8,1
Total			99,9

Tabela VI.IV. - Custos de Materiais

Com estas informações, chega-se à tabela VI.V., que informa o custo total de fabricação do aparelho, que será de R\$ 1006,41.

Tabela de Custos Totais		
Tipo	Custo (R\$)	%
<i>Usinagem</i>	560,00	55,6%
<i>Material</i>	346,41	34,4%
<i>Peças Prontas</i>	100,00	9,9%
Total	1006,41	

Tabela VI.V. - Custo Total

É bom lembrarmos de que o custo apresentado acima foi calculado com base em uma produção “artesanal” do equipamento, isto é, as peças seriam usinadas uma a uma, furo por furo, corte por corte.

Para termos uma idéia de preço, um equipamento de ginástica que já está no mercado, chamado “Estação de Musculação Protek II” tem um preço final de R\$ 897,00.

O equipamento de ginástica projetado teria um preço final em torno de R\$ 2.000,00, caso tivesse a produção “artesanal” descrita acima. Caso o mesmo

equipamento fosse fabricado em uma produção de escala, o preço final dele seria competitivo com o de outro equipamento.

VII - Modelo do Mecanismo de Polias e Dobramento

A fim de se ter uma melhor visualização do mecanismo de levantamento de pesos e de dobramento do equipamento, fez-se um modelo utilizando-se um computador para simular estes movimentos.

O aplicativo utilizado foi o 3D Studio, um software largamente utilizado para gerar animações gráficas.

Os modelos construídos foram apresentados à bancada de professores da Escola Politécnica.

A seguir estão algumas figuras que ilustram o modelo implementado.

