

9.0 (Nove)

MILTON ANTONIOLLI JUNIOR

PROJETO E FABRICAÇÃO DE UMA MÁQUINA DE FADIGA CÍCLICA

Trabalho de Formatura apresentado à
Escola Politécnica da Universidade de
São Paulo

São Paulo
1998

MILTON ANTONIOLLI JUNIOR

PROJETO E FABRICAÇÃO DE UMA MÁQUINA DE FADIGA CÍCLICA

Trabalho de Formatura apresentado à
Escola Politécnica da Universidade de
São Paulo

Área de Concentração
Projeto e Fabricação

Orientador
Prof. Dr. Edison Gonçalves

São Paulo
1998

Aos meus pais e à todos
aqueles que direta ou
indiretamente ajudaram no
Projeto

1. RESUMO.....	3
2. ESTUDO DE VIABILIDADE.....	3
2.1. ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO PRODUTO.....	4
2.1.1. <i>Exigências Funcionais</i>	4
2.1.2. <i>Exigências Operacionais</i>	4
2.1.3. <i>Exigências Construtivas</i>	4
2.2. RELEVÂNCIA E JUSTIFICATIVA	5
2.2.1. <i>Estabelecimento da Necessidade</i>	5
2.2.2. <i>Fundamentação Técnica</i>	5
2.3. COMPORTAMENTO MECÂNICO DOS MATERIAIS	6
2.3.1. <i>Força ou Momento</i>	7
2.3.2. <i>Deformação</i>	7
2.3.3. <i>Energia</i>	8
2.3.4. <i>Fratura</i>	8
2.3.5. <i>Dureza</i>	9
2.4. ALGUNS CONCEITOS SOBRE ENSAIOS DE FADIGA.....	10
2.5. TIPOS DE CORPOS DE PROVA PARA O ENSAIO DE FADIGA.....	12
2.6. RESUMO DO HISTÓRICO	14
2.7. HISTÓRICO DO PROJETO.....	14
2.7.1. <i>Modelos</i>	15
2.7.2. <i>Análise e Fundamentação Financeira</i>	19
3. PROJETO BÁSICO.....	19
3.1. MATRIZ DE DECISÃO.....	20
4. PROJETO EXECUTIVO	21
4.1. ETAPAS DE TRABALHO.....	22
4.2. CRONOGRAMA.....	23
4.3. MEMORIAL DE CÁLCULO.....	24

4.4. ESPECIFICAÇÃO E CUSTO DOS COMPONENTES	34
5. FOTOS DO PROTÓTIPO CONSTRUÍDO	35
6. PROPOSTA DE APERFEIÇOAMENTO	37
7. CONCLUSÃO	38
8. BREVE REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	39
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	39
ANEXOS : DESENHOS DE FABRICAÇÃO	42

1. Resumo

Como primeira etapa deste Projeto, conceitua-se o *Estudo de Viabilidade* do mesmo. O Estudo de Viabilidade é a fase inicial de qualquer projeto, em que se chega a um conjunto de soluções plausíveis para o problema. O detalhamento deve ser apenas o suficiente para verificar a viabilidade técnica e econômica da solução.

O modelo utilizado para este estudo é aquele que baseia-se nos conceitos assimilados na disciplina de PMC - 475 (*Metodologia de Projeto*). Uma boa imagem que define o desenvolvimento desse trabalho é o conceito da *espiral de projeto*, em que numa primeira etapa o projeto é definido de forma grosseira, ficando mais preciso com o desenvolvimento das etapas posteriores, até se atingir o projeto final.

Como primeiro passo tratou-se em determinar e definir perfeitamente a existência e natureza de uma Máquina de Fadiga Cíclica no Departamento de Engenharia Mecânica da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

2. Estudo de Viabilidade

Este projeto de formatura tem por objetivo projetar e construir uma máquina de Fadiga cíclica visto que, atualmente não dispõe-se de equipamento semelhante neste Departamento.

No caso estudado, o fenômeno de Fadiga pode ser retratado como um movimento cíclico. Um metal rompe-se por fadiga, quando a tensão cíclica, aplicada a ele, tem uma flutuação suficientemente grande e é maior que um valor característico de cada metal, denominado limite de fadiga, o qual pode ser determinado mediante um ensaio de fadiga. A ruptura geralmente ocorre quando o número de ciclos de tensão aplicada é também suficientemente grande (da

ordem de milhões de ciclos) . No entanto, muitos outros fatores afetam a ruptura por fadiga, tornando muito extenso o seu estudo.

O mecanismo de uma viga em balanço, ou de uma polia excêntrica retrata bem este fenômeno.

Como etapa inicial, escolheu-se o mecanismo de uma viga em balanço para ser retratado pois, o mesmo apresenta um mecanismo relativamente fácil de ser assimilado e de ser fabricado e os conceitos envolvidos nos ensaios em todas as máquinas são praticamente os mesmos. Na etapa posterior (*Projeto Básico*), pretende-se analisar todos os modelos e escolher o melhor e mais viável.

O primeiro modelo de máquina idealizado é composto, basicamente, de uma viga apoiada em um dos lados e acoplada no outro lado a um mecanismo de transmissão e a um motor elétrico (vide modelos a seguir). Através de um mecanismo excêntrico é transmitido um movimento cíclico à viga e também ao corpo de prova que está acoplado por garras entre os dois apoios.

O movimento cíclico produzido pelo motor e transmitido à viga irá fadigar o corpo de prova após um certo número de ciclos que será armazenado em um contador acoplado ao sistema. Com este número de ciclos armazenado, pretende-se analisar e desenvolver materiais mais resistentes à Fadiga.

Como exigências decorrentes das necessidades, algumas características funcionais, operacionais, construtivas e certas limitações do projeto, devem ser traçadas para que assim possa-se determinar as especificações técnicas do produto.

2.1. Especificações Técnicas do Produto

2.1.1. Exigências Funcionais

Como exigências funcionais, tem-se o baixo grau de vibração e ruído, visto que, a vibração não pode influenciar nos ensaios e nem na estrutura que suportará a máquina. Somando-se à estes fatores também necessita-se de

componentes resistentes à Fadiga, visto que, os mesmos não podem falhar mas sim o corpo de prova.

2.1.2. Exigências Operacionais

Como exigências operacionais, necessita-se de um baixo esforço proveniente do operador, tanto na fixação do corpo de provas como no manuseio do sistema de transmissão (caso exista). Além do mais, o procedimento dos ensaios deve facilitar a coleta dos dados pois, os mesmos servirão para futuras análises.

2.1.3. Exigências Construtivas

Outro item de grande importância é no que diz respeito às exigências construtivas já que, a máquina não deve possuir dimensões fora do comum e o fabrico de suas peças deve ser planejado com os equipamentos de usinagem disponíveis hoje em dia no mercado e na Oficina da Escola Politécnica. A construção também deve levar em conta a facilidade de montagem da máquina e a possibilidade de reposição de peças.

Como requisitos materiais mínimos para a realização deste projeto temos : a necessidade de um motor elétrico, a necessidade de um mecanismo que transforme um movimento rotativo em um movimento cíclico, um acoplamento e uma base, onde será apoiada a máquina.

Como requisitos teóricos mínimos para a realização deste projeto temos : possuir conhecimento básico sobre Projetos de Máquinas, sobre Ensaio de Fadiga e Materiais, Resistência dos Materiais e entender sobre os conceitos envolvidos nos ensaios.

2.2. Relevância e Justificativa

A seguir encontram-se alguns conceitos relevantes sobre o Comportamento Mecânico dos Materiais assim como, a justificativa da importância desta máquina no Departamento de Engenharia Mecânica.

2.2.1. Estabelecimento da Necessidade

Desde sua fundação, o Departamento de Engenharia Mecânica da Escola Politécnica tem-se empenhado em garantir uma ótima formação teórica e prática de seus estudantes de Graduação e Pós-Graduação. Devido ao constante desenvolvimento teórico, torna-se necessário aprimorar os equipamentos atuais.

As máquinas disponíveis no laboratório já existente não cumprem totalmente as perspectivas de ensino e projetos futuros e as mesmas estão obsoletas (algumas com mais de 25 anos). Logo, torna-se necessária a aquisição de novas máquinas de ensaio mecânicos e sistemas de medição que, junto aos já existentes possibilitem um desenvolvimento cada vez mais aprimorado no campo de estudo dos materiais. É preciso dispor de máquinas de última geração destinadas tanto para ensino e pesquisa, quanto para futuros projetos de empresas que colaborem com o ensino desta escola.

Segue a seguir a seguinte proposta de projeto como uma possível solução ao problema citado.

Objetivos da Máquina de Ensaio de Fadiga Cíclica :

- Aprimorar o ensino de Graduação e Pós-Graduação
- Trabalho e Pesquisa
- Solucionar problemas práticos relacionados à Pesquisa de Materiais
- Estabelecer projetos de pesquisa a nível internacional

2.2.2. Fundamentação Técnica

É de cuidado do Engenheiro e da Engenharia o interesse pelo conhecimento dos materiais e suas propriedades e o aprimoramento dos materiais já existentes pois, são de aspecto relevantes para a Engenharia :

- A seleção de materiais para estruturas, componentes de máquinas, etc.
- Estudar o comportamento destes materiais nas partes mais solicitadas.
- Diagnosticar e solucionar possíveis falhas relacionadas à fratura, desgaste, corrosão, etc.

Com o atual desenvolvimento tecnológico, torna-se necessário fabricar e desenvolver componentes estruturais que atendam cada vez mais, sem falhar, aos requisitos de esforços solicitantes e deslocamentos. É importante ressaltar que por trás de um importante projeto ou pesquisa, sempre relevamos um importante parâmetro : o *custo*.

