

UNESP
Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá

Guaratinguetá
2002



***"Projeto e Construção de um
Equipamento para Ensaaios de
Flexão Rotativa"***

JOSÉ VITOR CÂNDIDO DE SOUZA

164

unesp

CARO LEITOR NÃO
RISQUE O LIVRO

**PROJETO E CONSTRUÇÃO DE UM EQUIPAMENTO
PARA ENSAIOS DE FLEXÃO ROTATIVA**

JOSÉ VITOR CÂNDIDO DE SOUZA

Dissertação apresentada à Faculdade
de Engenharia de Guaratinguetá da
Universidade Estadual Paulista, para
a obtenção do título de Mestre em
Engenharia Mecânica

Orientador: Prof. Dr. João Zangrandi Filho

FACULDADE DE ENGENHARIA
DE GUARATINGUETÁ

BIBLIOTECA

00488

488

Guaratinguetá
2001



24/6/02
R\$ 20,00
Doação

S728p Souza, José Vitor Cândido de
Projeto e construção de um equipamento para ensaios de flexão rotativo / José Vitor Cândido de Souza. – Guaratinguetá : [s.n.], 2001
79f. : il.

Bibliografia: f. 76-79
Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2001
Orientador: Prof. Dr. João Zangrandi Filho

1.Projeto mecânico I. Título

CDU 621.001.63

**“PROJETO E CONSTRUÇÃO DE UM EQUIPAMENTO
PARA ENSAIOS DE FLEXÃO ROTATIVA”**

JOSÉ VITOR CÂNDIDO DE SOUZA

**ESTA DISSERTAÇÃO FOI JULGADA ADEQUADA PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
“MESTRE EM ENGENHARIA MECÂNICA”**

**ESPECIALIDADE: ENGENHARIA MECÂNICA
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: PROJETOS E MATERIAIS**

APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO



Prof. Dr. José Luz Silveira
Coordenador

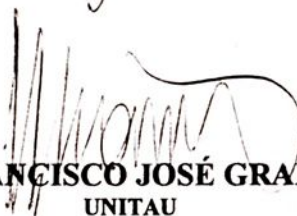
BANCA EXAMINADORA:



Prof. Dr. JOÃO ZANGRANDI FILHO
Orientador / Unesp-Feg



Prof. Dr. JOSÉ ELIAS TOMAZINI
Unesp-Feg



Prof. Dr. FRANCISCO JOSÉ GRANDINETTI
UNITAU

Dezembro de 2001

DADOS CURRICULARES

JOSÉ VITOR CÂNDIDO DE SOUZA

NASCIMENTO: 04.02.1964 – Lorena - SP - BRASIL

FILIAÇÃO: Vitor Cândido de Souza
Noemia Cornélio de Souza

1990/1996: Curso de Graduação de Engenharia Mecânica
UNITAU – Universidade de Taubaté – SP



A Deus, pela vida, esperança e estímulo nas horas mais difíceis. A minha família, em especial aos meus pais e irmãos, a quem devo tudo que sou e que me mostraram os caminhos dos valores éticos, morais, cristãos e da verdade.

A minha esposa Maria de Fátima, minhas filhas Vanessa e Mayara pelo carinho, compreensão, companheirismo e dedicação. Ao Professor JOÃO ZANGRANDI FILHO, pela amizade.

AGRADECIMENTOS

A realização deste trabalho só foi possível graças a colaboração Direta ou indireta de muitas pessoas. Agradecimentos profundos E sinceros a todas elas que, de alguma forma contribuíram no Sentido de ser atingida esta importante meta em minha vida: a Dissertação de mestrado. De forma particular agradeço ao Prof. João Zangrandi Filho, não só pela orientação científica, Pedagógica, profissional e de vida, mas pela compreensão, Carinho, amizade ,otimismo ,incentivo e confiança para que Este trabalho viesse a ser realizado.

.



Loucura? Sonho?

Tudo é loucura ou sonho no começo.

Nada do que o homem fez no mundo
teve início de outra maneira, mas já
tantos sonhos se realizaram que não
temos o direito de duvidar de nenhum.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1.1	- Solicitações cíclicas de tensões.....	19
FIGURA 1.2	- Forma típica da curva $\sigma \times N$	21
FIGURA 1.3	- Antiga máquina para ensaio de fadiga.....	23
FIGURA 2.1	- Corpo de prova padronizado	31
FIGURA 2.2	- Célula de carga Kratos.....	33
FIGURA 2.3	- Sensor indutivo.....	34
FIGURA 2.4	- Porta pinças.....	35
FIGURA 2.5	- Posições dos rolamentos nos cabeçotes.....	36
FIGURA 2.6	- Rolamento rígido de esferas 6206.....	37
FIGURA 2.7	- Rolamento de rolos cilíndricos NU206.....	38
FIGURA 2.8	- Rolamentos 6206 e NU206 nas posições definidas.....	39
FIGURA 2.9	- Rolamento autocompensador de esferas 2206.....	40
FIGURA 2.10	- Posições definidas para os 3 rolamentos.....	41
FIGURA 2.11	- Cabeçote acionador e de tração completos.....	43
FIGURA 2.12	- Caixa estrutural, cabeçotes e motor elétrico.....	44
FIGURA 2.13	- Máquina completa.....	44
FIGURA 2.14	- Nomenclatura dos componentes.....	45
FIGURA 3.1	- Diagrama de blocos de variação da rpm.....	48
FIGURA 3.2	- Estrutura básica de um inversor de frequência trifásico.....	49
FIGURA 3.3	- Sinal de saída da célula de carga.....	50
FIGURA 3.4	- Gráfico da carga $\times$ tensão para a célula de ensaiada.....	52
FIGURA 3.5	- Esquema do indicador de carga.....	53
FIGURA 3.6	- Indicador de carga $\times$ tensão de saída na célula de carga....	55
FIGURA 3.7	- Sensor eletromagnético e roda dentada.....	57

FIGURA 3.8	- Diagrama de blocos do indicador de rpm.....	57
FIGURA 3.9	- Diagrama de blocos do contador de ciclos.....	58
FIGURA 3.10	- Diagrama de blocos do conversor A/D.....	59
FIGURA 3.11	- Esquema do circuito contador de ciclos.....	61
FIGURA 3.12	- Circuito divisor por 60.....	62
FIGURA 3.13	- Forma de onda quadrada apresentada pelo osciloscópio.....	63
FIGURA 4.1	- Máquina de ensaio montada vista pela parte traseira.....	68
FIGURA 4.2	- Máquina com inversor de frequência e circuito eletrônico.	69
FIGURA 4.3	- Circuito eletrônico montado em “wire-wrap “	70

LISTA DE TABELAS

TABELA 3.1 - Calibração da célula de carga	51
TABELA 3.2 - Comparação da carga real com o valor indicado no display.	55
TABELA 5.1 - Nível de ruído das máquinas.....	72

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Mf	- Momento fletor
A/D	- Analógico/Digital
ICL	- Tipo de circuito integrado
LED	- Diodo emissor de luz
CAD	- Desenho auxiliado por computador
kgf	- Kilograma –força
mm	- milímetro
rpm	- rotações por minuto
NU	- Tipo de rolamento de rolos cilíndricos
MVQ	- Silicone usado no lábio do retentor
ARP	- Norma americana para Oring
M5,M12	- Diâmetro dos parafusos em milímetro
CV	- Unidade de potência
Hz	- Unidade de frequência
P	- Número de polos do motor
DC	- Corrente contínua
IGBT	- Tipo de transistor(Isolated gate bipolar transistor)
PWM	- Modulação por largura do pulso(Pulse width modulation)
MT	- Motor trifásico
R,S,T	- Fases do sistema trifásico
mV	- Milivolt
BCD	- Decimal codificado em binário(Binary coded decimal)

CI	- Circuito integrado
pF	- Unidade de capacitância (picoFaraday)
k Ω	- Unidade de resistência (kOhm)
f	- Frequência
TTL	- Lógica transistor-transistor
XL,L	- Refere-se a largura das correias sincronizadoras
dbA	Unidade para medida do nível de ruído
S	- Tensão na curva de Wohler
N	- Número de ciclos na curva de Wohler
σ	- tensão mecânica

SOUZA, J.V.C. Projeto e Construção de um Equipamento para Ensaio de Flexão Rotativa. Guaratinguetá, 2001. 79p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia, Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista.

RESUMO

A máquina de ensaio de fadiga por flexão rotativa tem aplicação acadêmica e industrial. Uma pesquisa para se obter informações de projeto dessa máquina revelou que pouco existe na literatura especializada.

Dada a inexistência de literatura em língua portuguesa principalmente, e com vistas a reunir num só trabalho informações de funcionamento e de projeto, detalhes são mostrados em pormenores.

Este trabalho desenvolve um procedimento para o projeto e construção deste tipo de máquina para ser utilizado com apenas um corpo de prova. É um trabalho de “mecatrônica”, pois reúne projeto e construção do equipamento utilizando mecânica e eletrônica.

Dados obtidos nos ensaios feitos na máquina existente no departamento de materiais e tecnologia e comparados com valores utilizando esta máquina indicam excelentes resultados no nível de ruído, temperatura e na execução dos ensaios.

PALAVRAS – CHAVES : Fadiga, Projeto, Construção, “Mecatrônica”.

SOUZA, J.V.C. **Design and Manufacture of an equipment for testings in a rotating bending machine.** Guaratinguetá, 2001. 79 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia, Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista.

ABSTRACT

The rotating bending machine has industrial and academic applications. A literature research for obtaining design criteria for such machines revealed that little is published in the specialized literature.

Do to the lack of technical literature, mainly in portuguese, and aiming at to build in one work information about conception, running and design, details about its working principles is included.

This work presents a procedure for the design and manufacture of this kind of machine that can analyse only one specimen. This is a work dealing with mecatronics because it brings together the design and construction of an equipment where mechanics and electronics is utilized.

Data obtained from testings conducted on old machines and compared with those ones obtained from this new one reveal excellent results relating to noise and machine runing.

KEYWORDS: Fatigue, Design, Manufacture, Mecatronic.

1 INTRODUÇÃO

1.1 A historia da análise da fadiga

Define-se por fadiga o fenômeno da ruptura progressiva de materiais sujeitos a ciclos repetidos de tensão ou deformação

A primeira pesquisa conhecida e publicada sobre fadiga foi feita pelo alemão W. A. J. Albert em 1837, onde ele investigou falhas nos elos das correntes carregadoras das minas Clausthal na Alemanha, de acordo com www.mssoftware.com (2000).

Embora o assunto esteja sujeito a debate, o termo fadiga tem origem francesa datando de 1839 onde Jean Victor Poncelet foi o primeiro que usou a palavra para descrever componentes ou estruturas com existência de “cansaço” ou fadiga.

O inglês Braithwaite foi o primeiro a usar o termo num relatório de engenharia citando que Mr Field foi quem realmente primeiro usou o termo.

A fadiga embora discutida, talvez não seja o melhor termo. Metais e outros materiais não podem rejuvenescer por si próprios depois de um descanso suficiente grande, assim como podem os seres humanos cansados.

A palavra alemã para a fadiga é "betriebsfestigkeit" ou força operacional que é mais atual.

Por volta de 1840 a 1980 a revolução industrial estava entre nós. A indústria ferroviária estava se expandindo, mas sofrendo severos retrocessos devido acidentes desastrosos e fatais causados por falha de fadiga.

Isso inspirou o mais famoso de todos os pesquisadores de fadiga o alemão August Wöhler, conhecido como pai da fadiga.



Em 1849 em um fórum na Inglaterra, concluíram que a fadiga era causada pela cristalização do metal. Portanto, nasceu a teoria da cristalização. Isto foi determinado pela inspeção cuidadosa de falha em componentes, segundo www.mscsoftware.com (2000). Em 1870 o alemão August Wöhler relatou resultados de seus famosos testes em eixos de rodas de trens.

Os testes consistiam em ensaiar eixos de rodas de trem sob tensão, em diferentes níveis de carga em máquina de flexão rotativa. Isso deu origem a curva de Wöhler ou S-N como nós conhecemos até os dias de hoje, a qual relaciona a tensão nominal com a vida em fadiga. Esse método de análise de fadiga é predominante, ainda nos dias de hoje.

Grande avanço em tecnologia de fadiga veio com outro alemão, J. Bauschinger que em 1886 documentou o efeito do limite elástico causado por cargas repetitivas. Isso se tornou conhecido como o efeito Bauschinger, conforme www.mscsoftware.com (2000).

Antes de 1903 dois ingleses, Ewing e Humphrey discordaram da teoria da cristalização. Isso foi possível, principalmente, devido à invenção do microscópio, o qual revelou que todos os metais são cristalinos por natureza. A fadiga é devido ao deslizamento da estrutura cristalina nos planos a 45° relativos à carga aplicada.

Logo após a virada do século XIX, o avião foi inventado. Portanto, a falha por fadiga tornou-se mais crítica e uma nova ênfase foi dada à mesma, nascendo assim a mecânica da fratura. Em 1920 o inglês Griffith criou a mecânica da fratura por investigação de trincas em vidros.