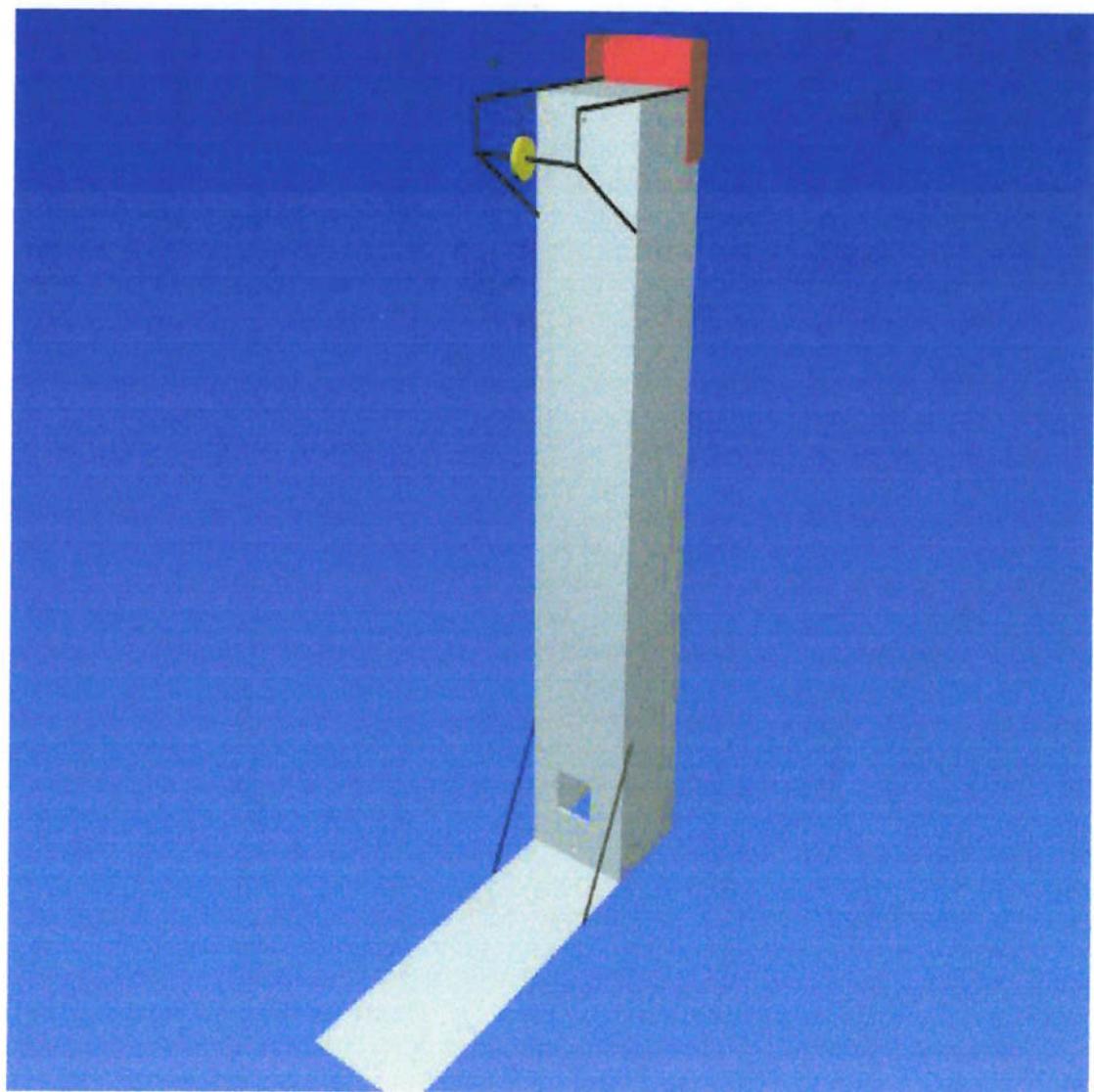


Figura VII.I - Equipamento pronto para ser usado

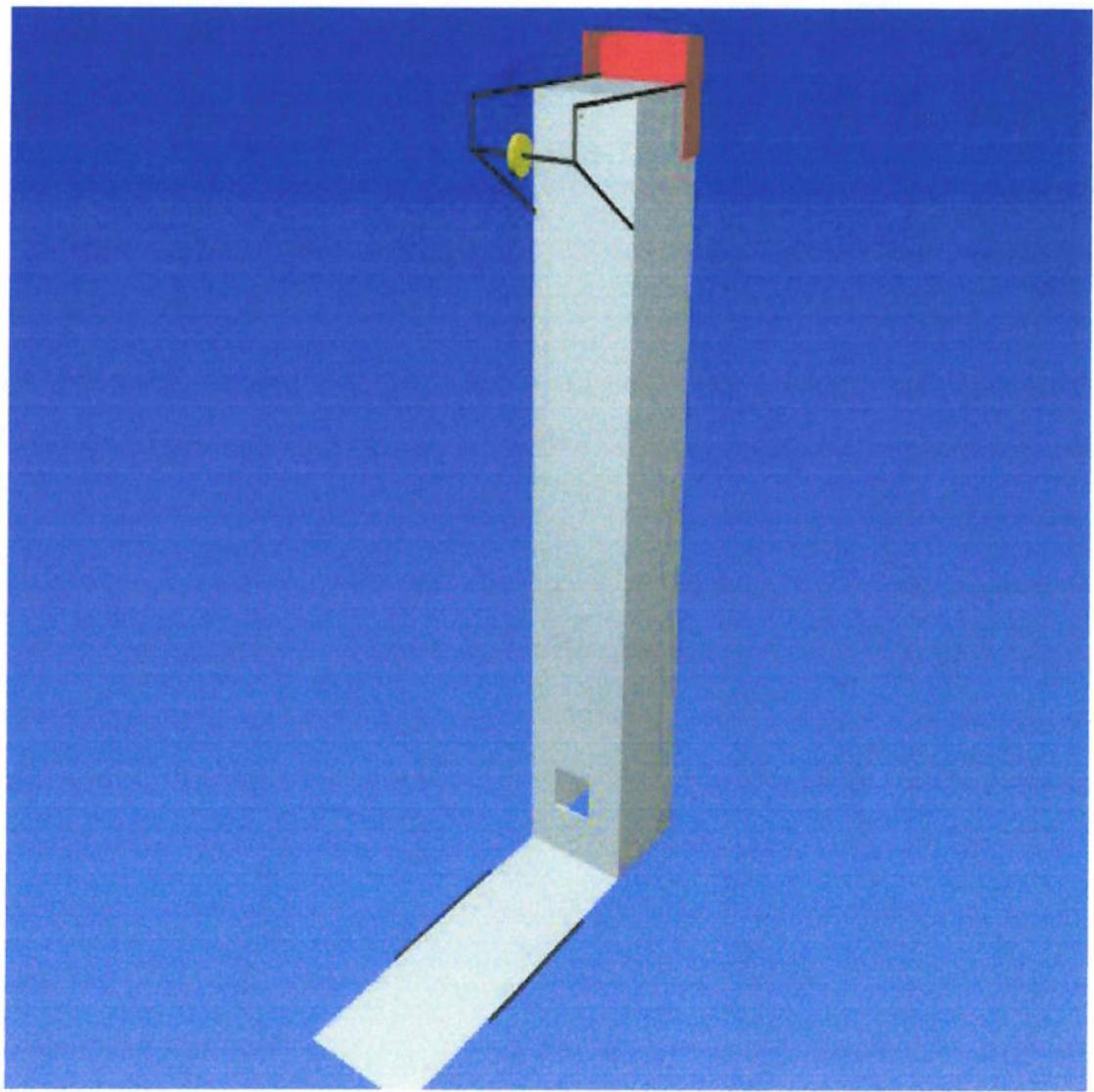


Figura VII.II - Barras da extensão da base soltas

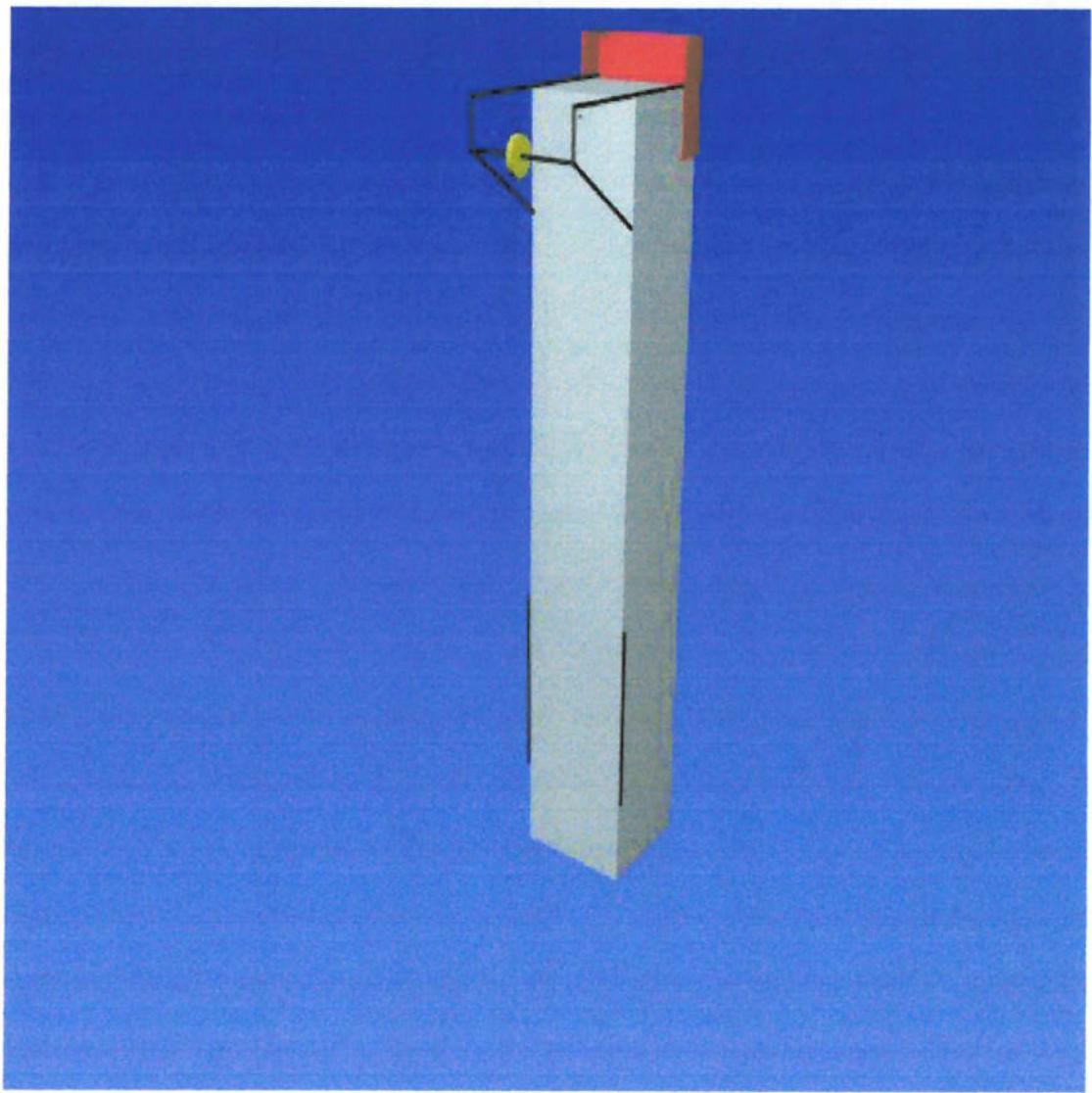


Figura VII.III - Equipamento dobrado

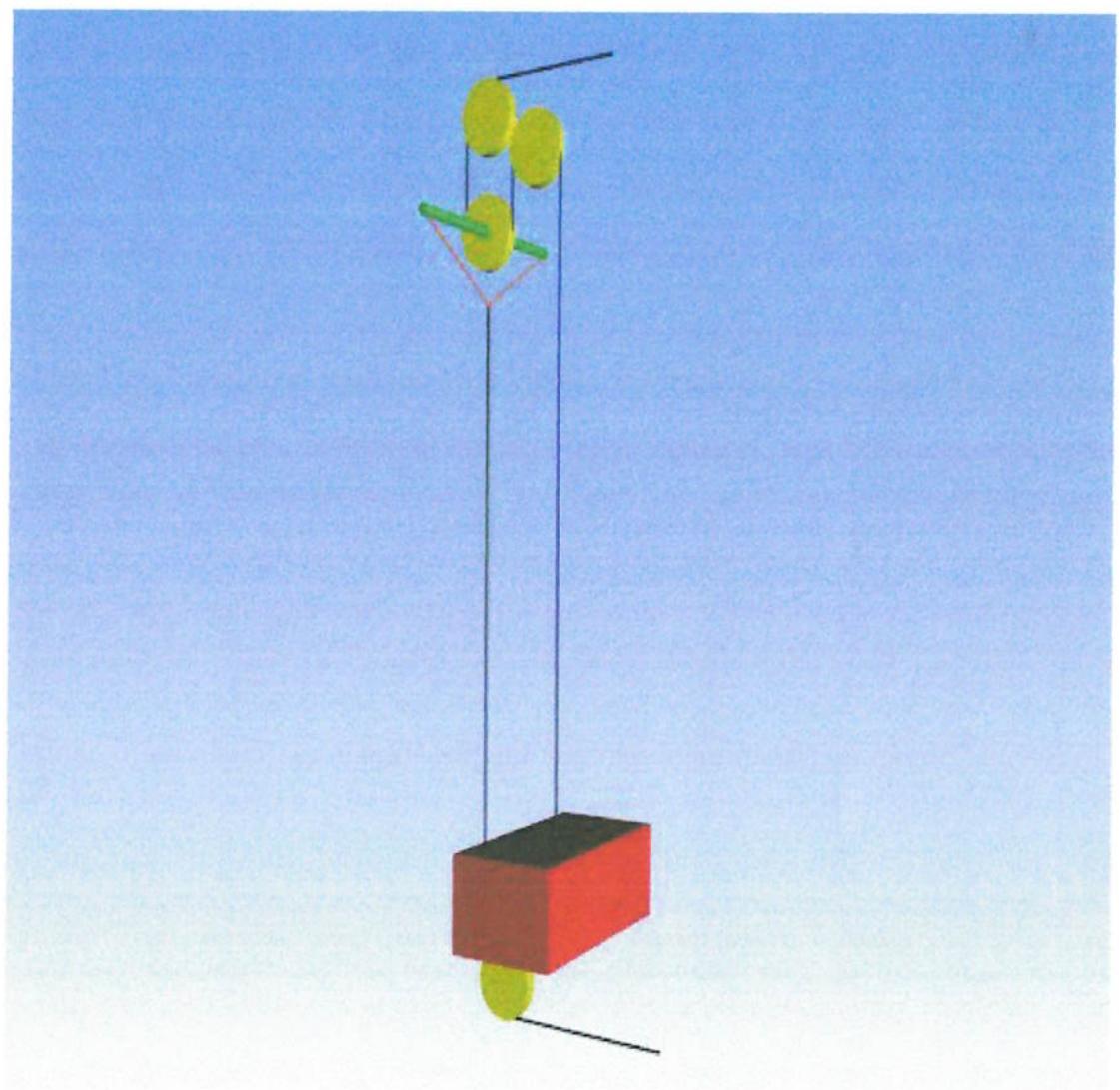


Figura VII.IV- Mecanismo de polias

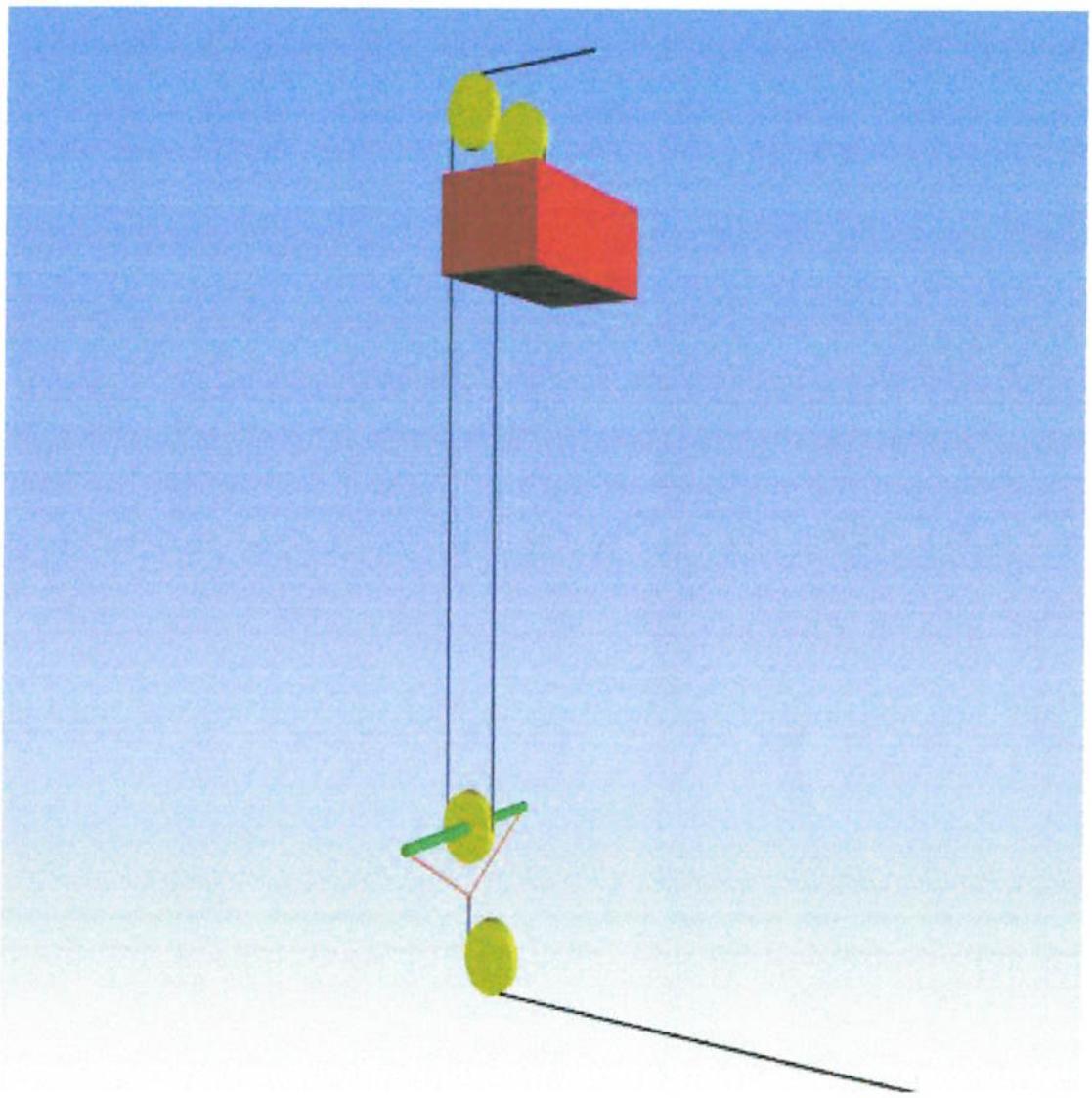


Figura VII.V- Pesos totalmente levantados