O custo dos materiais é influenciado pelas fontes de recursos naturais, sua importância e pelo custo de processamento. Por exemplo: o Vidro é relativamente barato pois, Oxigênio e Sílica estão disponíveis em grandes quantidades. Por outro lado, embora o Alumínio seja mais abundante que o aço, ele é relativamente mais caro, devido ao seu alto custo de processamento.

O Engenheiro tem por finalidade conciliar parâmetros como, funcionalidade, durabilidade e confiabilidade de uma forma segura e criativa, além de facilidade de fabricação. Para tanto torna-se necessária ferramentas, cada vez mais modernas, que proporcionem, ao Projetista ou ao Pesquisador, resultados confiáveis com os Ensaios Mecânicos.

Estas novas descobertas significarão um Progresso Tecnológico que será aproveitado no ramo industrial para o desenvolvimento de novos produtos, mais baratos, mais resistentes e mais competitivos.

2.3. Comportamento Mecânico dos Materiais

Tratando-se do estudo dos materiais, temos que tomar conhecimento de certas Grandezas que regem o seu Comportamento Mecânico. Entre elas podemos destacar :

- Força ou Momento
- Deformação
- Energia
- Fratura
- Fadiga
- Dureza

2.3.1. Força ou Momento

Força ou Momento é qualquer ente que cause uma deformação geométrica na superfície de um corpo.

2.3.2. Deformação

É tida como o significado da mudança geométrica na superfície de um corpo. Dependendo da natureza do material e da magnitude da força aplicada, o material pode se deformar em diferentes formas. Ele pode se deformar *elasticamente*, *plasticamente*, *viscoelasticamente* ou *de forma viscosa*. Cada tipo de deformação pode ser definida brevemente como se segue :

Deformação elástica : é o tipo de deformação reversível, isto é, após a remoção de uma força aplicada, o corpo retorna à sua forma original e sua energia é recuperada. O processo físico envolve apenas o escorregamento entre contornos de grãos, mudando a distância entre átomos. As propriedades materiais que caracterizam a natureza elástica de um material isotrópico são o Módulo de Young (E), o Módulo de Cisalhamento (G), a Constante de Rigidez (K), e o Coeficiente de Poison (ν).

Deformação plástica : é o tipo de deformação permanente, isto é, após a remoção de um esforço aplicado, o corpo permanece deformado. O processo físico envolve apenas o escorregamento de átomos, mudando permanentemente as suas posições. Alguns importantes parâmetros envolvidos são a Tensão de Cisalhamento para deformação plástica e a taxa de esforço aplicado.

Deformação viscosa : é o tipo de deformação permanente que é caracterizada pelo tempo de esforço aplicado e sua respectiva deformação, que é

proporcional ao esforço aplicado. Basicamente um material viscoso pode ser deformado substancialmente por uma pequena carga se o tempo de aplicação da mesma for longo. A propriedade que se relaciona com este tipo de deformação é a viscosidade.

Deformação viscoelástica : ocorre em certos materiais como o plástico, por exemplo. Possui comportamento similar ao elástico e ao viscoso. Entretanto a deformação viscoelástica é parcialmente recuperável. As propriedades relacionadas a este fenômeno são o módulo de Fluência e Viscosidade.

2.3.3. Energia

A aplicação de uma força ou momento acarreta um deslocamento. À interação destes dois entes (força e deslocamento) chamamos de energia, cuja unidade (SI) é dada em Joules.

2.3.4. Fratura

Após uma certa quantia de deformação, muitos materiais eventualmente fraturam, isto é, se a força aplicada cresce continuamente, o sólido separa-se em dois ou mais pedaços a menos que o material sege viscoso. Há vários tipos de fratura, entre elas temos :

Fratura Frágil : ocorre quando a deformação que acarretou a fratura é predominantemente elástica, isto é, quando não ocorre deformação. Vidro e Cerâmica fraturam de uma forma frágil, sem nenhuma deformação plástica. Algumas fraturas frágeis propagam-se de uma maneira muito rápida, comparável com a velocidade do som.

Fratura Dutil : ocorre quando a fratura é precedida de uma deformação plástica. Antes de fraturar, o corpo sofre uma considerável deformação permanente. Muitos corpos metálicos sofrem fratura de uma maneira dutil em temperaturas abaixo da ambiente.

Fratura por Fadiga : ocorre quando o corpo é requerido repetidamente por uma carga que corresponde a um valor inferior àquela que causaria fratura simples. Geralmente os corpos que sofrem Fratura por Fadiga não são precedida por uma deformação plástica. Fratura por Fadiga é em muitos aspectos similar à fratura frágil, exceto no fato que a trinca cresce com o carregamento.

Fratura por Fluência : ocorre materiais que trabalham à altas temperaturas e que sofrem Fluência. Em termos macroscópicos a fratura por Fluência é similar à Fratura Dutil, ou seja, o material sofre deformação permanente.

2.3.5. Dureza

Esta propriedade está intimamente relacionada microscopicamente com a disposição dos átomos e com a interação atômica. Comumente materiais que sofrem Fratura Frágil são mais duros que materiais que sofrem Fratura Dutil.

Os materiais quando solicitados precisam atender também ao quesito de Dureza, ou seja, certos fenômenos como desgaste, fratura e deformação estão diretamente ligados à dureza. Portanto torna-se necessário quantificar esta propriedade e relacioná-la com o tipo de material e aplicação desejada.

Assim, a Máquina de Fadiga virá aprimorar estes conceitos assim como promover uma melhora no ensino e no desenvolvimento de melhores materiais.

2.4. Alguns Conceitos sobre Ensaio de Fadiga

Um ciclo de tensão regular é definido como a menor parte da função tensão tempo que é periódica e identicamente repetida, isto é, é um ciclo repetitivo ou alternativo e com todas as características constantes. Tais ciclos são encontrados na maioria das máquinas de ensaio de fadiga, as quais mantêm uma velocidade constante durante cada teste. Representamos a seguir alguns tipos desses ciclos e sua devida notação.

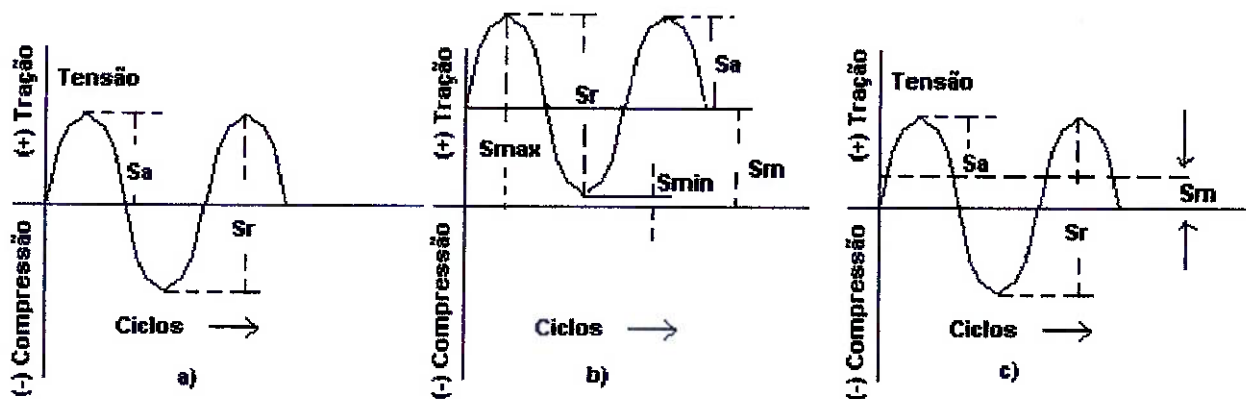


Figura 1: Tipos de Ciclos de Um Ensaio de Fadiga

Onde :

$$S_a = \text{Tensão alternativa} = \frac{S_r}{2}$$

$$S_r = S_{max} - S_{min}$$

$$S_m = \text{Tensão média}$$

O gráfico a) representa o de Tensão Reversa. Já o gráfico b) representa o de Tensão Repetida no campo de Tração, e o gráfico c) o de Tensão Repetida nos campos de tração e compressão.

O número de ciclos até a fratura do corpo de prova é designado por N . O limite de fadiga designado por S_e , é o limite abaixo do qual o material pode suportar um número infinito de ciclos de tensão regulares sem se romper. Já o limite S_n é o máximo valor de tensão que um material pode suportar sem se romper.

A curva tensão versus número de ciclos é o modo mais rápido para apresentar-se os dados do ensaio de fadiga. Tal curva é também chamada de curva de *Wohler* ou curva $S-N$. Nesta curva, o número N é colocado no eixo das abscissas e o limite máximo de tensão (S_{max}) é colocado na curva das ordenadas. A seguir encontram-se algumas curvas $S-N$ de alguns materiais. Verifica-se que para aços, a curva apresenta um patamar que corresponde ao limite de fadiga do material porém, para materiais não ferrosos em geral, excetuando-se o Titânio, esse patamar inexistente.