A curva S-N não era representada em forma de equação até 1910. Por volta de 1936 ela foi denominada curva de Wöhler.

Durante o período de 1924 a 1945 a regra de soma de danos cumulativos de Palmgren-Miner foi proposta como uma maneira para somar danos de



diferentes eventos ou ciclos de fadiga, primeiro pelo engenheiro sueco A. Palmgren e ressuscitado 20 anos depois por M. A. Miner.

Mais tarde o inglês Bairstow desenvolveu os conceitos de endurecimento ou amolecimento cíclicos, estudando os efeitos de carga repetitiva na maioria dos metais. Isso deu base para os americanos Manson e Coffin, na década de 1950, para desenvolverem trabalhos em fadiga de baixos ciclos, de acordo com www.mscsoftware.com (2000).

A invenção da máquina servo-hidráulica contribuiu para um novo método de teste e análise de fadiga. Com o avanço dessas máquinas os engenheiros puderam fazer teste de controle de deformação com alta precisão, ao contrário de controlar carga ou tensão. Em 1950 Manson e Coffin tiraram vantagem dessa nova tecnologia e do trabalho institucional de Bauschinger.

Paul Paris (1959) apresentou o primeiro método sistemático de controle de propagação de trinca, baseando-se no trabalho de Griffith.

A equação de Paris, ou às vezes chamada de lei Paris, relaciona a velocidade do crescimento da trinca com a intensidade de tensão e a força motivadora atrás da propagação de trinca, de acordo com Pastoukhov (1995).

Em 1968 Matsuishi e Endo inventaram a contagem de ciclos, inspirado nas gotas de chuva que caíam do telhado de um templo japonês. Isto foi o maior avanço dando origem ao primeiro método confiável para a determinação do ciclo de fadiga.

Na década de 1980 avanços em computadores e tecnologia de fadiga permitiram resolver problemas mais complexos.

Outros avanços aconteceram em meados dos anos 90 como, por exemplo, as novas técnicas multiaxiais e outros métodos de correção. Como vimos, os avanços na tecnologia de fadiga, nos últimos 150 anos, foram feitos por muitos colaboradores.



Em 1982, os laboratórios Battelle foram comissionados pelo governo dos Estados Unidos para estimar o custo anual da fadiga e fratura para economia do país. Battelle concluiu que o custo estava em 4.4 % do produto interno bruto (PIB), ou em outras palavras, bilhões de dólares. Eles aprenderam que esse custo poderia ser reduzido de 29% deste total através da aplicação de tecnologias modernas.

1.2 Conceito de fadiga

Fadiga é o fenômeno que ocorre em materiais quando sujeitos, a ciclos repetitivos de tensão ou deformação, e se caracteriza pelo rompimento da peça a uma tensão inferior àquela necessária para que haja a fratura do material devido à aplicação de uma carga estática. É, portanto, um problema que pode afetar qualquer componente submetido a solicitação dinâmica, de acordo com Miller(1993). O estudo deste fenômeno é de importância crucial na fabricação de máquinas e estruturas, visto que as grande maiorias das rupturas ocorridas em serviço envolvem fadiga. Um dos primeiros estudos foi realizado por volta de 1850 por August Wöhler, onde eixos de rodas de trens fraturavam em serviços, embora projetados de acordo com os critérios por resistência estática. Estas fraturas ocorriam sob condições de carregamento normal.

A fadiga também é considerada uma falha progressiva de um corpo mecânico que se encontra sujeito a cargas cíclicas de amplitude constante e, ou variável.

O processo de falha por fadiga de um material é iniciado pela formação de microtrincas que coalescem, crescem e se tornam macrotrincas que se propagam até que ocorra a ruptura final. Nas condições normais de trabalho de um componente, as trincas por fadiga iniciam-se em função de singularidades (riscos, rasgos de chavetas, filetes de roscas, furos, cantos vivos, rugosidade na

superfície, porosidades, inclusões, danos externos provocados por ferramentas, mudanças de seção, pontos de corrosão, e contornos de grãos) presentes na superfície do componente ou logo abaixo da mesma deixando o local tensionado muitas vezes maiores que a tensão nominal da seção.

As microtrincas podem também estar presentes no material como resultado de operações de solda, rebitagem, tratamentos térmicos, trabalhos mecânicos, etc., conforme Dieter (1981), Blodgett (1991) e Antunes (1997).

A vida em fadiga de componentes submetidos a carregamentos cíclicos é consumida em aproximadamente 90% na fase de propagação estável da trinca. A falha por fadiga ocorre em função da nucleação e propagação de uma ou mais trincas.

1.3 Ciclos de tensões encontrados nas máquinas de fadiga de flexão rotativa

Pode-se utilizar também como exemplo de ciclos de tensão o avião que durante um voo, está sujeito a cargas repetidas das mais variadas grandezas e frequências. As condições de operação envolvem decolagem e aterrissagem a altas cargas e voo a altas velocidades. O avião hoje projetado é o resultado de critérios de cálculos em que são avaliados não só a resistência da estrutura, mas também a duração da sua vida. Estima-se que cerca de 90% das falhas em serviços de componentes que sofrem movimento de uma forma ou de outra, podem ser atribuídas à fadiga dos materiais.

Os fatores necessários para causar falhas por fadiga são diversos, dentre os quais pode-se citar:

- concentração de tensão,
- sobrecarga,
- estrutura metalúrgica,
- corrosão,

- temperatura

Os três fatores básicos para causar falhas por fadiga são:

- 1 - tensão de tração máxima, suficientemente alta.
- 2 - variação ou flutuação na tensão aplicada, suficientemente grande.
- 3 - número de ciclos de aplicação da tensão suficientemente grande.

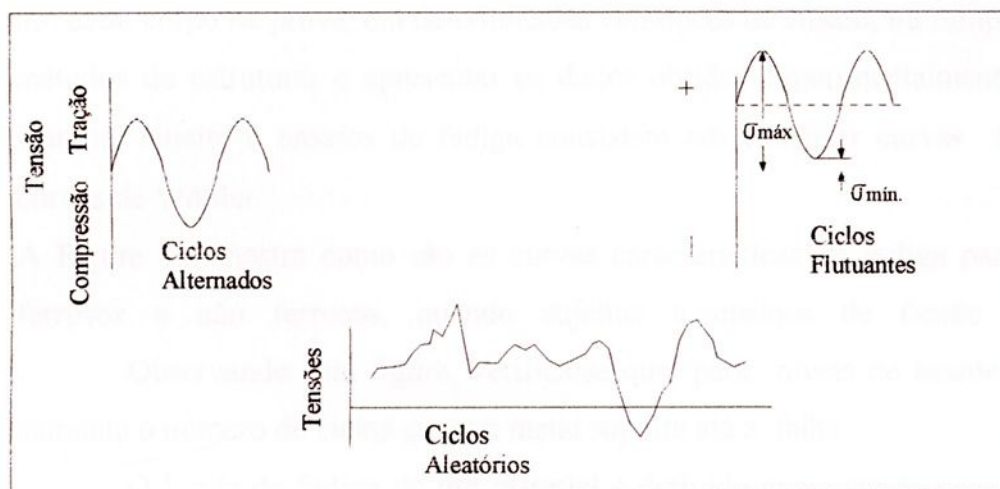


FIGURA 1.1 - Solicitações cíclicas de tensões

Mesmo com todo o progresso que houve no entendimento da falha por fadiga e melhoria dos métodos de projetos, a fadiga ainda é o fenômeno mais estudado no comportamento mecânico dos metais por ser ela a causa mais comum das falhas de componentes e estruturas em serviço

A falha por fadiga dos componentes mecânicos, além de outros fatores, depende da tensão e deformação. Os tipos de solicitações que podem gerar fadiga em um

material estão evidenciados pela Figura 1.1, conforme Peres(1998) e Hashimoto(1976).

1.4 Curvas $\sigma \times N$.

O ensaio de fadiga visa, essencialmente, determinar com quantos ciclos um dado corpo de prova, em determinadas condições de ensaio, irá romper-se. Os métodos de estruturar e apresentar os dados obtidos experimentalmente de um material sujeito a ensaios de fadiga consistem em construir curvas $\sigma \times N$ ou curvas de Wöhler.

A Figura 1.2 mostra como são as curvas características de fadiga para metais ferrosos e não ferrosos, quando sujeitos a ensaios de flexão rotativa.

Observando esta figura, verifica-se que, para níveis de tensões baixos, aumenta o número de ciclos que um metal suporta até a falha.

O limite de fadiga de um material é definido como sendo aquela tensão na qual o material teria a vida infinita. É considerada vida infinita para os materiais ferrosos como sendo $N = 10^7$ ciclos. A grande maioria dos materiais não ferrosos não apresenta um limite horizontal. As propriedades de fadiga dos materiais não ferrosos normalmente são caracterizadas fornecendo a resistência à fadiga para um valor de N , da ordem de 10^8 .

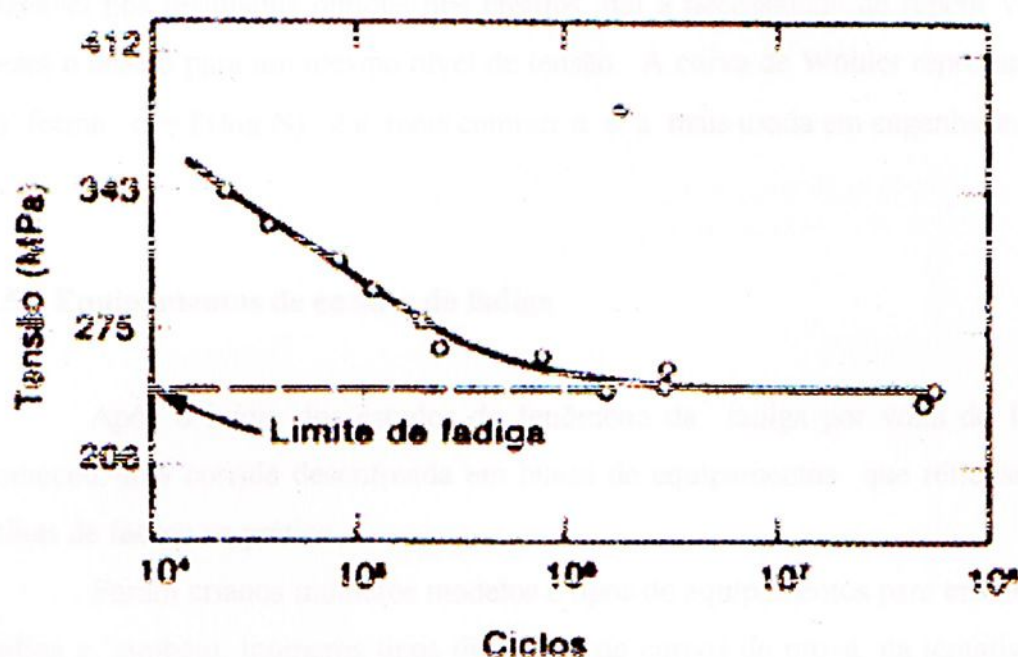


FIGURA 1.2 - Forma típica de curva $\sigma \times N$.

A curva $\sigma \times N$ é a representação clássica dos resultados de fadiga em que os valores dos números de ciclos até à fratura são traçados em função das tensões aplicadas. Os pontos são determinados em função da $\sigma_{\text{máx}}$ aplicada ao corpo de prova e pelo correspondente valor de número de ciclos N até a fratura do corpo de prova. O procedimento utilizado na construção de curva $\sigma \times N$ é ensaiar o corpo de prova com um valor de tensão alta $\sigma_{\text{máx}}$, onde se espera que a fratura do corpo de prova ocorrerá para um número baixo de ciclos N . Em seguida, diminui-se progressivamente o valor da tensão até que não ocorra mais a fratura do corpo de prova onde, teoricamente para valores abaixo desta tensão, o material teria vida infinita.

Em se tratando do estudo de fadiga, observa-se que há uma dispersão

razoável nos resultados obtidos nos ensaios, daí a necessidade de repetir várias vezes o ensaio para um mesmo nível de tensão. A curva de Wöhler representada na forma $\sigma = f(\log N)$ é a mais comum e é a mais usada em engenharia.

1.5 Equipamentos de ensaios de fadiga

Após o início dos estudos do fenômeno da fadiga por volta de 1850, começou uma corrida desenfreada em busca de equipamentos que refletisse as falhas de fadiga na prática.

Foram criados inúmeros modelos e tipos de equipamentos para ensaios de fadiga e, também, inúmeros tipos diferentes de corpos de prova, na tentativa de alcançar uma solução para falha crítica que em muitos casos envolvem vidas humanas e alto custo financeiro. Ainda nos dias de hoje continuam essas buscas, mas agora com o auxílio da tecnologia.

Com o avanço da tecnologia surgiram no mercado softwares para fadiga, onde pode-se assim minimizar as falhas por fadiga em serviços, detectando os pontos de prováveis falhas ainda em fase de projetos, e assim aumentando o período de vida dos equipamentos, pois o mais importante é a durabilidade.

Mesmo com a tecnologia atual há muito o que se estudar em fadiga. Após 150 anos de pesquisa em fadiga as falhas ainda ocorrem em números elevados.