VIII - Conclusões

Neste trabalho procurou-se projetar um aparelho de ginástica domiciliar que atendesse aos parâmetros descritos anteriormente. Examinaremos agora cada um aqueles parâmetros, avaliando o equipamento necessário:

- Estabilidade: conforme item III: Verificação da Estabilidade, o equipamento se mostra bastante estável, apresentando um eventual lastro negativo (contra o tombamento) de 112 kg.
- Ergonomia: como não há mecanismos específicos para a realização de um determinado tipo de exercício, fica a critério do usuário o seu posicionamento relativo. Na primeira parte foi descrito alguns dos exercícios que uma pessoa possa vir realizar, indicando sua posição em relação à torre.
- Diversidade de exercícios: pode-se contar pelo menos 16 tipos de exercícios diferentes que o usuário pode fazer, para todos os grupos musculares. (ver página 15)
- Segurança para o usuário: o aparelho é muito seguro, pois além da grande estabilidade, as partes que se movimentam do equipamento estão dentro da torre, impossibilitando um contato delas com o usuário. Além disso, o equipamento é “dobrável”, reduzindo risco de choques acidentais devido à uma grande área de ocupação.
- Tamanho: apresentando 400mm x 420mm x 2.200mm. quando dobrado e 400mm x 770mm x 2.200mm quando em uso, e estará encostado a uma parede, o equipamento é bastante compacto, podendo ser utilizado dentro de um quarto. Para efeitos de comparação, um outro equipamento de ginástica que já está no mercado possui 1.050mm x 1.100mm x 2.070mm, ou seja, um volume 253% maior.
- Manutenção: como a parte posterior do equipamento, ou seja, aquela que ficará encostada a uma parede está aberta, é fácil realizar qualquer tipo