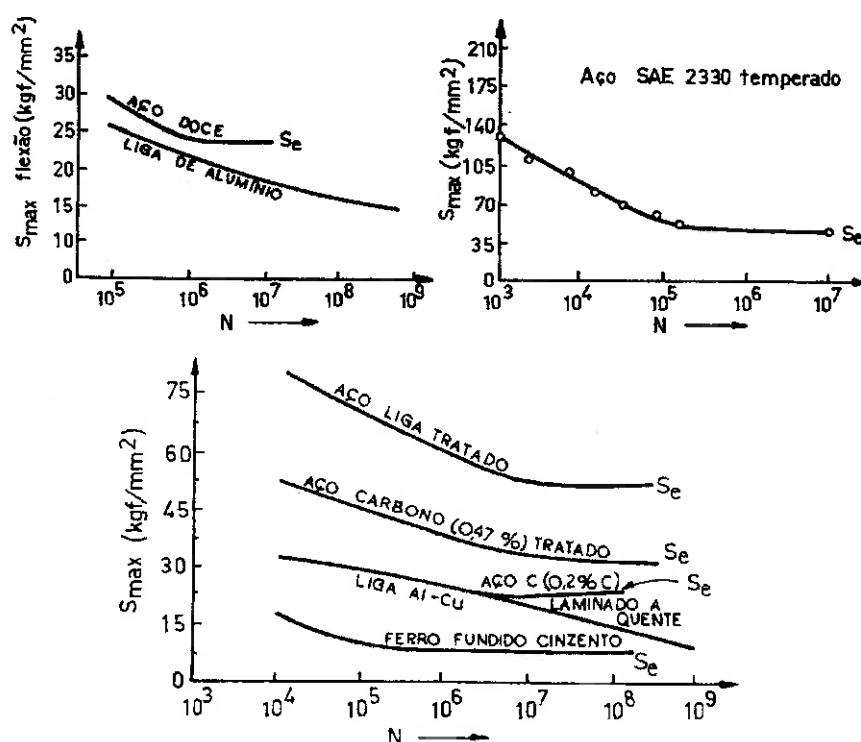


Figura 2 : Curvas $S-N$ para diversos materiais

Para a obtenção das curvas $S-N$ são necessários muitos corpos de prova pois, a curva traçada deve ser a média de vários pontos ou uma faixa que englobe

todos os pontos espalhados. Inicialmente, para a obtenção dos primeiros pontos, ou seja, tensão $S_{m\acute{a}x}$ alta e N pequeno aplica-se uma tensão que é cerca de dois terços do limite de resistência à tração do material. Posteriormente, diminui-se a tensão até que se obtenha um número N relativamente grande onde o material não fadiga. Obtida esta máxima tensão onde o material não fadiga, aumenta-se a tensão gradativamente para os outros corpos de prova até que se obtenha o limite S_e (máxima tensão para a fadiga). Finalmente, para a apresentação dos resultados, escolhe-se a tensão mais importante a representar.

2.5. Tipos de Corpos de Prova para o Ensaio de Fadiga

Existem três espécies diferentes para os ensaios de fadiga. O primeiro é ensaiar a própria peça, um modelo ou protótipo para determinar a vida da peça a uma determinada tensão ou número de ciclos, desde que se possua uma máquina adequada. O segundo tipo pode ser um produto acabado tal como barra ou chapa, que podem ser fixados em máquinas com garras apropriadas. O terceiro tipo constitui os corpos de prova usinados. Estes corpos podem ser lisos ou com entalhe.

A forma do corpo de prova liso pode variar muito de acordo com o tipo de solicitação e normas de ensaio. Em geral, são eles de seção circular ou retangular, contendo uma seção mais espessa em ambos os lados para fixação. Evita-se a construção de corpos de prova com pontas ou quinas pois, as mesmas podem introduzir concentração de tensões. Vale lembrar que no dimensionamento, a tensão aplicada ao corpo de prova deve ser calculada em relação à seção mínima.

A seguir encontram-se os tipos mais comuns de corpos de prova para o ensaio de fadiga.

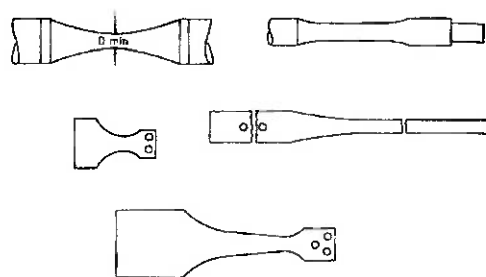


Figura 3 : Modelos de Corpos de Prova

Para a preparação do corpo de provas é interessante consultar normas técnicas para acabamento e tolerâncias porém, pequenas variações nas dimensões não afetam o resultado do ensaio. Pode-se introduzir entalhes em determinadas seções do corpo de prova, ou seja, aquelas mais solicitadas porém, nesse caso, o limite de fadiga deve diminuir, pois a tensão média aumenta em corpos entalhados. Nos ensaios deve-se levar em conta que os limites de fadiga teóricos e práticos são discrepantes pois, depende muito do gradiente de tensões em cada caso. Sendo assim, recomenda-se um estudo detalhado para corpos com entalhe (vide STM, STP nº 91, 1949 [31]).

Entre outros fatores relevantes ao ensaio de fadiga temos o *efeito da preparação da superfície do corpo de prova e o efeito das condições de ensaio*.

A preocupação com o acabamento superficial deve-se ao fato que as trincas propagam-se da superfície para o centro do mesmo.

Um bom acabamento superficial evita que as rugosidades superficiais ajam como entalhes, diminuindo a vida em fadiga do material durante o ensaio. Tratamentos superficiais que endurecem a superfície tais como recozimento e anodização, no caso do alumínio, aumentem a vida em fadiga do material.

Já outras variáveis como : velocidade e variação das tensões, temperatura e condições do meio ambiente, tem influência no *efeito das condições do ensaio*.

A atmosfera presente num ensaio, pode reduzir o limite de fadiga. Um material ferroso se presente em um meio alcalino ou ácido tende a ter um limite de fadiga inferior ao daquele ensaiado num ambiente inerte. Essa redução deve-se ao fato que o ataque químico acelera a velocidade de propagação da trinca de fadiga e a tensão cíclica acelera a corrosão do metal.

Apresentamos acima um resumo sobre os efeitos de certas variáveis sobre o ensaio de fadiga. Para um ensaio específico, ou um estudo mais aprofundado, deve-se consultar normas e estudos específicos para as condições desejadas. Estudos de Gough e Sopwith (1937) servem como base para este assunto.

2.6. Resumo do Histórico

Durante os seis primeiros meses de 1998 estipulou-se como meta traçar o Estudo de Viabilidade do projeto, os desenhos de conjunto, a análise de funcionamento da máquina e o possível reprojeto, assim como, enquadrar às Normas os corpos de prova que serão usados em ensaios futuros.

Como etapa posterior, ter-se-á o *Projeto Básico*, onde será escolhida e definida completamente a melhor solução (através de uma matriz de decisão), dentre aquelas propostas no *Estudo de Viabilidade*.

2.7. Histórico do Projeto

A proposta de projeto teve início em janeiro de 1998. Desde então, iniciou-se um levantamento bibliográfico e uma pesquisa nas áreas de projetos de máquinas, normas técnicas e ensaios de fadiga cíclica, para que os conceitos sobre fadiga fossem assimilados e o projeto da máquina se realizasse com sucesso.

Durante os dois primeiros meses, procurou-se ater à pesquisa e paralelamente à concepção e projeto inicial da máquina.

Algumas idéias (layouts) para o mecanismo da mesma encontram-se a seguir :