A Figura 1.3 mostra uma das primeiras máquinas usadas para ensaio de fadiga rotativa.

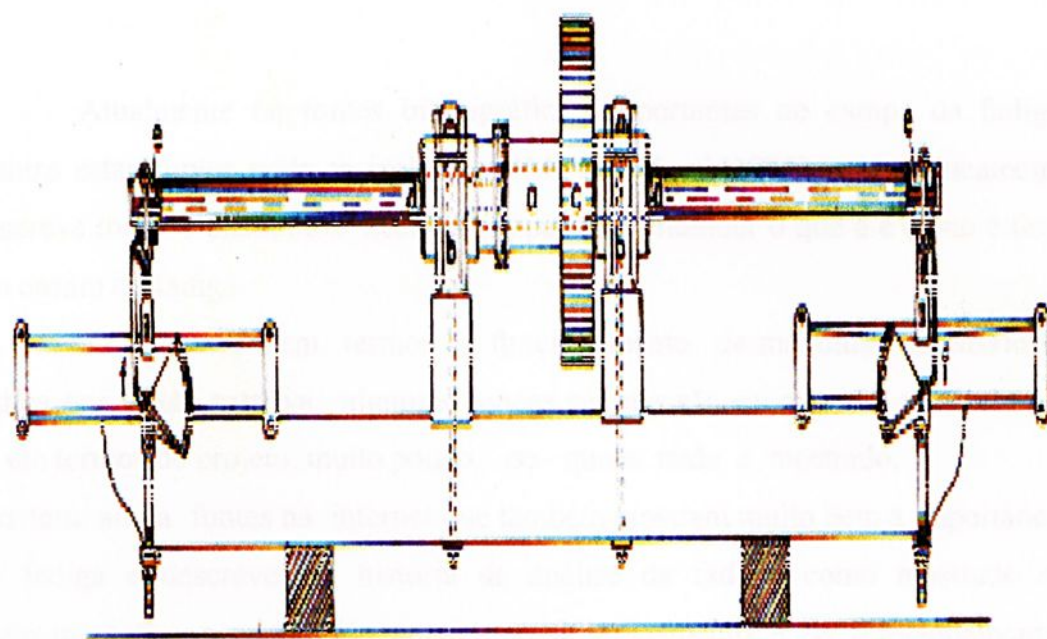


FIGURA 1.3 – Antiga máquina para ensaio de fadiga rotativa.

1.6 Objetivos do trabalho

Este trabalho tem como objetivo a construção de uma máquina de ensaio de fadiga por flexão rotativa, para ser usada no estudo da fadiga em materiais metálicos e onde se deseja obter a curva $\sigma \times N$. Tem ainda o objetivo de dar confiabilidade aos ensaios usando elementos de uso comercial comum, eficientes e relativamente baratos.

1.7 Revisão bibliográfica

Atualmente há fontes bibliográficas importantes no campo da fadiga. Dentre estas fontes pode-se incluir ASM Handbook(1985) que praticamente descreve todos os elementos necessários para se entender o que é e como é feito um ensaio de fadiga.

No entanto, em termos de funcionamento de máquinas de ensaio de fadiga por flexão rotativa, algumas poucas páginas são encontradas na literatura. E, em termos de projeto, muito pouco, ou quase nada é mostrado. Existem ainda fontes na internet que também mostram muito bem a importância da fadiga e descrevem a história da análise da fadiga, como mostrado no www.mscsoftware.com. No entanto, o funcionamento e os direcionamentos fundamentais para o projeto de máquinas de ensaio de fadiga não são tratados de forma alguma.

Mas outras fontes existem que descrevem assuntos mais específicos como aqueles sobre a propagação de trincas em chapas finas de alumínio de alta resistência sob carregamentos de amplitudes variáveis, conforme Voorwald(1983). Por outro lado, as revistas de publicações periódicas sobre fadiga, tratam o assunto muito bem mas, novamente, sobre o projeto destas máquinas nada informam.

Com referência a outras publicações, vários assuntos são tratados com respeito à fadiga por flexão rotativa, incluindo as experiências feitas por Peres (1996), Voorwald (1983), Hashimoto(1989), e outros. Em particular nestes trabalhos são mostrados a influência do carregamento com amplitudes variáveis, o efeito da concentração de tensões, o efeito do tempo e da temperatura de desidrogenação, etc.

Especificamente sobre o projeto foi encontrado uma foto de uma máquina desenvolvida na Unisanta, mas que infelizmente pouco ou nada ajudou no desenvolvimento deste trabalho.

Sobre livros de elementos de máquinas vários livros muito bons são disponíveis e que foram de muito valia na elaboração deste projeto, podendo citar Juvinall (1991) e Shigley (1984). Estes livros fornecem informações sobre os elementos de máquinas mas nada sobre a máquina como um todo. Neste sentido também os catálogos de elementos de máquinas, tais como, aqueles sobre retentores, anéis Oring, anéis elásticos, rolamentos, correias sincronizadoras, parafusos, etc, foram primordiais.

Sobre a parte elétrica os livros relativos aos vários tipos de motores foram úteis para o nosso conhecimento sobre este assunto, podendo citar McIntyre & Loose (1991). Também foi importante os artigos de revistas, tais como, Saber Eletrônica nº 327 e 328, que descrevem muito bem o funcionamento do inversor de frequência, os tipos de sensores, que contribuíram com uma boa noção sobre os circuitos utilizados, os quais foram elaborados com a ajuda do aluno do departamento de eletricidade através de bolsa :- FAPESP – aluno RICARDO BISPO KINA – Processo Nº 00/00103 – 4. Em relação à parte mecânica dos elementos desta máquina, um livro sobre solda elétrica de Blodgett (1991), oferece boas informações. No entanto são tratados apenas os fundamentos para um projeto estrutural soldado mas não para esta máquina especificamente.



1.8 Etapas do trabalho

- a) Identificação do problema
- b) Projeto mecânico
- c) Projeto eletroeletrônico
- d) Montagem
- e) Testes
- f) Conclusões

Na identificação do problema foi feita uma pesquisa para se descobrir os problemas existentes nas máquinas atuais e em uso neste campus.

O projeto mecânico foi dividido em quatro etapas, onde inicialmente foram compilados os dados necessários para o desenvolvimento do projeto. Foram separadas as etapas do projeto mecânico para que os problemas fossem analisados separadamente no projeto do cabeçote, no projeto da transmissão e no projeto da caixa estrutural.

O projeto eletroeletrônico foi analisado e desenvolvido em duas etapas : a parte elétrica ou de potência e a parte eletrônica ou de controle.

Numa quarta etapa foi feita a junção da parte elétrica , eletrônica e mecânica que constituiu na montagem da máquina.

Com a máquina funcionando foram feitos os testes e ajustes necessários .

Em seguida foram feitas comparações com as máquinas existentes para se poder avaliar os resultados do trabalho.

Um diagrama de blocos é mostrado no anexo para melhor se compreender o desenvolvimento deste trabalho.

2 PROJETO MECÂNICO DOS COMPONENTES DA MÁQUINA

2.1 Identificação do problema

Nesta etapa foram feitas várias análises das máquinas existentes tendo em vista conhecer cada uma das peças e suas funções, assim como os materiais usados nas suas construções, os tipos de acionamentos, os instrumentos indicadores, as formas de carregamento dos corpos de prova, os tipos de mancais, as formas das estruturas, a ergonomia, segurança, confiabilidade dos resultados, etc.

Sobre os instrumentos indicadores verificou-se que nas máquinas antigas estes instrumentos são analógicos tais como os indicadores de rotação, os amperímetros e voltímetros. A contagem dos ciclos é feita com instrumentos eletromagnéticos cujas escalas são multiplicadas por cem e, além disso, feita em duas etapas. Os indicadores da cargas aplicadas aos corpos de prova são feitos por réguas graduadas, tipo balança usada em armazéns. O sensor que indica a falha do corpo de prova é feito por uma chave fim de curso. Esta chave é pressionada após a queda da haste que traciona o corpo de prova.

As formas de carregamento, quando são usados a régua graduada e os pesos calibrados, permitem que se obtenha momentos triangulares e retangulares. Observa-se que o mais usado é o carregamento aplicado na extremidade do corpo de prova, isto é, com o corpo de prova em balanço, obtendo-se o diagrama de momento fletor.

Analisando-se o corpo de prova, observa-se que ele é preso por uma pinça semelhante aquelas usadas nas máquinas ferramentas, nos dois tipos de

carregamento. No lado do acionamento, que é feito pelo motor, a pinça é fixada a um eixo tubular que por sua vez está apoiado em dois rolamentos rígidos de esferas. A lubrificação destes rolamentos é feita com graxa e normalmente estes rolamentos são blindados.

Observa-se que um dos rolamentos rígidos de esferas do cabeçote, aquele mais próximo do corpo de prova, é o que tem o tempo de vida menor para este tipo de máquina e, também, todos os usuários da máquina fazem menção da sua temperatura de funcionamento. Sempre ouve-se perguntas relacionadas ao aumento excessivo da temperatura deste rolamento. Ao que parece este problema deve ser devido a forma do corpo do cabeçote e, além disso, devido à sua conexão com o corpo metálico da máquina ser feita através de hastes, dificultando assim a transmissão do calor gerado por condução para o corpo da máquina. Uma outra pergunta que também é freqüente relaciona-se ao tempo de vida deste rolamento, o qual não dura muito tempo. Isto deve-se ao fato de este rolamento ter sido dimensionado, provavelmente, levando-se em conta apenas a carga radial que ele suporta em consequência da força aplicada ao corpo de prova. Neste caso não deve ter sido considerada a carga axial induzida no rolamento para este tipo de construção.

Por outro lado o rolamento usado na pinça que traciona o corpo de prova não foi citado como problemático pelos usuários. Tal rolamento é autocompensador e, portanto, mesmo o corpo de prova produzindo desalinhamento ao ser carregado, este rolamento absorve as cargas que nele aparecem. Ao corpo no qual este rolamento é fixado, conecta-se uma haste que é ligada ao mecanismo de tracionamento.

Observa-se ainda que para se aplicar a carga ao corpo de prova existe um conjunto volumoso e pesado com intrincados mecanismos de hastes e correntes.

O motor elétrico que aciona o cabeçote é de corrente contínua do tipo shunt. Para que este motor seja acionado e a sua rotação possa também ser



variada, um conjunto de transformadores elétricos e de retificadores, formam novamente um outro conjunto pesado e volumoso.. Tudo isto é colocado embaixo de uma mesa de madeira a qual serve de suporte para a caixa metálica que abriga os outros elementos. Outro problema que foi observado e que pode ser minimizado na realidade, é o ruído gerado pelo motor de corrente contínua. Tal fato deve-se principalmente ao comutador, isto é, às escovas e ao coletor que são inerentes ao seu funcionamento. Como o motor posiciona-se longe do cabeçote onde é fixado o corpo de prova, uma correia chata acompanhada de esticadores é necessária para ligar a polia do motor a este cabeçote, compondo mais uma fonte de ruídos e de manutenção.

Finalmente pode-se concluir que este estudo foi suficiente para se conhecer fisicamente os tipos de máquina de ensaio de fadiga por flexão rotativa que são usadas em muitos laboratórios, principalmente neste campus, na Unitau, etc. A máquina usada aqui no Campus da Unesp é uma máquina antiga e possui vários outros problemas que foram detectados durante os muitos anos que ela tem servido para os ensaios didáticos e de pesquisas. Estes problemas foram relatados pelos seus operadores. No entanto, apesar de velha, esta máquina tornou-se uma fonte viva de informações para novos projetos, as quais foram necessárias e suficientes para desenvolvimento do projeto da nova máquina. Todos os problemas descritos nesta etapa serão referências para o predimensionamento do trabalho que está sendo desenvolvido.

Resumo dos problemas:

- a) Indicadores de rotação e contadores do número de ciclos obsoletos
- b) Aplicação da carga no corpo de prova feita por massas calibradas
- c) Leitura do valor da carga feita através de régua graduada
- d) Desligamento do motor feito através da queda da haste graduada sobre uma chave



- e) Rolamentos com lubrificação usando graxa que conduz pouco o calor gerado
- f) Intrincados e volumosos mecanismos para tracionar o corpo de prova
- g) Motor elétrico de corrente contínua que é muito maior e muito mais caro que um correspondente de indução trifásico e com controle por inversor de frequência.
- h) Ruído excessivo
- i) Dificuldades na leitura dos instrumentos

2.2 Dados do projeto

Como em todo projeto seu início está ligado aos dados apresentados para resolver determinado problema. Neste caso, o problema é projetar uma máquina para ensaio de fadiga por flexão rotativa com carga aplicada ao corpo de prova em balanço. Sendo assim, tem-se os seguintes dados:

a) **corpo de prova** - padronizado conforme mostrado na Figura 2.1

b) **Faixa de rpm**

As rotações usadas nos ensaios de fadiga por flexão rotativa podem ser tão pequenas quanto 1000 rpm, como nos casos em que os corpos de provas rompem com poucos ciclos. Por outro lado, se o corpo de prova em análise for um material nobre, a rotação deve ser alta para que o ensaio não demore muito tempo. Deve-se lembrar que em ensaios com corpo de prova de aço, se o número de ciclos ultrapassar 1×10^7 o ensaio já não tem mais interesse prático,

pois os dados, plotados na curva de Wohler, indicam tempo de vida infinito. Também pode-se ter materiais que necessitam de valores maiores que 1×10^7 , como é o caso de algumas ligas de alumínio, níquel, etc.