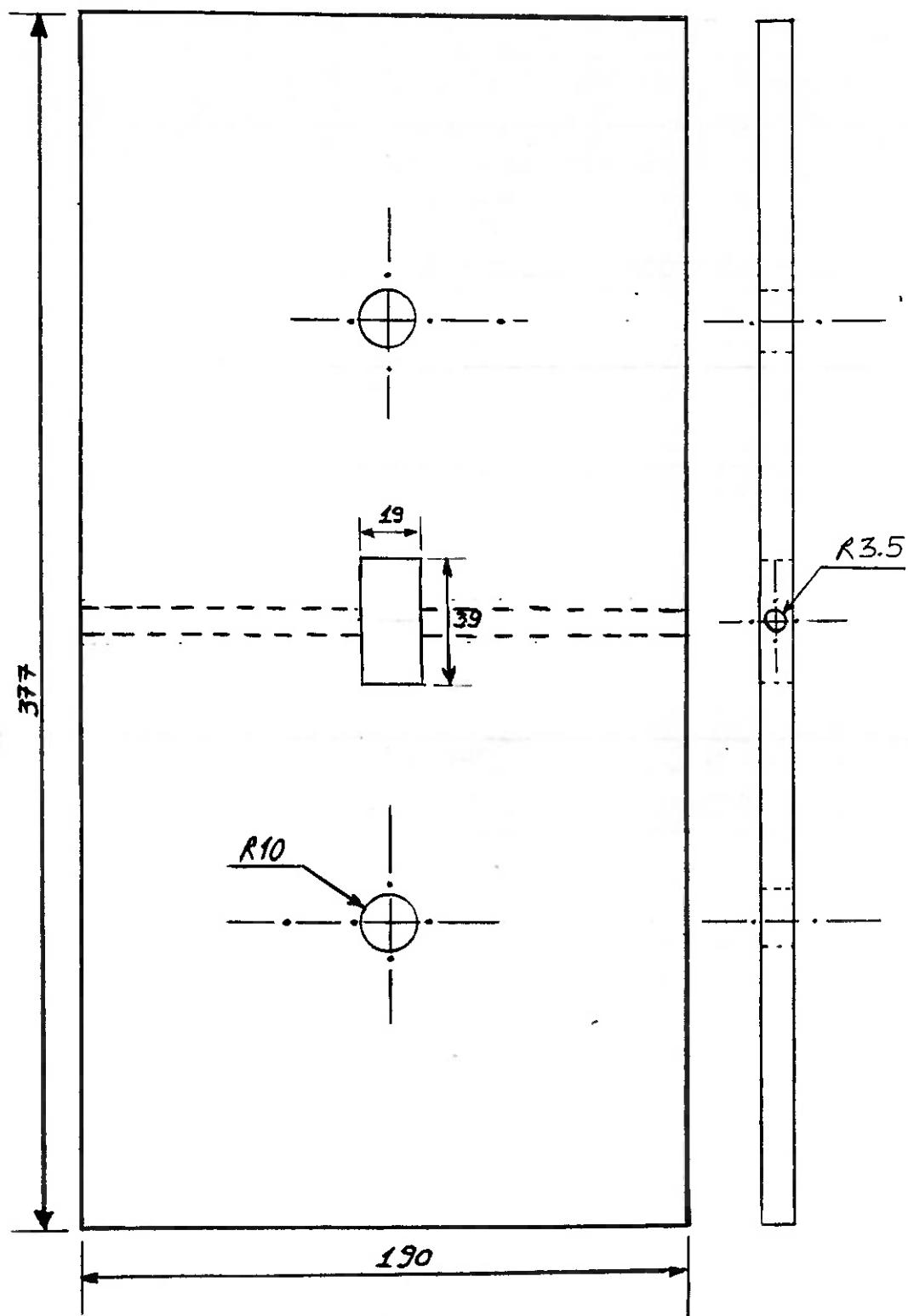
de manutenção no equipamento, seja para troca de peças ou lubrificação das guias.

- Aparência: como as polias, eixos, parafusos, etc. estão dentro da torre e portanto fora do alcance das vistas das pessoas, o aparelho possui uma aparência mais amigável.
- Montagem: como descrito no item V “Procedimento para Montagem”, não há grandes dificuldades em tal operação, pois os componentes mais difíceis de serem feitos já virão prontos (barras soldadas, etc.)
- Preço: como foi considerado que o equipamento não possui uma produção em escala, o preço final ao consumidor está muito alto (em torno de R\$ 2.000,00). Com isso, ele não será competitivo, pois existem no mercado aparelhos com preço final em torno de R\$ 890,00.

Assim sendo, um passo futuro, em termos de continuação do trabalho aqui apresentado, seria o estudo do custo deste equipamento caso fosse implementada uma produção em escala.

IX - Desenhos de Fabricação

Os desenhos de fabricação dos componentes do equipamento projetado estão apresentados nas próximas páginas.



1	"PESO"	13	$F_0 F_0$
PCS	DENOMINAÇÃO	QTD.	MATERIAL
PMC 581 - PROJETO DE FORMATURA II EPUSP			
ESCALA	PEÇA	FOLHA	
1:2	"PESO"	81	