2.7.1. Modelos

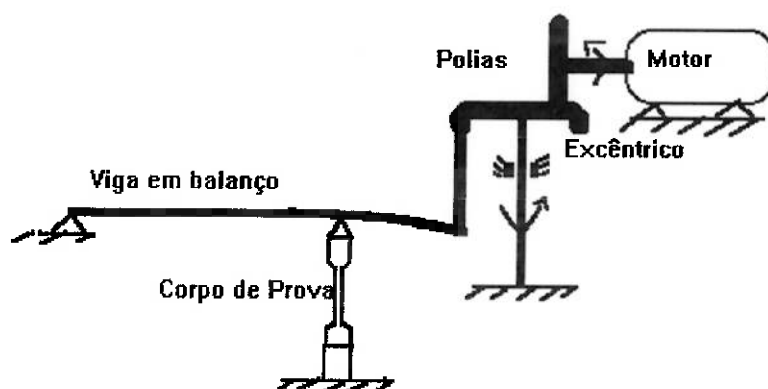


Figura 4 : Modelo 1 da Máquina de Fadiga Cíclica

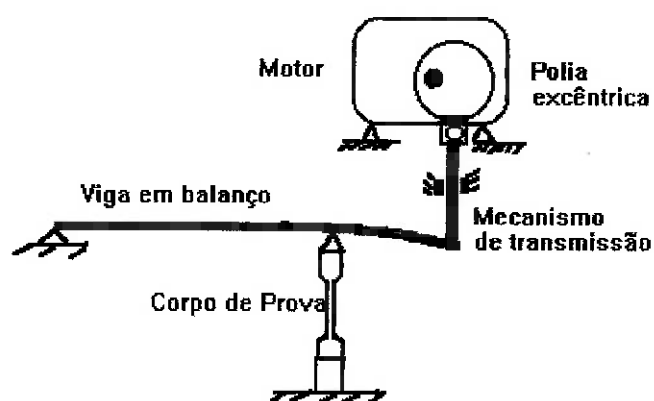


Figura 5 :Modelo 2 da Máquina de Fadiga Cíclica

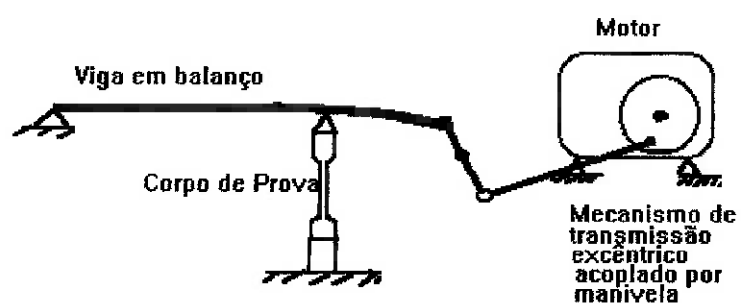


Figura 6 :Modelo 3 da Máquina de Fadiga Cíclica

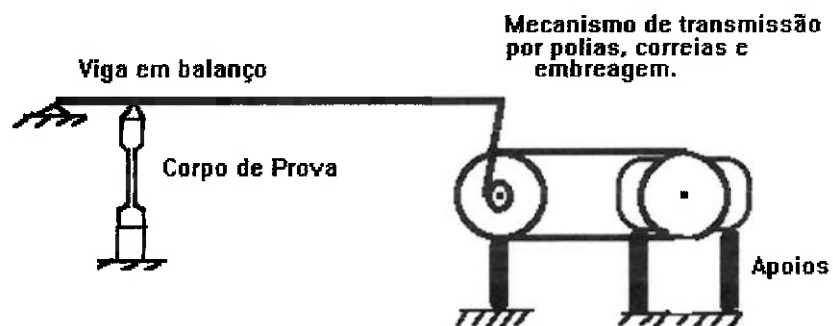


Figura 7 : Modelo 4 da Máquina de Fadiga Cíclica

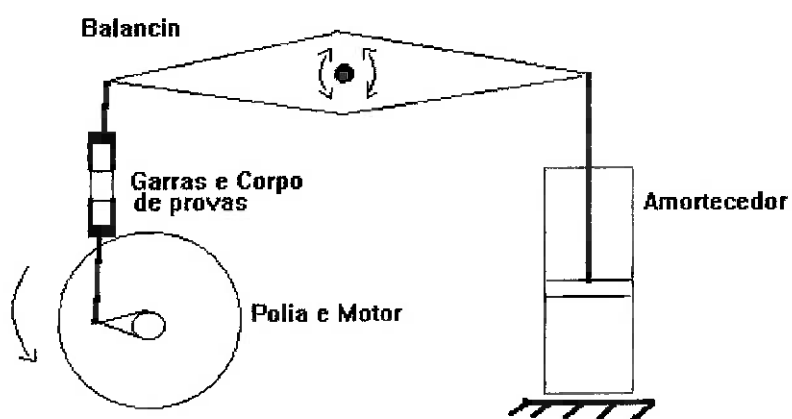


Figura 8 : Modelo 5 da Máquina de Fadiga Cíclica

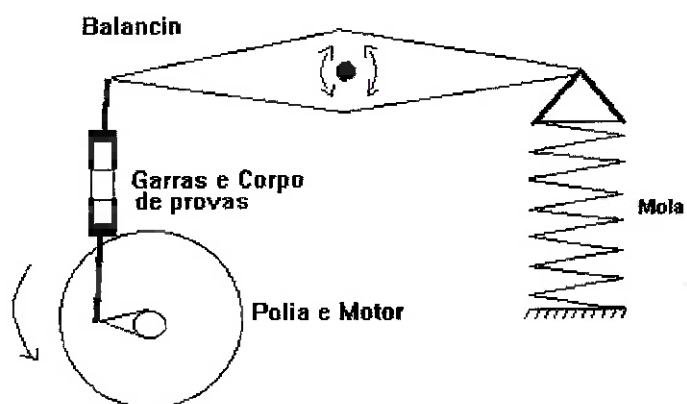


Figura 9 : Modelo 6 da Máquina de Fadiga Cíclica

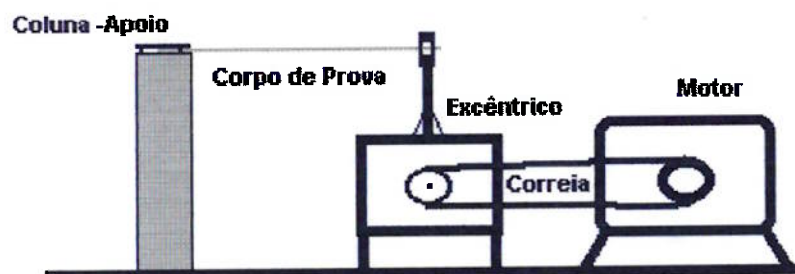


Figura 10 : Modelo 7 da Máquina de Fadiga Cíclica

Expostas as alternativas (modelos) para os projetos, construiu-se a matriz de decisão para escolha da alternativa mais viável. Tal matriz engloba-se nos conceitos do Projeto Básico e será visto a seguir.

2.7.2. Análise e Fundamentação Financeira

Analizando financeiramente os quatro primeiros modelos, percebemos que os mesmos pouco diferem com relação ao custo pois, eles englobam um motor, um mecanismo de transmissão, uma viga em balanço, um corpo de prova e garras ou suportes de fixação. A diferença de custo surge nos diferentes métodos de fabricação das peças, na quantidade de usinagem requerida por cada uma e na quantidade de material despendida em cada peça. Somado à estes fatores, tem-se que levar em consideração o custo de operação da máquina, ou seja, o valor gasto em cada modelo com manutenção.

Os modelos propostos são viáveis em termos de fabricação e de manutenção pois, os mesmos necessitam de peças que podem ser obtidas, com um custo relativamente baixo, em *ferro-velhos industriais*, e aquelas que não são tão comuns, podem ser fabricadas nos nossos laboratórios. Estima-se, através de cotações feitas com fornecedores, que o custo da máquina não ultrapasse R\$ 2.000 (no caso do modelo mais caro).

Sabemos que os ensaios de fadiga consomem um grande tempo e recursos financeiros. Cabe ao projetista minimizar o custo da máquina e maximizar o retorno que a mesma dará com os ensaios.

3. Projeto Básico

Nesta fase elabora-se o Projeto Preliminar que tem por objetivos estabelecer uma concepção geral para o protótipo a ser desenvolvido, que servirá de base para o projeto executivo ou de fabricação do protótipo.

Para atingir tal objetivo, faz-se uma análise comparativa entre as várias alternativas propostas, destacando-se pontos fortes e fracos de cada uma delas.

Uma forma sistemática de classificar as alternativas segundo os critérios de projeto é através de uma matriz de decisão. Esta matriz tem por entradas, os atributos (critérios de projeto) nas linhas e as várias alternativas desenvolvidas nas colunas. Atribui-se peso (grau de importância) a cada atributo. Associa-se uma nota a cada alternativa, obtendo-se assim a avaliação relativa entre as mesmas para aquele atributo. A soma destes graus multiplicados pelos seus pesos fornece valores globais que permitem a classificação da melhor alternativa, ou alternativas, que passarão para a próxima fase da Espiral do Projeto.

É importante ressaltar que um número excessivo de atributos na matriz pode não melhorar o resultado obtido, gerando uma ponderação inadequada.

3.1. Matriz de Decisão

Atributos para a Matriz de Decisão :

1. Segurança
2. Facilidade de Manutenção
3. Confiabilidade
4. Custo de Fabricação
5. Investimento Necessário
6. Performance
7. Durabilidade
8. Utilização de Componentes Disponíveis no Mercado
9. Funcionalidade
10. Facilidade De Fabricação
11. Tamanho

Matriz de Decisão :

Ítem	Peso (p)	Modelo 1		Modelo 2		Modelo 3		Modelo 4		Modelo 5		Modelo 6		Modelo 7	
		Nota	N*p	Nota	N*p	Nota	N*p	Nota	N*p	Nota	N*p	Nota	N*p	Nota	N*p
1	0.02	7	.14	7	.14	7	.14	7	.14	5	.10	5	.10	6	.12
2	0.03	7	.21	7	.21	7	.21	7	.21	8	.24	8	.24	6	.18
3	0.18	6	1.08	6	1.08	6	1.08	7	1.26	7	1.26	7	1.26	7	1.26
4	0.03	6	.18	6	.18	6	.18	5	.15	7	.21	7	.21	8	.24
5	0.03	8	.24	8	.24	7	.21	6	.18	6	.18	8	.24	9	.27
6	0.08	5	.40	5	.40	5	.40	5	.40	6	.48	6	.48	7	.56
7	0.07	7	.49	7	.49	7	.49	7	.49	5	.35	5	.35	9	.63
8	0.20	7	1.4	7	1.4	6	1.2	6	1.20	7	1.4	7	1.40	10	2.00
9	0.10	6	.60	6	.60	5	.50	5	.50	7	.70	7	.70	7	.70
10	0.15	7	1.05	5	.75	6	.90	5	.75	9	1.35	9	1.35	10	1.5
11	0.11	6	.66	6	.66	6	.66	6	.66	8	.88	8	.88	9	.99
Total	1	-	6.45	-	6.15	-	5.97	-	5.94	-	7.15	-	7.21	-	8.45

Figura 11 : Esquema de Matriz de Decisão

Nota-se, pela matriz acima, que o Modelo 7 apresenta a maior nota dentre os sete modelos. Tal fato explica-se pela simplicidade do modelo pelo atendimento às exigências funcionais.

4. Projeto Executivo

Nesta etapa pretende-se desenvolver a concepção global do projeto até sua realização física. Para tanto, o projeto executivo leva à construção de um protótipo a partir de um conjunto de instruções, especificações e desenhos finais. Este protótipo é avaliado e testado e conforme os resultados dos testes, são propostas

modificações e melhorias no sistema projetado até que este esteja adequado para produção ou uso.

O Projeto Executivo não é a etapa final de um projeto. Durante a vida de um protótipo são levantadas algumas falhas e modificações serão propostas (vide *Proposta de Aperfeiçoamento*).

Um documento típico desta etapa de planejamento de projeto executivo é apresentado a seguir. Trata-se de um cronograma onde disponibiliza-se as atividades (etapas) e respectivos tempos requeridos.