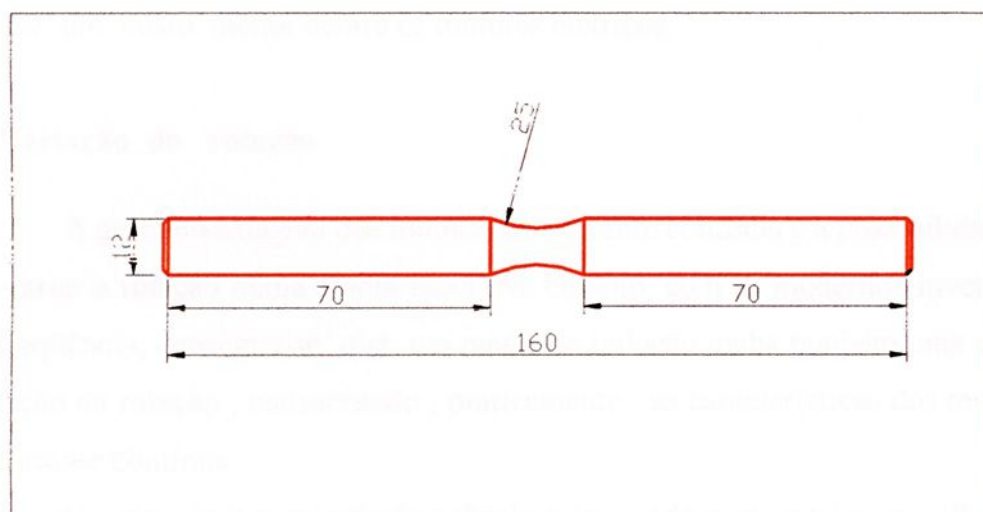


FIGURA 2.1 - Corpo de prova padronizado

c) carga máxima aplicada ao corpo de prova

A carga de tração máxima a ser aplicada no corpo de prova é 60 kgf tendo em vista que para corpo de prova com $\Phi 12$ mm, a máxima tensão estará em torno de 100 kgf/mm^2 dada por :

$\sigma = 32 M_f / \pi d^3$, onde M_f é o momento fletor máximo na seção d .

d) Motor de acionamento.

Devido aos problemas que foram explicados na identificação do problema, referentes aos motores de corrente contínua, adotou-se para o acionamento um motor de indução trifásico, pois ele é um motor relativamente silencioso, tem volume menor que um correspondente de corrente contínua e possui um custo menor dentre os motores elétricos.

e) Variação da rotação

A grande vantagem dos motores de corrente contínua é a possibilidade de se variar a rotação numa ampla faixa. No entanto, com os modernos inversores de frequência, consegue-se que um motor de indução tenha também uma ampla variação da rotação, conservando, praticamente, as características dos motores de corrente contínua.

No caso do inversor de frequência a ser usado neste projeto escolheu-se, dentre os disponíveis no mercado, e após ampla pesquisa de preço e de qualidade, o inversor marca EMOTRON de potência 1 kw. Este inversor tem entrada monofásica de 220 V e saída trifásica com frequência variável entre 0 – 120 hz.

Além disso, usando este aparelho, pode-se programar a frequência máxima, o tempo de aceleração, o sentido de rotação, religar ou não na falta de energia, etc.

f) Aplicação da carga e medida da carga

Para se obter a tensão desejada no corpo de prova aplica-se uma força de tração através do acionamento de um parafuso de passo micrométrico. O acionamento deste parafuso será feito através de um micromotor elétrico com redutor, gerando uma

tração na célula de carga que indicará o valor da carga aplicada. Esta indicação será feita através da leitura da tensão na célula de carga de forma analógica, a qual, simultaneamente, será transformada para a forma digital através de um conversor A/D (analógico / digital) , no caso, o circuito integrado ICL 7107. A célula de carga escolhida foi da marca Kratos, conforme mostrado na Figura 2.2

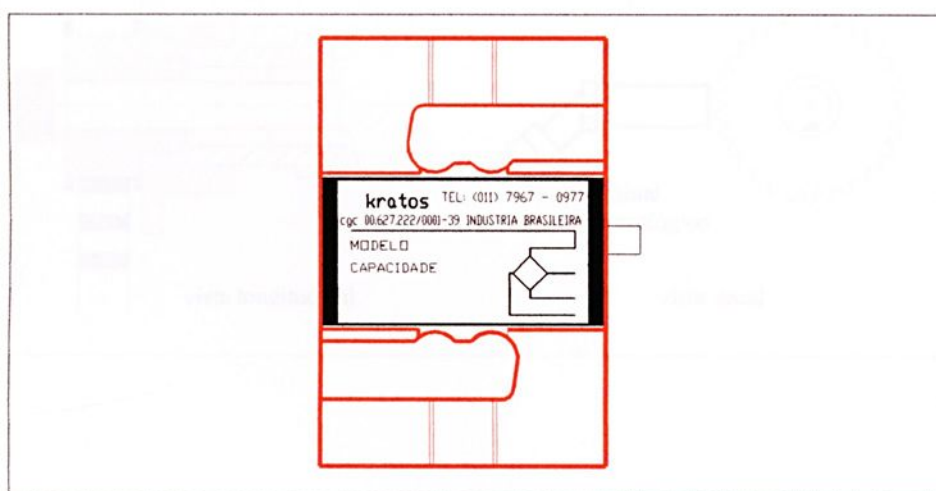


FIGURA 2.2 - Célula de carga Kratos

h) sensor indutivo de impulsos

Este sensor eletromagnético de indução terá a função de detectar a passagem de cada dente de uma engrenagem, os quais gerarão impulsos elétricos que serão convenientemente tratados, através de um circuito eletrônico, para servirem de referência para contagem dos ciclos de duração do ensaio e, ao mesmo tempo, para indicar a rpm em que os corpos de prova estarão girando

durante os ensaios. O sensor escolhido é usado na indústria automobilística e, portanto, de fácil obtenção no mercado, conforme mostrado na Figura 2.3 .

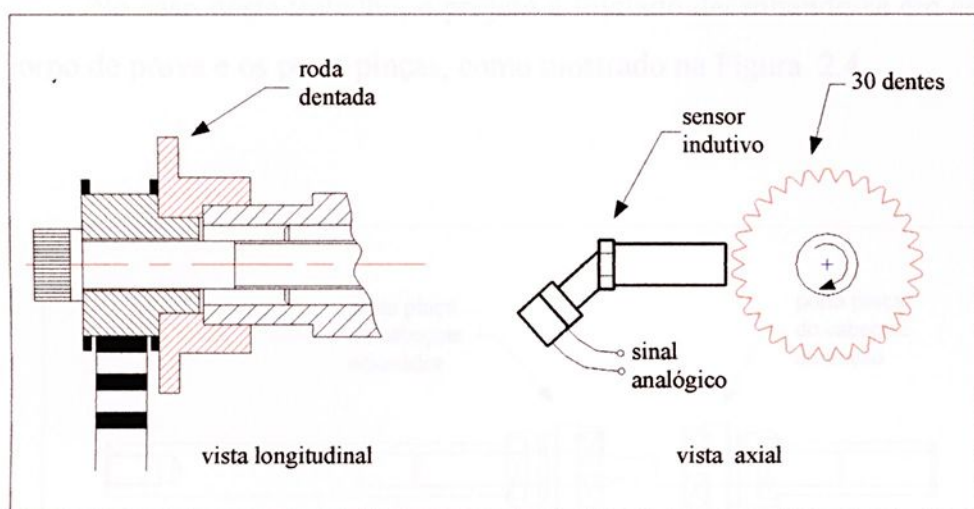


FIGURA 2.3 - Sensor indutivo

A rotação será indicada digitalmente num painel usando “LED’s”. Para a medida da rotação os pulsos do sensor serão tratados através de um circuito eletrônico com base de tempo e utilizando circuitos integrados apropriados, no caso, o integrado ICL 7126.

O contador de ciclos será indicado digitalmente com “LED’s”. Os impulsos do sensor serão também tratados eletronicamente usando o circuito integrado ICL 7126

2.3 Projeto do cabeçote

Com os dados praticamente definidos tem-se, agora, a possibilidade de iniciar o projeto mecânico e em seguida o elétrico, e o eletrônico.

No caso deste trabalho, o projeto é iniciado desenhando-se em escala 1:1 o corpo de prova e os porta pinças, como mostrado na Figura 2.4.

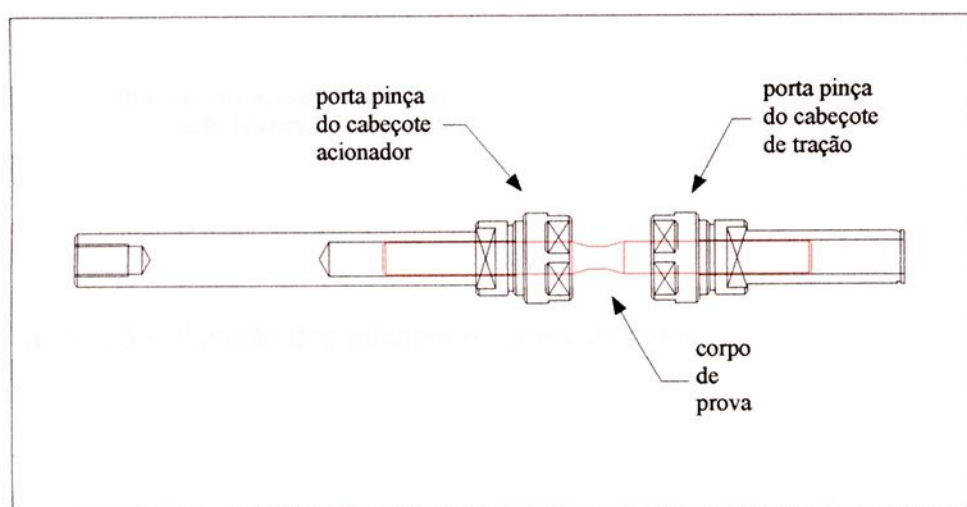


FIGURA 2.4 - Porta pinças

A seguir, fazendo-se uma análise da posição onde os rolamentos serão colocados, pode-se estabelecer as cotas axiais que serão utilizadas no cálculo das cargas radiais nos rolamentos.

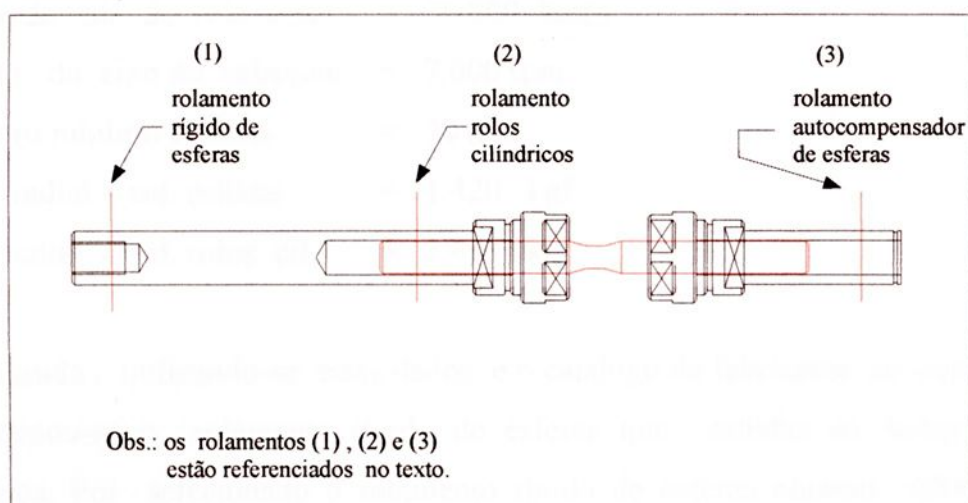


FIGURA 2.5 - Posição dos rolamentos nos cabeçotes

O rolamento próximo ao corpo de prova, foi posicionado preliminarmente levando-se em consideração outros elementos que estarão na região entre o rolamento e a extremidade do porta pinça. Estes elementos são retentores, Oring, parafusos e o flange. Um rolamento deve ser posicionado levando-se em consideração o comprimento axial do porta-pinça e, também, que esteja o mais perto possível do outro rolamento proporcionando deste modo maior rigidez ao conjunto. Por outro lado, os rolamentos não devem ficar, mesmo que possível, muito próximos um do outro pois as cargas radiais adquirem valores muito altos. Após uma análise, levando-se em consideração todos esses problemas, definiu-se a posição dos rolamentos, inclusive aquele rolamento utilizado para aplicação da carga de tração no cabeçote.

Para a seleção dos rolamentos são necessários os seguintes dados:

tempo de vida do rolamento = 30.000 horas

rotação do eixo do cabeçote = 7.000 rpm

diâmetro mínimo do eixo = 30 mm

carga radial - rol. esferas = 1.420 kgf

carga radial - rol. rolos cil. = 2.416 kgf

Em seguida, utilizando-se estes dados e o catálogo do fabricante, no caso NSK, determinou-se o rolamento rígido de esferas que satisfaz os dados acima referidos. Foi selecionado o rolamento rígido de esferas número 6206, com carga dinâmica igual a 1530 kgf.

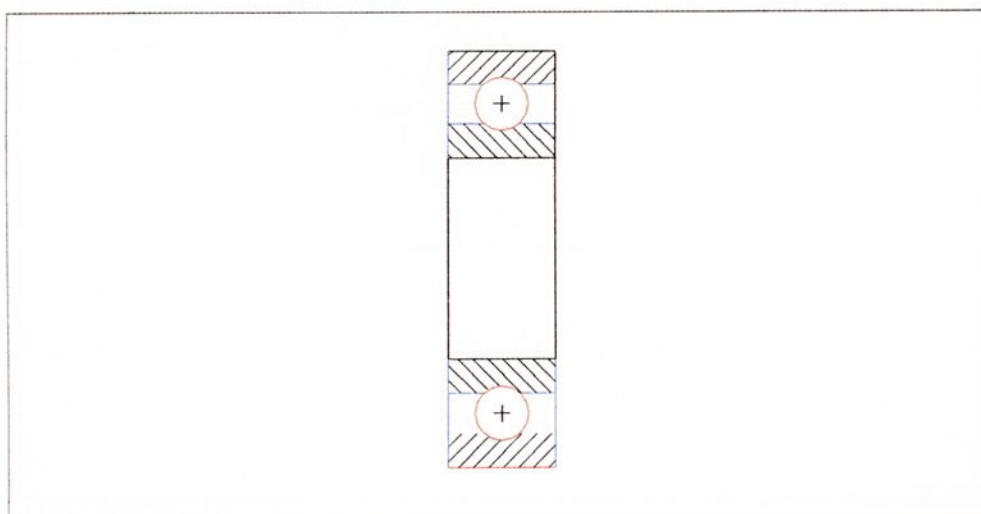


FIGURA 2.6 - Rolamento 6206

As outras cotas que são mostradas no desenho à direita são importantes para o projetista, pois são elas que definem os parâmetros para o escalonamento do eixo, assim como os parâmetros para o escalonamento do furo da carcaça.

Analogamente, com os valores de rpm, tempo de vida, diâmetro mínimo do eixo e análise das forças aplicadas nesse ponto, foi escolhido o rolamento de rolos cilíndricos (2) tipo NU com a carga dinâmica mais próxima de 2416kgf, obtida nos cálculos. Escolhe-se o rolamento tipo NU porque ele possui os rolos no anel externo e porque ele é desmontável, permitindo que o anel externo seja montado na carcaça e o anel interno seja montado no eixo tubular, em operações separadas. A sequência de montagem do cabeçote vai ser possível somente se for usado este tipo de rolamento escolhido, para poder confirmar a concentricidade entre os rolamentos.

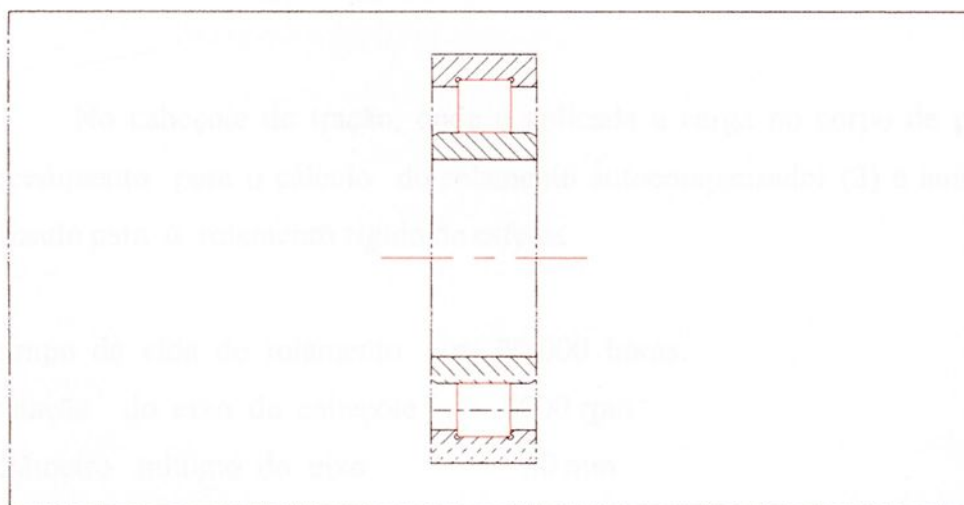


FIGURA 2.7 – Rolamento de rolos cilíndricos NU206

Agora os rolamentos são colocados em seus lugares, e em escala, conforme mostrado na Figura 2.8.

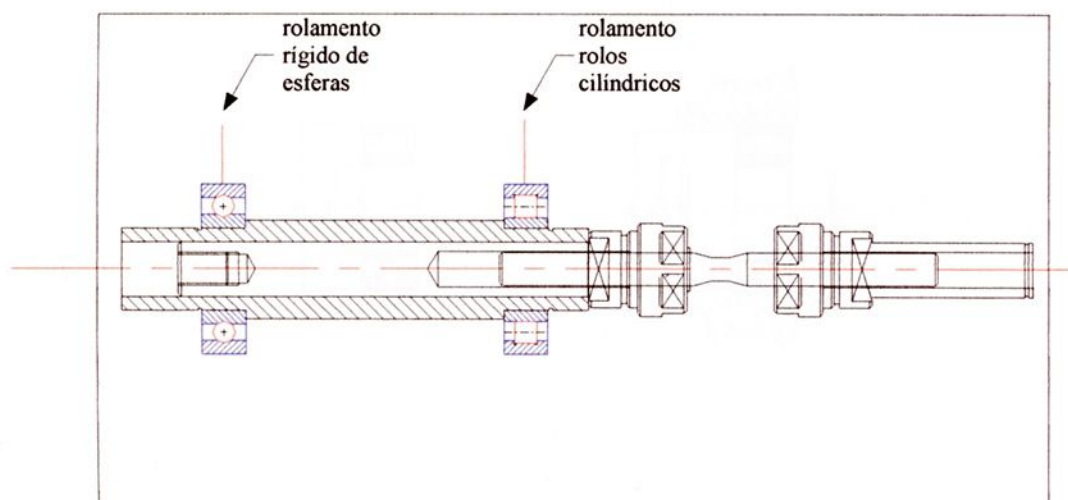


FIGURA 2.8 - Rolamentos 6206 e NU 206 nas posições definidas

No cabeçote de tração, onde é aplicada a carga no corpo de prova, o procedimento para o cálculo do rolamento autocompensador (3) é análogo ao utilizado para o rolamento rígido de esferas.

- tempo de vida do rolamento = 30 000 horas
- rotação do eixo do cabeçote = 7000 rpm
- diâmetro mínimo do eixo = 30 mm
- carga radial – rolamento autocompensador = 890 kgf

Analogamente, com os valores da rotação, tempo de vida, diâmetro mínimo do eixo e análise das forças aplicadas nesse ponto, foi escolhido o rolamento autocompensador de esferas com a carga dinâmica mais próxima de 890 kgf obtida nos cálculos, no caso o rolamento 2206, conforme mostrado na Figura 2.9

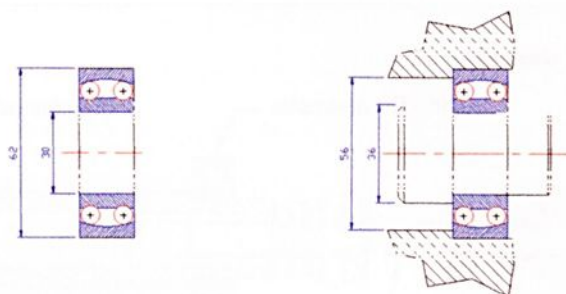


FIGURA 2.9 – Rolamento autocompensador de esferas N° 2206

Após esta etapa obtém-se a Figura 2.10. Agora os três rolamentos já estão nos seus lugares com posições definidas. Neste e em qualquer outro projeto que algum projetista esteja analisando, esta etapa de definição das posições dos rolamentos é uma etapa considerada difícil, pois se os rolamentos estão muito próximos as forças radiais aumentam consideravelmente em ambos os rolamentos e, por outro lado, se eles estão muito afastados a carga radial tende a ser igual a carga aplicada no rolamento mais próximo desta carga, mas aumenta o tamanho do conjunto.

Após os rolamentos terem sido determinados, dimensiona-se os vedadores levando-se em consideração a rpm, o fluido a ser vedado e os diâmetros do eixo e da carcaça.

- rotação do eixo do cabeçote - 7.000 rpm
- diâmetro do eixo - 30 mm
- fluido - óleo mineral

FAVRE DE ENGENHARIA
E GUARATINGUETÁ

BIBLIOTECA

00488

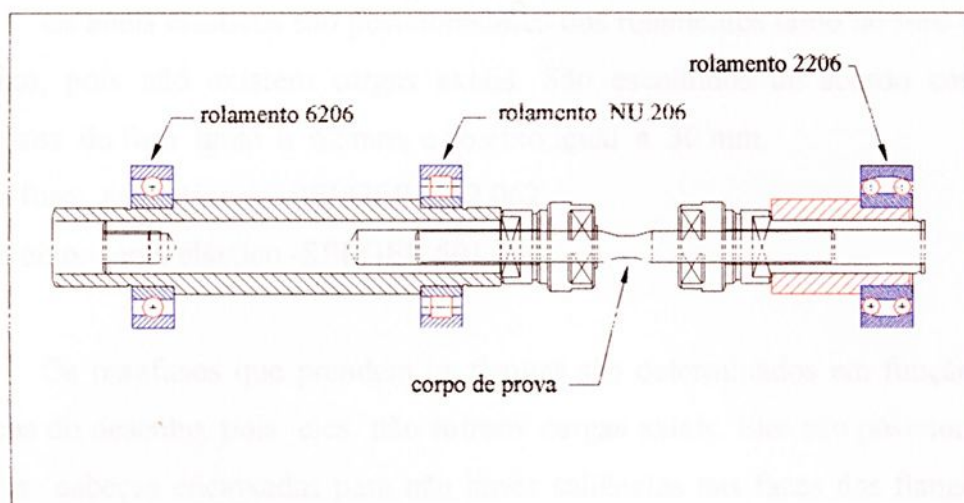


FIGURA 2.10 - Posição definida para os 3 rolamentos

Usando, neste caso, o catálogo Vedabrás determina-se o material do lábio e, através da tabela, o diâmetro do alojamento e a altura do retentor. O retentor escolhido foi:

Retentor n.º 24 .834 – MVQ - (silicone o material do lábio).

O Oring será usado para a vedação estática entre o furo do cabeçote e o flange lateral. O Oring é escolhido de acordo com o fluido a ser vedado e os espaços que melhor se adaptam ao problema. Foi escolhido o Oring :

Oring nº 140 (norma ARP- 568)

Diâmetro interno = 56,82 mm

Diâmetro da secção = 2,62 mm

Os anéis elásticos são posicionadores dos rolamentos tanto no furo como no eixo, pois não existem cargas axiais. São escolhidos de acordo com os diâmetros do furo igual a 62 mm, e do eixo igual a 30 mm.

para o furo: anel elástico -SEEGER 502.062

para o eixo: anel elástico -SEEGER 501.030

Os parafusos que prendem os flanges são determinados em função dos espaços do desenho, pois eles não sofrem cargas axiais. Eles são posicionados com as cabeças encaixadas para não haver saliências nas faces dos flanges. O tipo de parafuso escolhido foi: Allen – M5 x 10 com cabeça baixa.

Em seguida define-se a polia sincronizadora e a fixação da pinça no eixo tubular. Após análise optou-se pelo acoplamento da pinça ao eixo tubular de forma prensada e tracionada por um parafuso M12, que ao mesmo tempo fixa axialmente a polia sincronizadora, o cilindro adaptador e a roda dentada, a qual tem a função de fazer variações magnéticas no sensor de impulsos. Estes elementos formam juntamente com a base de fixação o conjunto final do cabeçote acionador. O cabeçote acionador é acoplado à estrutura de sustentação formando o conjunto principal. Essa estrutura ou caixa de sustentação tem um formato levemente inclinado nas laterais e na frente. Este detalhe faz parte do design, fazendo com que se tenha um conjunto com linhas mais suaves. As medidas foram feitas após análise e montagem do protótipo em madeira e em escala 1:1, para melhor observação. Acrescentou-se também o motor elétrico na sua posição definitiva de trabalho.