4.1. Etapas de Trabalho

A seguir estão relacionadas as etapas estabelecidas para este projeto :

1. Elaboração da Proposta de Projeto de Formatura
2. Levantamento das Referências Bibliográficas
3. Idealização da Máquina e Estabelecimento das Bases
4. Determinação das "Condições de Contorno" para o Dimensionamento da Máquina
5. Dimensionamento da Máquina
6. Análise dos Resultados
7. Reprojetado
8. Desenhos de Conjunto e Fabricação
9. Análise de Funcionamento e Viabilidade
10. Acertos ao Modelo Proposto
11. Levantamento das Necessidades Físicas e Orçamentária para o Projeto

12.Dissertação do Projeto

13.Fabricação e Compra dos Itens dimensionados

14.Montagem da Máquina

4.2. Cronograma

Estabeleceu-se como sendo 9 meses a duração do projeto e a distribuição das atividades (acima relacionadas) ao longo deste período encontra-se na tabela a seguir :

<u>ETAPAS</u>	<u>MESES</u>								
	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>3</u>	<u>4</u>	<u>5</u>	<u>6</u>	<u>7</u>	<u>8</u>	<u>9</u>
<u>1</u>									
<u>2</u>									
<u>3</u>									
<u>4</u>									
<u>5</u>									
<u>6</u>									
<u>7</u>									
<u>8</u>									
<u>9</u>									
<u>10</u>									
<u>11</u>									
<u>12</u>									
<u>13</u>									
<u>14</u>									

Figura 12 : Cronograma

4.3. Memorial de Cálculo

⇒ Para atingirmos cerca de 10 milhões de ciclos (número médio de ciclos para fadigar um corpo de provas) no menor tempo de ensaio disponível teríamos que selecionar o motor de maior rotação.

rotação escolhida do motor = 3600 rpm

⇒ Com esta rotação ter-se-ia :

$$\text{tempo médio de ensaio} = \frac{10^7}{3600 * 24 * 60} \approx 2 \text{ dias de ensaio}$$

⇒ Inicialmente estipulou-se o corpo de provas como sendo o modelo cilíndrico com seção crítica de $\phi = 10\text{mm}$ de diâmetro. Para um aço com tensão de escoamento $\sigma = 34 \frac{\text{Kgf}}{\text{mm}^2}$ (supondo que no mesmo só aja força normal) temos :

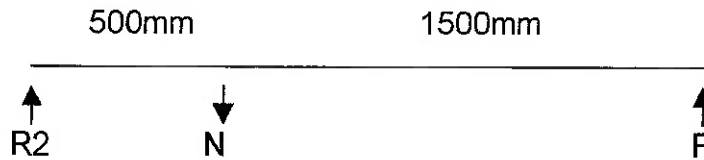
$$\sigma = \frac{N}{A} \quad \text{onde,}$$

$$A = \text{área da seção circular crítica do corpo de prova} = \frac{\pi * \phi^2}{4} = 78,54\text{mm}^2$$

⇒ Logo, $N \approx 2670 \text{ Kgf} \approx 26700 \text{ N}$

⇒ Adotando um "braço" de 1500mm (distância da ponta da viga ao corpo de prova) , força $N = 2500 \text{ Kgf}$ e supondo a viga como sendo um elemento rígido temos :

⇒ viga :



$$F + R2 - N = 0$$

$$1500 \cdot F - 500 \cdot N = 0 \Rightarrow N = 3 F$$

$$R2 = 2 F$$

⇒ Com $N = 2500 \text{ Kgf}$ temos :

$$F \approx 833 \text{ kgf}$$

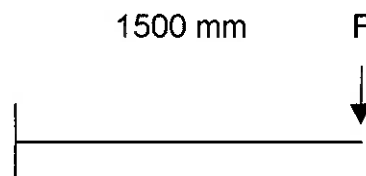
$$R2 \approx 1666 \text{ Kgf}$$

⇒ Escolhendo-se uma viga de perfil em " I " temos que :

$$E = \text{módulo de elasticidade} = 21000 \frac{\text{Kgf}}{\text{mm}^2}$$

$$I = \text{momento de inércia} = 2348 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

⇒ Supondo que na seção não haja deslocamento vertical, temos um suposto engastamento neste ponto e a viga funciona conforme o modelo seguinte :



⇒ O deslocamento vertical na ponta da viga será :

$$\delta v = \frac{F \cdot l^3}{3 \cdot E \cdot I} = 1,9 \text{ mm}$$

⇒ Desta forma a excentricidade necessária para promover tal deslocamento é:

$$\delta v = \frac{2\pi e}{4} \Rightarrow e = 1,21 \text{ mm}$$

(ou seja, a cada $\frac{1}{4}$ de volta da polia temos um deslocamento vertical δv)

$$C = F * e = 833 * 1,21 = 1007,9 \text{ kgf} * \text{mm}$$

⇒ Multiplicando-se este conjugado por um fator de serviço de 1,3 temos :

$$C_{\text{necessário}} = 1714 \text{ kgf} * \text{mm}$$

⇒ Dos Catálogos Técnicos temos que :

conjugado disponível em um motor de 10 cv / 3600 rpm $\Rightarrow C = 2040 \text{ Kgf} * \text{mm}$

⇒ Logo seleciona-se um motor de 10 cv / 3600 rpm / 60 Hz para tal aplicação.

Nota-se que estes 3 modelos apresentam a inconveniência de requerer uma excentricidade muito baixa. Isto acarreta dificuldade na fabricação pois, o valor de $e = 1,21 \text{ mm}$ é muito pequeno. Somado a isso, o comprimento de 2000 mm da viga é um tanto exagerado para as dimensões desta máquina. Para diminuir este tamanho, ou agilizar o ensaio, teríamos que aumentar a potência do motor, inviabilizando ainda mais o projeto.

Mantendo-se a especificação do motor de 10 cv / 3600 rpm / 60 Hz / trifásico, para garantir a aplicação de uma força considerável no corpo de provas e para agilizar o ensaio, partimos para a verificação do modelo 5 e 6.

Entrando em contato com fabricantes de amortecedores como NAKATA e COFAP, obteve-se a informação de que os amortecedores não poderiam ultrapassar a frequência de 100 rpm. Como temos o motor diretamente acoplado no amortecedor (relação 1:1), submetemos o amortecedor a uma rotação (3600 rpm) bem superior ao seu limite de fadiga , o que iria fadigar o amortecedor antes do corpo de prova. Somado a isso, no modelo 5 necessitaríamos de uma fonte de refrigeração forçada no amortecedor para tal aplicação, o que fugiria do escopo do nosso projeto.

⇒ Analisando agora o modelo 6, temos que :

K = constante de elasticidade de uma mola de caminhão F-4000 $\approx 7 \frac{Kgf}{mm}$ (dado fornecido pela Empresa FABRINI – Fabricante de Molas Automotivas)

x = máximo deslocamento contínuo permitido para esta mola sem ocorrer fadiga = 25 mm (dado fornecido pela Empresa FABRINI – Fabricante de Molas Automotivas)

F = força reativa da mola = $K * x = 175 \text{ kgf}$

⇒ Supondo que a distância entre braços sege igual nesse caso ($F_1 * L = F_2 * L$) temos que :

$$N = \text{número de molas necessárias} = \frac{2500}{175} \approx 15 \text{ molas}$$

Para diminuir o número de molas necessário teríamos que formar uma associação em paralelo e introduzir uma relação entre braços para poder aproveitar o momento aplicado entre corpo de prova e mola. Tal prática, inviabiliza este modelo pois, seria necessário uma haste de comprimento igual ao da viga dos modelos 1 a 4 e teríamos que aplicar dois conjunto de molas para o corpo de provas trabalhar em tração e compressão. Caso necessite aumentar o deslocamento das molas, estaríamos forçando a fadiga das mesmas antes do corpo de prova pois, o fabricante informou que em condições severas de testes, estas molas não ultrapassam 4000 ciclos, limite bem inferior ao do corpo de provas (10^7 ciclos).

Após a verificação que o ensaio de fadiga de tração-compressão (modelos 1 a 6) era inviável, optou-se pelo projeto de uma máquina de fadiga de flexão (modelo 7). Tal modelo mostrou ser mais viável, mais prático em termos de projeto, fabricação e manuseio. O projeto deste modelo foi um projeto adaptativo, ou seja, primeiro obteve-se os componentes disponíveis no mercado (ferro velho de sobras industriais) para depois adaptá-los ao protótipo e ao modelo de ensaio. Apenas alguns parâmetros foram obtidos por dimensionamento; são eles :

⇒ Cálculo do Número de Correias Necessárias (vide catálogo da GOODYEAR) :

$$\text{potência de projeto} = \text{HP} * \text{fator de serviço} = 10,06 * 1,3 = 13,1 \text{ HP}$$

$$\text{rotação do eixo mais rápido} = 3600 \text{ rpm}$$

⇒ Do catálogo de correias da GOODYEAR obtemos o perfil da correia ⇒ Perfil A

Estipulando uma distância entre centros de 270 mm temos :

$$L = \text{comprimento da correia} = 2 * C + 1,57(D + d) + \frac{(D - d)^2}{4 * C}$$

onde :

C = distância entre centros = 290 mm = 11,42 in (estipulada)

D = diâmetro da polia maior = 145 mm = 5,71 in

d = diâmetro da polia menor = 120 mm = 4,72 in

logo,

$$L \approx 39,24 \text{ in}$$

⇒ Escolhendo-se um perfil A-38 onde L = 39,3 in temos,

$$C_{\text{corrigido}} = C - \frac{L_{\text{calculado}} - L_{\text{tabelado}}}{2} = 11,45 \text{ in} \approx 291 \text{ mm}$$

o fator de correção de arco de contato para este caso $F_{ac} = 1$

o fator de correção de comprimento para este caso é $F_l = 0,89$

o HP por correia neste caso é 5,04 HP

o HP adicional neste caso é 0,36 HP

o HP classificado será = 5,04 + 0,36 = 5,4 HP

o HP efetivo será = HP classificado * F_{ac} * F_l = 4,81 HP

$$\Rightarrow \text{o número de correias será} = \frac{HP_{\text{projeto}}}{HP_{\text{efetivo}}} = \frac{13,1}{4,81} = 3 \text{ correias}$$

⇒ Dimensionamento da base da máquina :

Da tabela de vigas em “ U ” (encontrada em livros de Resistência dos Materiais – vide [2] Gere, J.M. ; Weaver W. *Análise de Estruturas Reticuladas*. Editora Guanabara), selecionamos uma viga padrão. No pior caso, cada viga da estrutura estará submetida somente à flexão (força normal é desprezível). Logo, podemos verificar se a viga (80 X 80 x 80 mm) com o menor momento de inércia (55,8 cm⁴) atende às nossas necessidades.