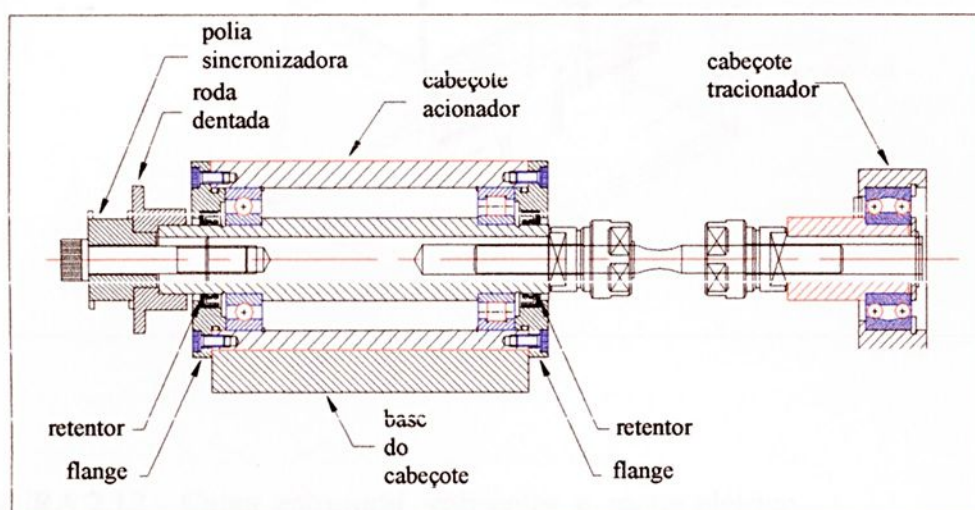


FIGURA 2.11 - Cabeçote acionador e de tração completos

A estrutura da máquina é uma caixa piramidal truncada composta por cinco chapas soldadas. Este formato da caixa foi escolhido para que a sua estrutura não ficasse parecida com um simples caixote. As inclinações laterais e frontal da caixa foram determinadas fazendo-se primeiramente um modelo de madeira em escala 1:1. Em seguida analisou-se os valores da inclinações levando-se em conta a opinião de pessoas que entendem estes detalhes. A parte superior desta caixa não foi soldada para que fosse facilitada a sua usinagem. A tampa do fundo não foi soldada pois ficou sendo a porta de acesso para a montagem dos elementos internos e seus ajustes. Na Figura 2.12 são mostrados mais detalhes da caixa estrutural. O conjunto cabeçote acionador, caixa estrutural, motor elétrico e os acessórios formam o conjunto principal.

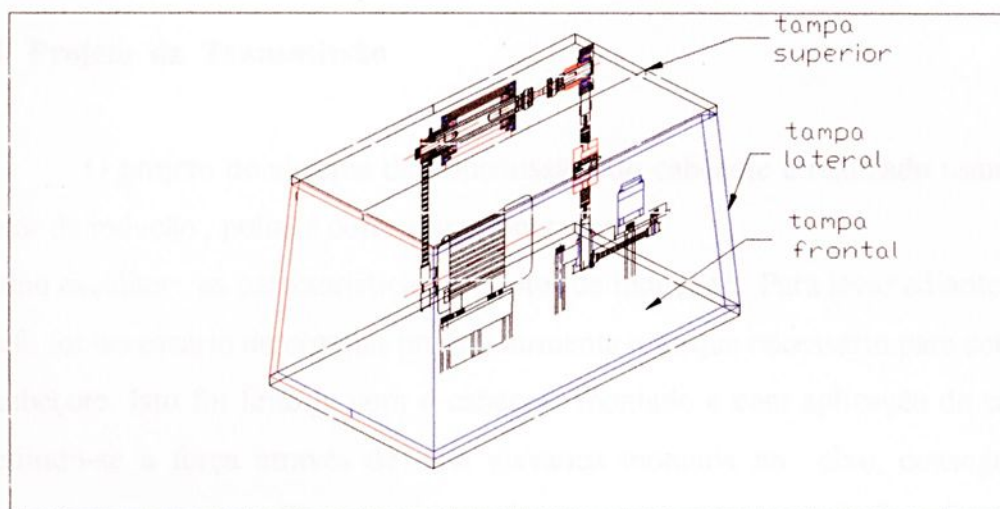


FIGURA 2.12 – Caixa estrutural , cabeçotes e motor elétrico

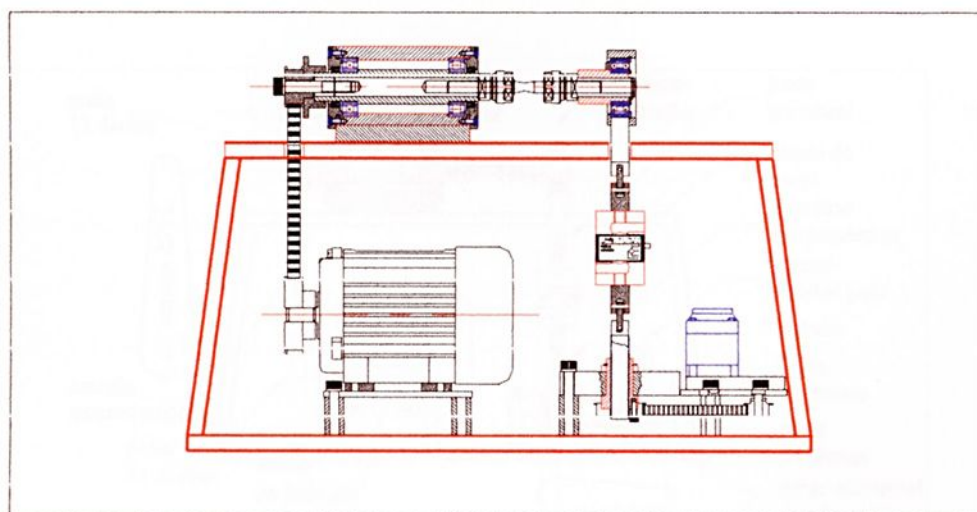


FIGURA 2.13 - Máquina completa

2.4 Projeto da Transmissão

O projeto do sistema de transmissão do cabeçote é realizado usando o motor de indução, polia e correia sincronizadora.

Como escolher as características do motor de indução? Para levar adiante esta tarefa foi necessário determinar preliminarmente o torque necessário para acionar o cabeçote. Isto foi feito já com o cabeçote montado e com aplicação de carga. Medindo-se a força através de uma alavanca montada no eixo, consegue-se determinar o torque. E com a rpm máxima que se deseja trabalhar foi então possível determinar a potência do motor. Foi instalado um motor de 1 CV, de 3600 rpm, de indução, trifásico e que após teste foi aprovado.

Para transmitir o movimento ao cabeçote foi escolhida uma polia sincronizadora de 24 dentes acoplada ao motor e uma polia de 12 dentes acoplada ao cabeçote acionador, pois esta relação de transmissão satisfaz o campo de rotações escolhido.

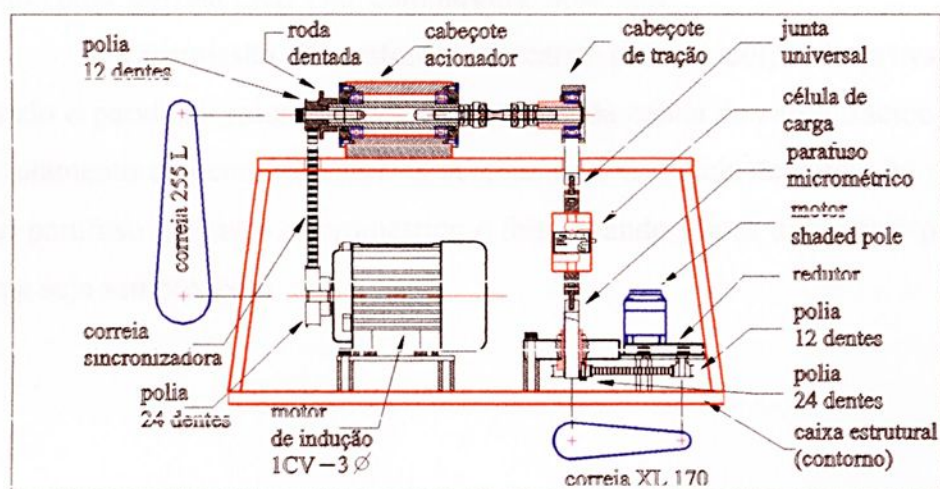


FIGURA 2.14 - Nomenclatura dos componentes

Em seguida as alturas do suporte do motor foram sendo ajustadas por “tentativa e erro” até que se descobrisse uma correia cujo comprimento padronizado satisfizesse o problema. A correia escolhida foi a 255L, ou seja, com comprimento primitivo de 25,5 polegadas e largura de 3/8 de polegada.

Procedimento análogo foi desenvolvido para se determinar a transmissão do movimento para o parafuso tracionador da célula de carga. Usando um motor de indução monofásico do tipo “shade pole” acoplado a um redutor e usando também um acoplamento por correia e polias, esta transmissão foi desenvolvida. Como determinar as características de torque do motor? Inicialmente foi montada uma bancada com o mesmo parafuso tracionador da célula de carga e foram feitos ensaios para levantar massas de valores conhecidos e paralelamente medindo-se o torque necessário no parafuso. Após vários testes determinou-se o torque máximo necessário. Em seguida com este torque e com a relação de transmissão mais apropriada, na caso 1:2, pode-se determinar as polias e correias sincronizadoras, assim como o motor elétrico. Foi então escolhido o motor “shaded pole” 110V com redutor e com polias de 24 e 12 dentes, assim como uma correia XL 170 com largura 5,08 mm.

A transmissão dos esforços de carga para o corpo de prova foi feita usando o parafuso micrométrico que através da célula de carga traciona o corpo do rolamento autocompensador. O acoplamento da célula de carga ao rolamento e ao parafuso de passo micrométrico é feito usando juntas universais para que a carga seja sempre axial.



3 PROJETO ELETROELETRÔNICO DA MÁQUINA

3.1 Motor de indução e inversor de frequência

Dentre os vários modos possíveis para o acionamento do cabeçote, o melhor é usar um motor elétrico de indução trifásico. Ele tem relativamente pouco ruído comparado como motor de corrente contínua. Além disso o motor de corrente contínua possui escovas que é um ponto garantido de manutenção, pois as escovas se desgastam. E as escovas também junto com o comutador geram faiscamento que é fonte de ruído eletromagnético. Quanto ao tamanho e peso o motor de corrente contínua é maior e mais pesado que um motor trifásico de indução. Mas, falta resolver um problema que o motor de indução sozinho não resolve:--- a variação da rotação, pois este motor é praticamente de rotação constante. No entanto, um outro elemento acoplado ao motor de indução trifásico resolve este aparente problema : --- o inversor de frequência. Este elemento é um componente eletrônico constituído basicamente de semicondutores que tem a função de fornecer uma tensão variável com uma frequência variável, no caso , de 0 a 120 Hz. Este inversor usado é ligado a uma fonte monofásica de 220 V e 60 Hz e fornece uma tensão trifásica de 50 a 220 V com frequência de 0 a 120 Hz. Além disso , o inversor usado pode ter uma programação do tempo de aceleração de desaceleração, pode religar ou não na falta de energia da rede, etc.

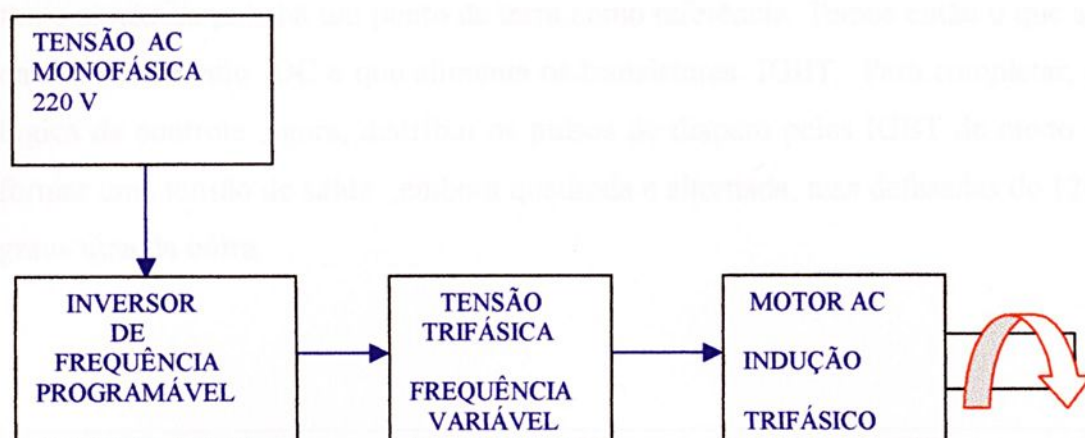


FIGURA 3.1 - Diagrama de blocos da variação de RPM.

Descrevendo mais sobre o inversor de frequência pode-se afirmar que ele tem a mesma função do conversor de corrente contínua, isto é, regular a velocidade de um motor elétrico mantendo seu troque. A diferença então é o tipo de motor utilizado.

Sobre o motor de indução trifásico pode-se resumir as suas vantagens:

- baixa manutenção
- ausência de escovas comutadoras
- ausência de faiscamento
- baixo ruído
- custo menor

Como se sabe a rotação de um motor de indução depende basicamente da frequência da rede e da carga aplicada ao seu eixo, pois $\text{rpm} = 7200/p$, onde p é o número de pólos.