⇒ A seção crítica da base estará na metade do comprimento da mesma. Como o comprimento estipulado da base é de 1000 mm temos que, $\frac{L}{2} = 500mm$ e o momento admissível será :

$$\sigma = \frac{M * y}{I} \Rightarrow M = \frac{\sigma * I}{y} = \frac{34 * 55,8 * 10^4}{\frac{80}{2}} = 474,3 * 10^3 \text{ Kgf *mm}$$

logo, na metade da estrutura poderá ser aplicada a seguinte força :

$$F = \frac{M}{\frac{L}{2}} = \frac{474,3 * 10^3}{\frac{500}{2}} = 1897 \text{ Kgf}$$

(como utilizaremos duas vigas em paralelo a força admissível será o dobro da calculada acima)

No pior caso, teremos a força do excêntrico e o peso da estrutura e componentes aplicada à seção crítica. Esta peso resultante está estimada em:

$$P_{\text{resultante}} = F_{\text{excêntrico}} + P_{\text{motor}} + P_{\text{estrutura e componentes}} = 200 + 60 + 200 = 460 \text{ kgf}$$

Logo, o modelo de viga selecionado atende à nossa exigência com uma considerável margem de segurança. Esta margem de segurança é necessária

pois, a estrutura deve manter-se rígida (sem vibrações) durante o ensaio e somado a este fator, desejamos futuramente ensaiar corpos de prova mais resistentes, o que demandará maior solicitação da estrutura.

Com este modelo de viga selecionado, podemos construir o modelo de base apresentado ao final deste trabalho.

⇒ Seleção do excêntrico :

Tal componente necessita ser rígido, tolerar rotação de 3600 rpm (no pior caso), possuir deslocamento vertical de aproximadamente 20 mm e resistir forças inferiores a 200 Kgf (no pior caso). Tal componente foi encontrado em um depósito de sobras industriais.

⇒ Seleção da base de apoio para o corpo de provas :

Tal componente necessita ser rígido, tolerar grandes momentos (da ordem de 1800 Kgf * mm) e ter peso considerável para amortecer vibrações. Esse componente foi adaptado de uma carcaça de bomba que atendia aos requisitos acima.

⇒ Verificação da máxima espessura possível do corpo de provas a ser ensaiado :

$$\text{tensão de escoamento de um aço comum} = \sigma_e = 40 \frac{\text{Kgf}}{\text{mm}^2}$$

supondo :

largura máxima do corpo de provas = 70 mm

comprimento máximo do corpo de provas = 300 mm

força máxima aplicada no corpo pelo excêntrico = 149 Kgf

$$\text{momento de inércia do corpo} = \frac{b * h^3}{12} = \frac{70 * y^3}{12}$$

$$M = \text{momento aplicado na seção crítica} = 149 * 300 = 44,7 * 10^3 \text{ Kgf} * \text{mm}$$

$$\sigma = \frac{M * y}{I} \Rightarrow 40 = \frac{44,7 * 10^3 * 12 * y}{70 * y^3} \Rightarrow y \approx 14 \text{ mm}$$

logo a espessura máxima do corpo de prova a ser ensaiada é $2y = 28 \text{ mm}$

Tal espessura pode ser modificada alterando-se as dimensões do corpo de provas.

\Rightarrow Verificação da tensão no corpo de prova :

\Rightarrow Adotando um corpo de provas com área de seção crítica quadrada de 10 mm de espessura e 20 mm de comprimento, temos :

$$I = \text{momento de inércia} = \frac{b * h^3}{12} = \frac{20 * 10^3}{12} \approx 1667 \text{ mm}^4$$

\Rightarrow O deslocamento vertical provocado pelo excêntrico comprado será de 20mm (tração) e 20mm (compressão), logo :

$$\delta v = \frac{F * l^3}{3 * E * I} = 20 \text{ mm}$$

⇒ Para um corpo de prova com L = 300 mm de comprimento temos :

$$F = \text{força aplicada na ponta do corpo} = \frac{\delta v * 3 * E * I}{l^3} = 77,8 \text{ Kgf}$$

$$\sigma = \frac{M * y}{I} = \text{tensão aplicada na seção crítica} = \frac{77,8 * \frac{10}{2}}{1667} = 0,234 \frac{\text{Kgf}}{\text{mm}^2}$$

Para tal situação, estima-se que o corpo de provas não venha a fadigar pois, a tensão aplicada na seção crítica é muito pequena comparada com o limite Se (limite de fadiga) de um aço comum.

⇒ Para um corpo de prova com L = 150 mm de comprimento temos :

$$F = \text{força aplicada na ponta do corpo} = \frac{\delta v * 3 * E * I}{l^3} = 622,4 \text{ Kgf}$$

$$\sigma = \frac{M * y}{I} = \text{tensão aplicada na seção crítica} = \frac{622,4 * \frac{10}{2}}{1667} = 18,67 \frac{\text{Kgf}}{\text{mm}^2}$$

Para esta situação estima-se que o corpo de provas venha a fadigar com aproximadamente 10^7 ciclos, ou seja, aproximadamente dois dias de ensaio (para motor a 3600 rpm). Tal estimativa baseia-se em ensaios já feitos com aços comuns (1020, 1035, ...)

As duas situações acima retratam os dois limites de tamanho que um corpo de prova pode assumir regulando-se a distância da base-apoio (vide foto do protótipo) ao excêntrico. A primeira promove um ensaio mais longo pois, a tensão aplicada é pequena comparada com o limite de fadiga para aços. Já a segunda alternativa, faz com que o corpo de prova fadigue mais rápido pois, o corpo de prova é menor e a tensão aplicada é quase metade do limite de fadiga para aços comuns. É importante observar que o segundo extremo ($\sigma = 18,67 \frac{Kgf}{mm^2}$) está próximo de $\frac{2}{3}$ do limite de tração para um aço comum (no caso de um aço de $40 \frac{Kgf}{mm^2}$ de limite de tração). Tal situação retrata um dos patamares da curva S-N a ser construída.

4.4. Especificação e Custo dos Componentes

- ✓ Motor trifásico 10cv / 3520 rpm da marca WEG = R\$ 150,00 (usado)
- ✓ Excêntrico com 40mm de deslocamento vertical = R\$80,00 (usado)
- ✓ Contador Digital (12 V) de 5 dígitos = R\$20,00 (usado)
- ✓ Sensor de Proximidade (12 V) da Marca Sense = R\$20,00 (usado)
- ✓ 2 Vigas em " U " (80 x 80 x 80 mm) 1000mm de comprimento / 6mm de espessura = R\$25,00 (novas)
- ✓ 2 Vigas em " U " (80 x 80 x 80 mm) 500mm de comprimento / 6mm de espessura = R\$25,00 (novas)
- ✓ 4 Vigas em " U " (80 x 80 x 80 mm) 500mm de comprimento / 6mm de espessura = R\$20,00 (usado)
- ✓ Base em ferro fundido 350mm (altura), 300mm (largura), 200mm (comprimento), para apoio do corpo de prova = R\$20,00 (valor estimado)
- ✓ 3 Correias perfil A-38 = R\$18,00 (novas)
- ✓ 4 Vibrastop = R\$20,00 (usados)
- ✓ Polia 3 canais perfil A $\Phi=120mm$ = R\$5,00 (usada)
- ✓ Polia 3 canais perfil A $\Phi=145mm$ = R\$5,00 (usada)
- ✓ Hastes, parafusos, eletrodos de solda = R\$20,00 (valor estimado)

- ✓ Base em ferro fundido 350mm (altura), 300mm (largura), 200mm (comprimento), para apoio do corpo de prova = R\$20,00 (valor estimado)
- ✓ 3 Correias perfil A-38 = R\$18,00 (novas)
- ✓ 4 Vibrastop = R\$20,00 (usados)
- ✓ Polia 3 canais perfil A $\Phi=120\text{mm}$ = R\$5,00 (usada)
- ✓ Polia 3 canais perfil A $\Phi=145\text{mm}$ = R\$5,00 (usada)
- ✓ Hastes, parafusos, eletrodos de solda = R\$20,00 (valor estimado)

TOTAL DO CUSTO DA MÁQUINA = R\$ 428,00

A construção do protótipo exigiu a demanda de aproximadamente 2 homens/hora num período de 10 dias. A maior parte do tempo foi utilizada para solda da base da máquina, corte de vigas e adequação dos furos dos componentes à estrutura.

5. Fotos do Protótipo Construído





6. Proposta de Aperfeiçoamento

Com o fim da construção do protótipo, notou-se que o mesmo poderia passar por melhorias até promover o Ensaio de Fadiga Normalizado. Tal proposta de melhoria encontra-se abaixo :

- ✓ Aperfeiçoamento da transmissão do movimento vertical do excêntrico ao corpo de prova (acoplamento de guias ao excêntrico)
- ✓ Construção de painel de controle com chave de acionamento, contador digital e tacômetro
- ✓ Instalação do sensor de pulsos próximo ao corpo de prova
- ✓ Projeto de um tensor de correias
- ✓ Cobertura da estrutura com chapas laminadas para melhor acabamento
- ✓ Pintura da estrutura para melhor estética
- ✓ Verificação de viabilidade de troca do motor trifásico por um motor de rotação variável acoplado a um potenciômetro
- ✓ Projeto de dispositivo para parada do motor ao fim do ensaio

Tais modificações promoverão a melhora da atual situação do protótipo, viabilizando desta forma, a concretização da proposta de ensaios de novos materiais.