Os circuitos internos de um conversor são formados por uma ponte retificadora de onda completa e capacitores de filtro. Este circuito forma uma

fonte simétrica pois há um ponto de terra como referência. Temos então o que se chama barramento DC e que alimenta os transistores IGBT. Para completar, a lógica de controle ,agora, distribui os pulsos de disparo pelos IGBT de modo a formar uma tensão de saída ,embora quadrada e alternada, mas defasadas de 120 graus uma da outra.

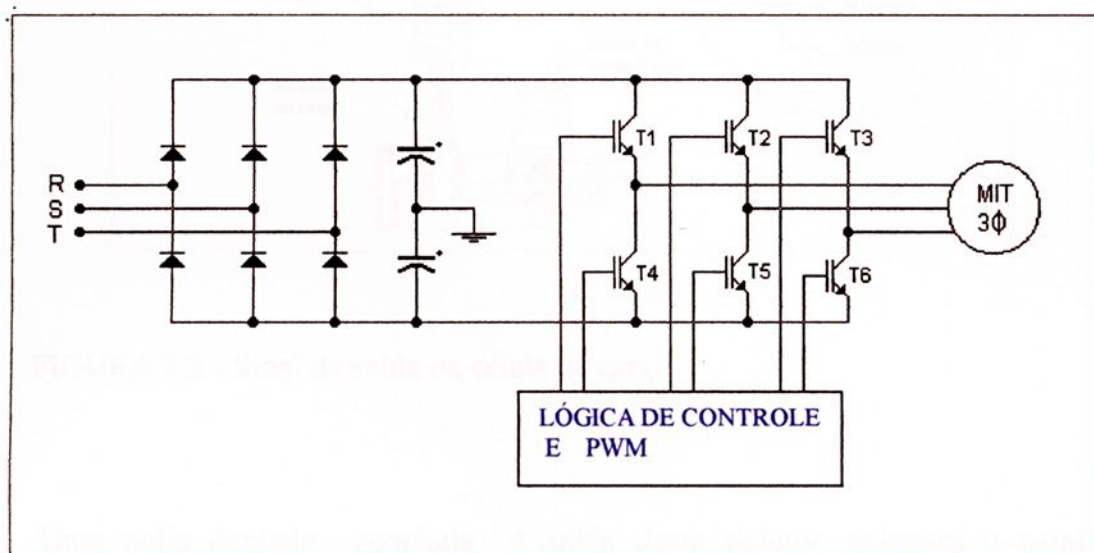


FIGURA 3.2 - Estrutura básica de um inversor de frequência trifásico

3.2 Sinal de saída da célula de carga

Para se obter a tensão mecânica desejada no corpo de prova, aplica-se uma força de tração no rolamento autocompensador que está fixado numa pinça.

A força de tração é obtida pelo acionamento de um parafuso de passo micrométrico. E, o acionamento deste parafuso é feito através de um redutor.

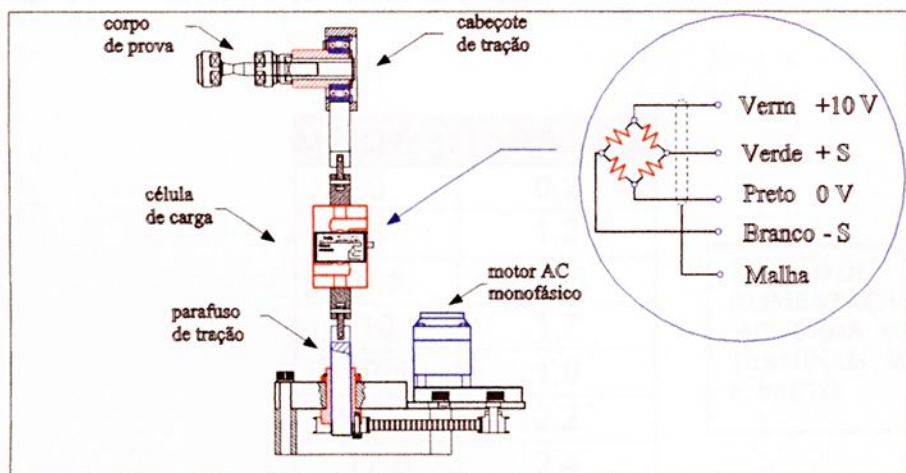


FIGURA 3.3 - Sinal de saída da célula de carga

Uma polia dentada acoplada à saída deste redutor, acionará o parafuso micrométrico através de uma correia sincronizadora conectada à outra polia dentada fixada ao parafuso.

Para se saber o valor da força aplicada, uma célula de carga é colocada entre o rolamento(2206) e o parafuso micrométrico e, também, tracionada longitudinalmente. A tração na célula de carga vai gerar uma tensão elétrica nos seus terminais(fio verde +S e fio branco -S), a qual através de um conversor analógico / digital indica num “display” digital o valor da referida carga.

Para aquisição do sinal referente à força que está sendo aplicada na peça deste ensaio, será utilizada uma célula de carga do tipo “strain gage” e da marca KRATOS.

Durante um ensaio de teste com a célula de carga, foram obtidos os seguintes resultados:

TABELA 3.1 – Calibração da célula de carga

Massa(Kg)	Tensão(mV)
0	0,2
5	1,2
7,5	1,45
10	1,7
12,5	1,9
15	2,2
17,5	2,4
23,5	3
26	3,2
32	3,8
34,5	4

TENSÃO DE
ALIMENTAÇÃO – 10V
APLICADA NOS
TERMINAIS VERDE
E PRETO.

A partir desses valores foi construído um gráfico para a verificação da linearidade da célula de carga.

Pode - se verificar a partir do gráfico que a célula ensaiada apresenta boa linearidade . O circuito indicador de carga é o responsável por indicar a força que está tracionando a peça de ensaio em um” display”. Este circuito deve ter como entrada o sinal proveniente da célula de carga. Serão necessários os seguintes estágios para o projeto completo do circuito indicador de carga:

- 1º estágio: Conversor A/D para converter o sinal analógico gerado na célula de carga em sinal digital

- 2º estágio: Um circuito responsável por fazer os ajustes de referencia do circuito como o ajuste de zero.
- 3º estágio: três conversores BCD 7 segmentos com "buffers" (ou amplificadores de corrente) para a indicação do valor da carga em um "display" de "LED's". A escolha de tal "display" deve-se ao fato da maior robustez em relação aos "displays" de cristal líquido , por exemplo.

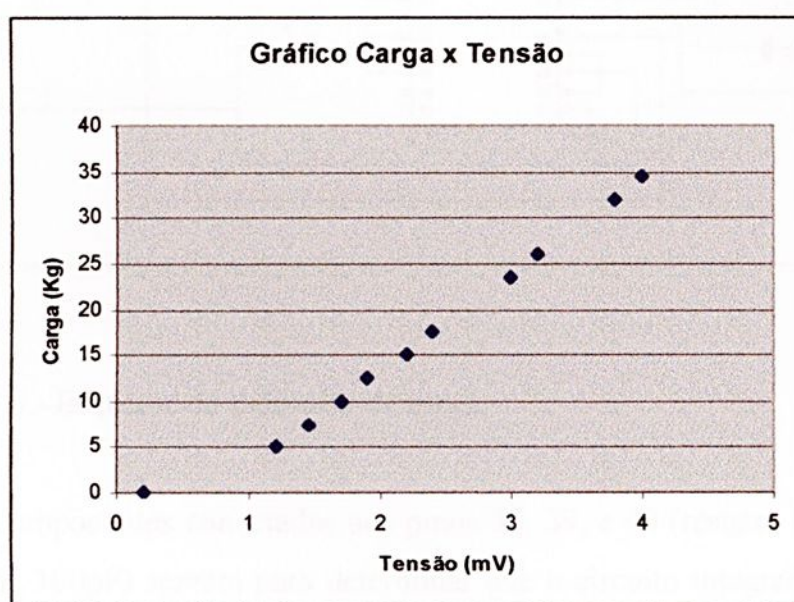


FIGURA 3.4 - Gráfico da Carga x Tensão para a célula de carga ensaiada

Contudo, atualmente já são encontrados circuitos que realizam todas essas funções, o que simplifica o projeto do circuito conversor (3º estágio). Com isso, será utilizado o circuito integrado ICL 7107. Este C.I. é um conversor A/D com saída amplificada para uso em display de "LED's".

A pinagem deste C.I. encontra-se em anexo (seção 5.4).

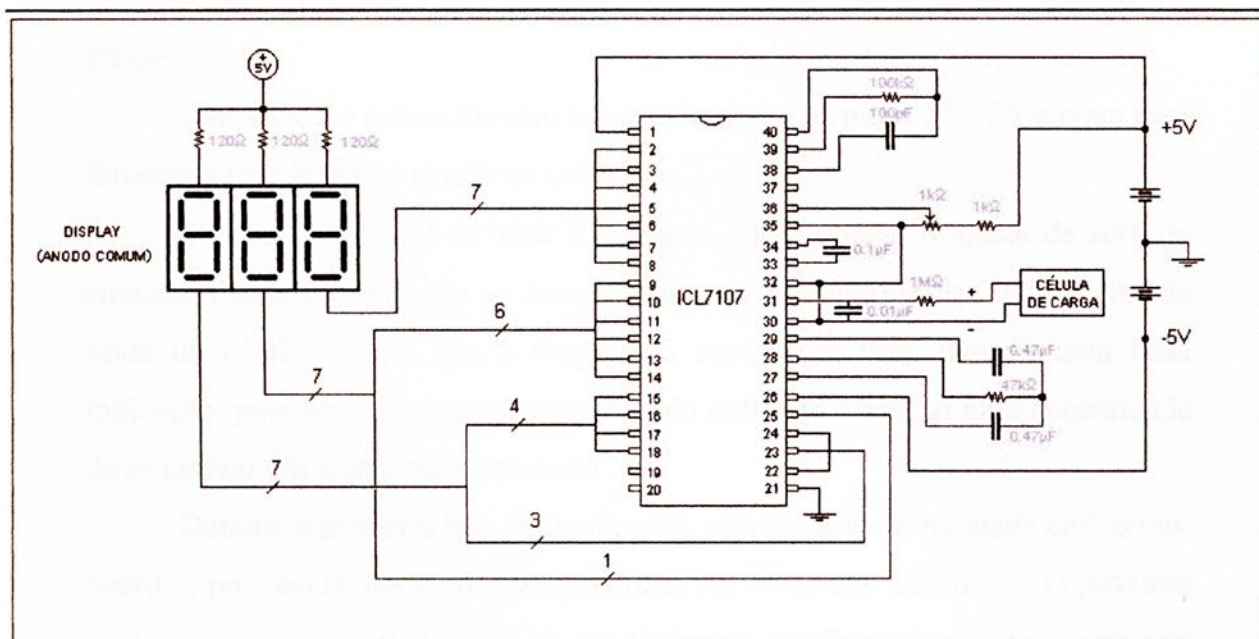


FIGURA 3.5 - Esquema do indicador de carga

Os componentes conectados aos pinos 38, 39, e 40 (resistor de 100KΩ e capacitor de 100pF) servem para determinar que o circuito integrado ICL 7107 realize 3 leituras do valor da célula de carga por segundo (taxa de aquisição do circuito). Este tempo para aquisição do sinal é necessário para que o valor indicado no display não fique mudando constantemente. Essa mudança pode ser ocasionada, por exemplo, pela própria vibração da máquina. De acordo com o manual do fabricante, para 3 leituras por segundo, seria necessário um "clock" de 48KHz. Recomenda-se para todas as frequências o uso de um resistor de 100kΩ e o capacitor é calculado pela seguinte equação:

$$f = \frac{0,45}{R.C} \quad (1)$$

A partir da equação (1) encontramos o valor comercial do capacitor de 100pF.

O resistor e o potenciômetro conectados entre os pinos 35 e 36 servem para fornecer a referência de tensão ao conversor.

O resistor variável de $1k\Omega$ é utilizado para se fazer o ajuste de zero do circuito. Como foi indicado no item 2.4 (Célula de carga) existe uma tensão de saída da célula mesmo que a carga seja zero. Com isso, haveria uma falsa indicação, pois nenhuma carga estaria sendo aplicada. Por isso há a necessidade de se utilizar um ajuste para o circuito.

Durante a primeira fase de montagem, este circuito foi montado em "proto-board", pois eventuais mudanças poderiam ser efetuadas facilmente. O próximo passo foi a montagem do circuito em "wire-wrap". Essa técnica de montagem dispensa a elaboração de uma placa de circuito impresso e acaba com os problemas de mau contato existentes na montagem em "proto-board". Mas a principal vantagem é a de poder corrigir eventuais erros com facilidade se comparada a uma placa de circuito impresso.

Após o término da montagem do circuito indicador de carga foram realizadas medidas a fim de verificar seu real funcionamento. Antes, foram realizados ajustes de zero e de referência. Com a ajuda de uma balança de mola e um voltímetro foram realizadas medidas do valor das cargas que eram aplicadas à célula de carga.

Verificamos que os valores indicados pelo circuito indicador de carga se aproximaram dos valores indicados pela balança. Vale a pena ressaltar que o último algarismo do display indica a casa decimal.