7. Conclusão

A construção da Máquina de Fadiga Cíclica mostrou-se ser um projeto inovador e de grande porte. Tal tipo de projeto requer um amplo conhecimento teórico, por parte do engenheiro, pois, foram abordados conhecimentos adquiridos durante os cinco anos de vida acadêmica, tais como : Resistência dos Materiais, Eletrônica, Comportamento Mecânico dos Materiais, Teoria da Vibração, Ensaaios Mecânicos e Habilidades Práticas no Laboratório de Oficina Mecânica. Tais tópicos cobrem quase que toda a área profissional de atuação de um Engenheiro Mecânico.

Como pontos fortes deste projeto temos a absorção dos seguintes tópicos e ou conceitos : aprendizado no cumprimento de cronograma, o aprendizado na adequação de projeto às normas técnicas, a modificação (reprojeção) de protótipo, a habilidade de pesquisa e aplicação da teoria adquirida.

Entretanto, durante os nove meses de projeto, notou-se que um melhor desempenho poderia ter sido adquirido com a introdução de uma dupla ou equipe para a divisão de tarefas, promovendo a interação de idéias, melhorias e adequação do projeto final à vida prática, promovendo ao final, a prática de ensaios e fabrico de diversos tipos de corpos de prova.

Espera-se que tal Proposta de Melhoria da Máquina de Fadiga sege levada adiante para que com isso, dê-se início à um outro grande projeto : o de construção de um Laboratório de Ensaaios Mecânicos na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

8. Breve Revisão Bibliográfica

A bibliografia que rege este projeto é aquela relacionada com os Ensaios de Fadiga Cíclica, aos Projetos e Normas de Máquinas e às Normas de Ensaios de Fadiga e Corpos de Prova. Abaixo encontra-se uma pequena amostra da Bibliografia utilizada durante o Projeto.

9. Referências Bibliográficas

[1] Manfé, Giovanni ; Rino, P. ; Scarato, G. **Desenho Técnico Mecânico**. Vol. 1, 2, 3. Principato Editore Milano. Hemus Livraria Editora LTDA.

[2] Gere, J.M. ; Weaver W. **Análise de Estruturas Reticuladas**. Editora Guanabara.

[3] Gere, J.M. ; Timoshenko, S. **Mechanics of Materials**. 2.ed. PWS Engineering Berkshire Van Nostrand.

[4] Serensen, S.V. ; Garf, M.E ; Kuzmeguko, V.A . **The Dynamics of a Fatigue-Testing Machine**. Printed in Jerusalem.

[5] Weibull, W. **Fatigue Testing and Analysis Results**. Pergamon Press, 1961. (Sweden)

[6] Griffel, W. **Handbook of Formulas for Stress and Strain**. Frederick Ungar Publishing CO, New York 1966.

[7] Juvinall, R. ; Marshek K.M. **Fundamentals Of Machine Component Design**. Second Edition. John Wiley & Sons, 1991.

[8] Souza, Sérgio Augusto. **Ensaio Mecânicos de Materiais Metálicos**. Editora Edgard Blucher Ltda. Editora da Universidade de São Paulo.

Catálogos Técnicos :

[1] **Stromag**. Fricções - Freios - Acoplamentos.

[2] **Weg**. Motores Trifásicos de Alto Rendimento.

[3] **NSK**. Rolamentos.

[4] **SKF**. Catálogo Geral.

[5] **Goodyear**. Correias V - Polias.

[6] **LUK**. Embreagens.

[7] **Fabrini**. Molas Helicoidais.

*Normas **ASTM**, designação :*

[1] D3552-77

[2] E466-96

[3] E467-90

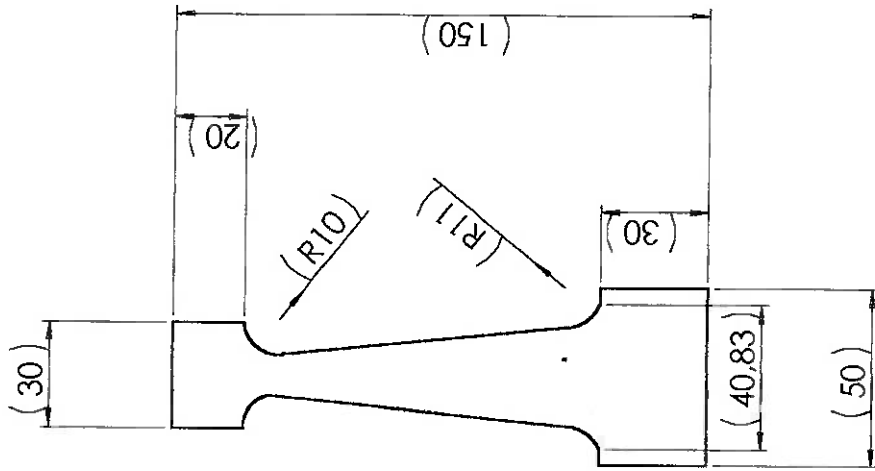
[4] E468-90

[5] E606-92

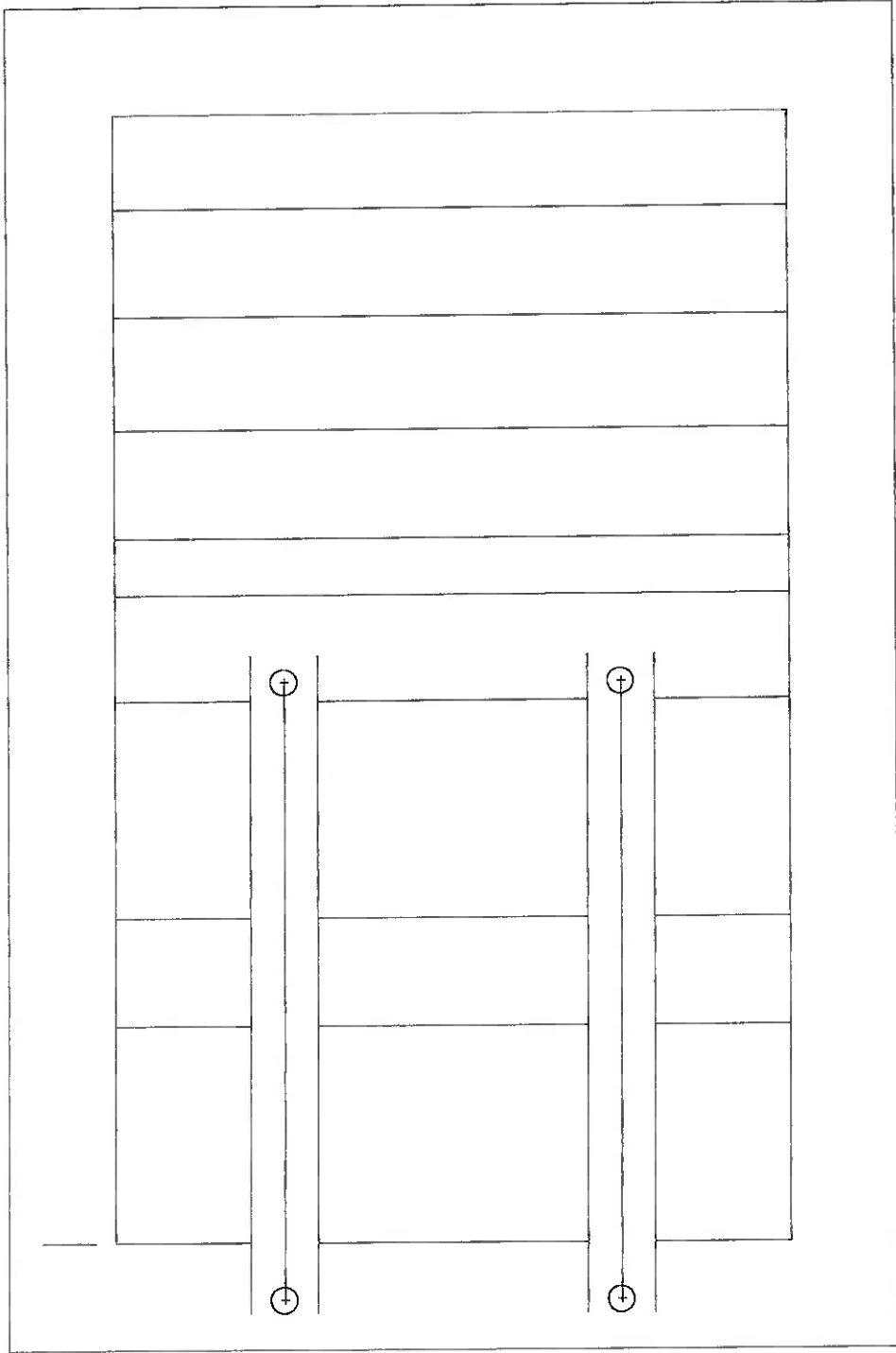
[6] E739-91

[7] E251-92

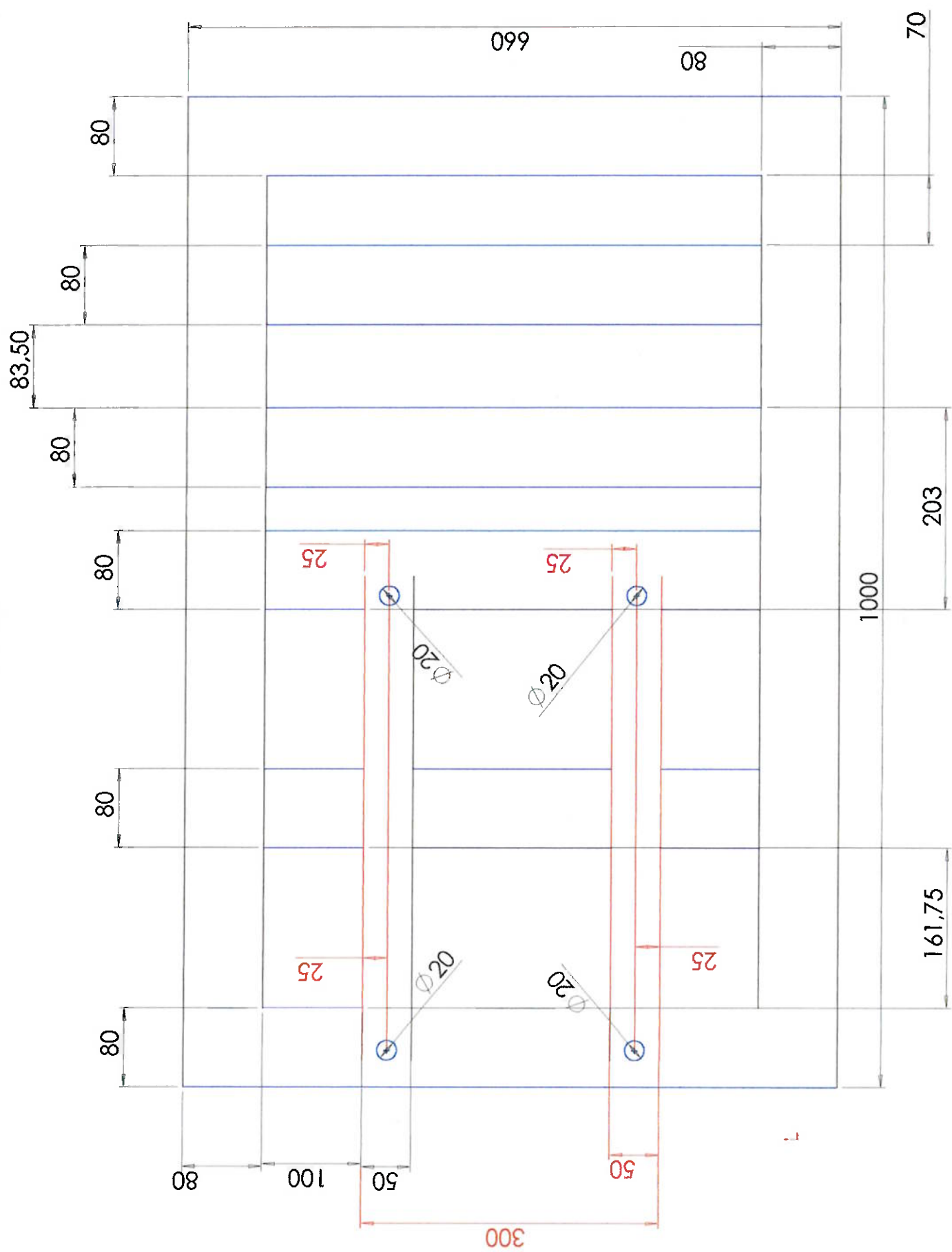
ANEXOS : Desenhos de Fabricação

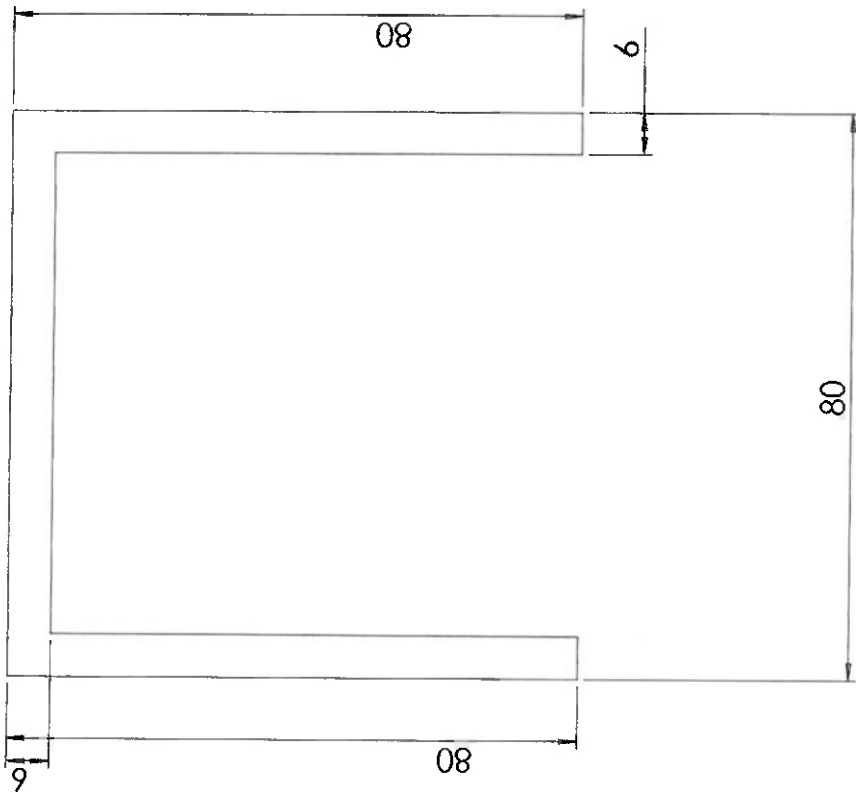


PART OR IDENTIFYING NO.	NOMENCLATURE OR DESCRIPTION	MATERIAL SPECIFICATION	QTY REQD
PARTS LIST			
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED DIMENSIONS ARE IN INCHES TOLERANCES ARE:		ESCALA POLITÉCNICA DA USP	
FRACTIONS	DECIMALS	ANGLES	
+ .XX+ .XX	+ 1		
+ .XXX+ .XXX			
MATERIAL		CORPO DE PROVA	
Aço		Milton Antoniolli Junior	
FINISH		Fetador:	
Usinado		Orientador:	
DO NOT SCALE DRAWING		A Prof. Dr. Edison Gonçalves	
APPLICATION		SCALE: 1:2	
NEXT ASSY		REV.	
USED ON		SHEET OF	



PART OR IDENTIFICATION		NOMENCLATURE OR DESCRIPTION		MATERIAL SPECIFICATION		QTY REQD
PARTS LIST						
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED DIMENSIONS ARE IN INCHES				CAD GENERATED DRAWINGS DO NOT MANUALLY UPDATE		
TOLERANCES ARE:				DATE		
FRACTIONS DECIMALS ANGLES				DRAWN		
+ .XX+ .XX + 1				CHECKED		
XXX+XXX				REVISIONS		
MATERIAL --				FIELD FOR:		
FINISH --				SIZE		
DO NOT SCALE DRAWING				SCALE		
APPLICATION				REV		
A				A		
Escola Politécnica da USP				Desenho: Base da Máquina		
Milton Antoniolli Junior				Field for:		
Prof. Dr. Edison Gonçalves				SHEET OF		





ITEM NO.	PART OR IDENTIFYING NO.	REVISIONS OR DESCRIPTION	MATERIAL SPECIFICATION	QTY. REQD.
PARTS LIST				
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED DIMENSIONS ARE IN INCHES TOLERANCES ARE: FRACTIONS DECIMALS ANGLES + .XX+ .XX + 1 XXX+XXX		CAD GENERATED DRAWING NO. DO NOT MANUALLY UPDATE APPROVALS DRAWN CHECKED PEEPERS MATERIAL FINISH	< INSERT YOUR COMPANY NAME HERE > Desenho : Perfil da viga da Base da Máquina Feito por : Milton Antoniolli Junior	
APPLICATION		DO NOT SCALE DRAWING	SCALE	SHEET OF
5		4	2	1
6		3	2	1
7		3	2	1
8		3	2	1
9		3	2	1
10		3	2	1
11		3	2	1
12		3	2	1
13		3	2	1
14		3	2	1
15		3	2	1
16		3	2	1
17		3	2	1
18		3	2	1
19		3	2	1
20		3	2	1
21		3	2	1
22		3	2	1
23		3	2	1
24		3	2	1
25		3	2	1
26		3	2	1
27		3	2	1
28		3	2	1
29		3	2	1
30		3	2	1
31		3	2	1
32		3	2	1
33		3	2	1
34		3	2	1
35		3	2	1
36		3	2	1
37		3	2	1
38		3	2	1
39		3	2	1
40		3	2	1
41		3	2	1
42		3	2	1
43		3	2	1
44		3	2	1
45		3	2	1
46		3	2	1
47		3	2	1
48		3	2	1
49		3	2	1
50		3	2	1
51		3	2	1
52		3	2	1
53		3	2	1
54		3	2	1
55		3	2	1
56		3	2	1
57		3	2	1
58		3	2	1
59		3	2	1
60		3	2	1
61		3	2	1
62		3	2	1
63		3	2	1
64		3	2	1
65		3	2	1
66		3	2	1
67		3	2	1
68		3	2	1
69		3	2	1
70		3	2	1
71		3	2	1
72		3	2	1
73		3	2	1
74		3	2	1
75		3	2	1
76		3	2	1
77		3	2	1
78		3	2	1
79		3	2	1
80		3	2	1
81		3	2	1
82		3	2	1
83		3	2	1
84		3	2	1
85		3	2	1
86		3	2	1
87		3	2	1
88		3	2	1
89		3	2	1
90		3	2	1
91		3	2	1
92		3	2	1
93		3	2	1
94		3	2	1
95		3	2	1
96		3	2	1
97		3	2	1
98		3	2	1
99		3	2	1
100		3	2	1