A partir desses valores, foi plotado um gráfico do valor apresentado pelo circuito indicador de carga *versus* tensão de saída na célula de carga



TABELA 3.2 - Comparação da carga real com o valor indicado no "display"

Valor indicado pela balança de mola (Kg)	Tensão de saída da célula de carga (mV)	Valor apresentado pelo circuito indicador de carga
0	0,21	000
5,2	1,25	053
10	1,7	100
14,8	2,0	149
26	3,2	260
32,6	3,86	323
34,8	4,11	345

Para valores de carga mais baixos, foi verificado uma maior linearidade do circuito, contudo, seus valores se aproximaram dos valores indicados pela balança.

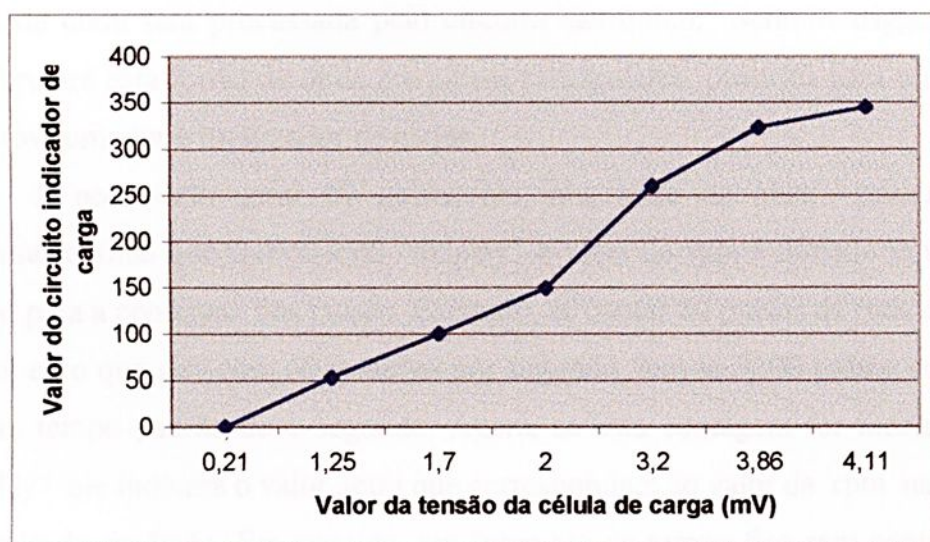


FIGURA 3.6 - Indicador de carga x tensão de saída na célula de carga.

3.3 Contador de rotações

Todo o circuito de leitura da máquina é de forma digital. Os “displays” são de LED's, são mais visíveis que os “displays” de cristal líquido, mesmo com pouca luz ou com luz refletida

O painel é constituído do “display” contador de rpm com quatro dígitos, do “display ” mostrador da carga, com três dígitos, e do “display” totalizador de ciclos com oito dígitos.

Os pulsos usados para o totalizador de ciclos e para o contador de rotações são obtidos a partir de uma roda dentada, e de um sensor eletromagnético de indução. Os dentes da roda dentada ao passarem em frente ao sensor geram uma tensão alternada de forma parecida com uma senóide. Esta forma de onda será processada pelo circuito eletrônico, “Schmitt trigger”, que transformará esta forma de onda em pulsos retangulares, próprios para o uso nos circuitos contador e totalizador de ciclos.

É necessário gerar 60 pulsos em uma volta do eixo, porque para processar o sinal que indicará no “display” o valor da rpm é tomado um tempo padrão para a contagem dos pulsos. Exemplo, se contar 60 pulsos da roda dentada em um eixo que gira com 60 rotações por segundo, tem-se 3600 pulsos contados em um tempo padrão de 1 segundo. Agora, se esta contagem for mostrada no “display” ele indicará o valor 3600 que corresponderá ao valor da rpm naquele intervalo de medição. Em seguida, um intervalo de tempo fica sem contagem e depois é reiniciada a contagem e a indicação no “display”.



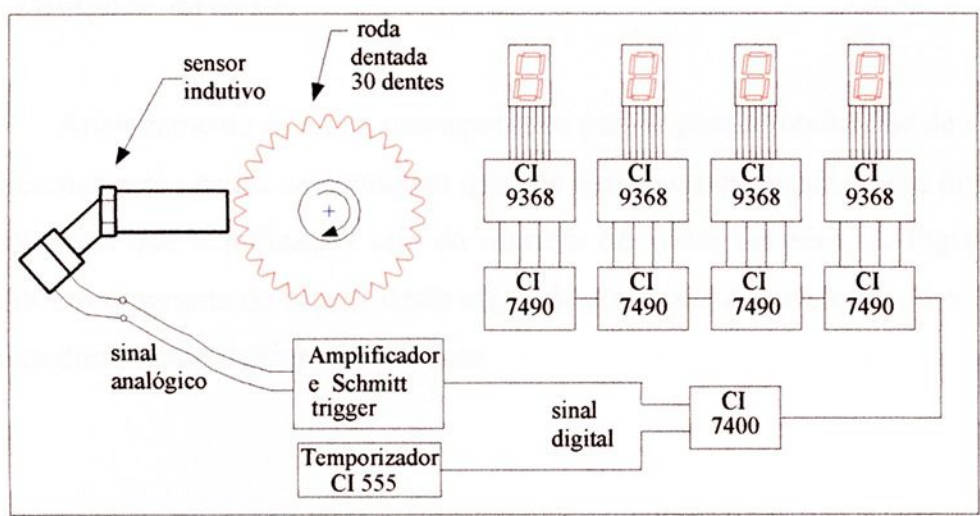


FIGURA 3.7 - Sensor eletromagnético , roda dentada e diagrama do contador

Esquemáticamente tem-se o diagrama de blocos mostrado na Figura3.8.

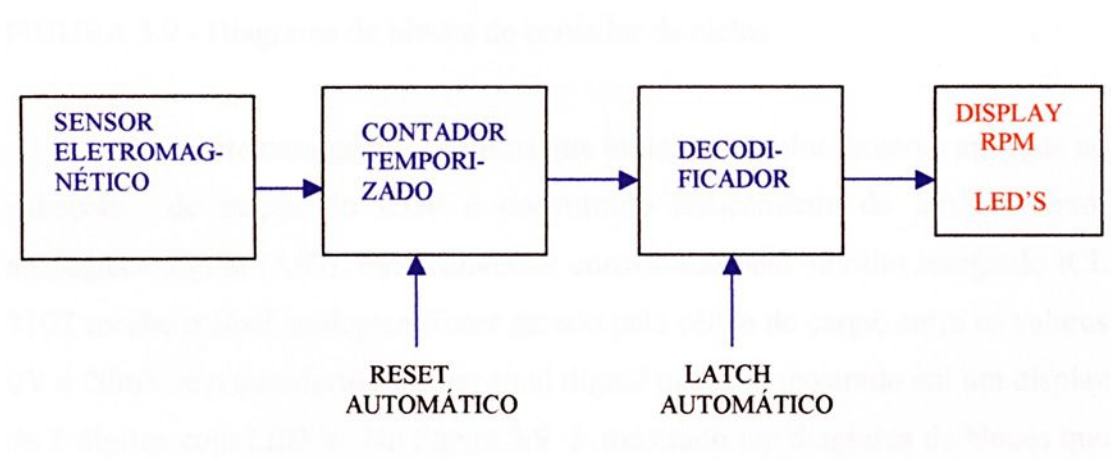


FIGURA 3.8 - Diagrama de blocos do indicador de RPM

3.4 Contador de ciclos

Analogamente é feita a contagem dos pulsos para o totalizador de ciclos. A diferença está apenas na contagem que não é mais temporizada, mas é dividida por 60 para que a indicação seja do número de voltas do eixo. A Figura 3.9 mostra um diagrama de blocos desta etapa de contagem dos ciclos ou das voltas do eixo durante um determinado ensaio.

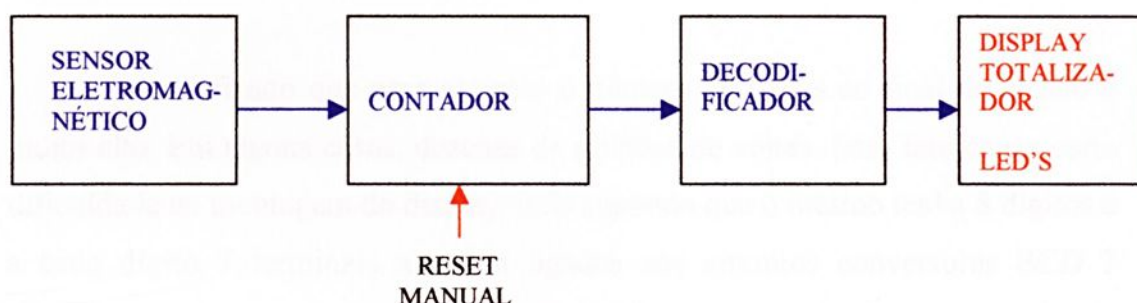


FIGURA 3.9 - Diagrama de blocos do contador de ciclos

O circuito para gerar os dígitos que indicarão o valor da carga aplicada no cabeçote de tração do CDP é constituído basicamente de um conversor analógico- digital (A/D). Este conversor constituído pelo circuito integrado ICL 7107 recebe o sinal analógico linear gerado pela célula de carga, entre os valores 0V e 20mV, e o transforma em um sinal digital que será mostrado em um display de 3 dígitos com LED's. Na Figura 3.9 é mostrado um diagrama de blocos que transforma o sinal de célula de carga em números no display.

O circuito para indicar o número de ciclos consiste basicamente em um contador de mudanças de nível. A cada mudança de estado do sinal de 0 para 1 ou de 0V para 5V, o contador incrementa em um a sua contagem.

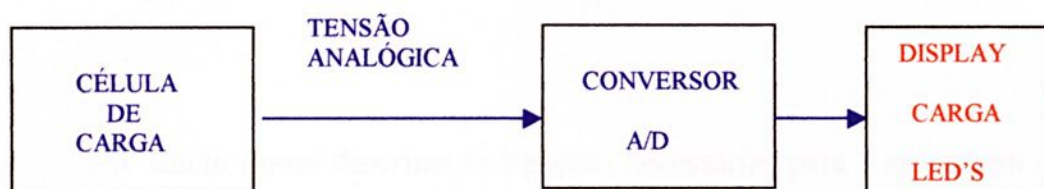


FIGURA 3.10 - Diagrama de blocos do conversor A/D

Foi verificado que normalmente o número de voltas ao final do ensaio é muito alto. Em alguns casos, dezenas de milhões de voltas. Esse fato causa certa dificuldade na montagem do display, pois supondo que o mesmo tenha 8 dígitos e a cada dígito 7 terminais a serem ligados aos circuitos conversores BCD 7 segmentos, tem-se pelo menos 56 ligações somente do “display”. Uma maneira de solucionar esse problema é a de utilizar sinais multiplexados para ativar os “displays”. Os 7 segmentos dos 8 dígitos do “display” são ligados em comum, ou seja, o terminal a de um dígito ligado aos outros 7, o terminal b de um dígito aos outros 7 e assim por diante. O pino de alimentação do “display” é ligado ao multiplexador. Este por sua vez alterna a alimentação do “display” e, ao alimentar determinado dígito, o circuito enviará a seqüência com o número desejado. Com isso, o dígito acenderá com o número desejado e logo em seguida apagará. Como o multiplexador realiza essas trocas da alimentação dos dígitos em frequência relativamente alta, tem-se a impressão que os dígitos do “display” estão sempre acesos.

Pelo mesmo fato de se escolher um único C I que realize todas as funções desejadas, como no caso do circuito indicador de carga, para o circuito contador de voltas será utilizado somente um CI: o ICM 7216A.

No início foram descritas as ligações necessárias para a montagem deste circuito. Este CI facilitaria a montagem, pois possui saídas multiplexadas para 8 “displays”.

Contudo, houve um problema na hora de adquirir o circuito. A solução foi a utilização de um contador que pertence à mesma família de circuitos do contador inicialmente projetado (ICM7216A). Neste caso, o circuito a ser utilizado é o ICM 7217A.

Este CI possui características semelhantes ao ICM 7216A como as saídas multiplexadas para a ligação do “display” de LED’s.

Como relatado no início deste tópico, tínhamos a necessidade de se obter grandes contagens. Em princípio utilizaríamos o CI ICM7216, pois este possuía saída para 8 displays. Como o integrado que utilizamos (ICM7217A) possuía saída para 4 displays, foi realizado uma montagem em cascata a fim de se obter uma saída com 8 “displays”. A seguir será indicado o esquemático do circuito indicador de voltas.

Como descrito anteriormente o sensor eletromagnético estará acoplado a uma engrenagem contendo 30 dentes. O sinal do sensor é processado por um circuito conversor que entrega em sua saída sinal com nível TTL de tensão, e também, que ao final de cada volta são apresentados 60 pulsos. Como o circuito indica o número de voltas da máquina, é necessário que haja um divisor por 60, para que a cada volta o circuito conte apenas um pulso. O circuito divisor por 60 está indicado na Figura 3.12 .

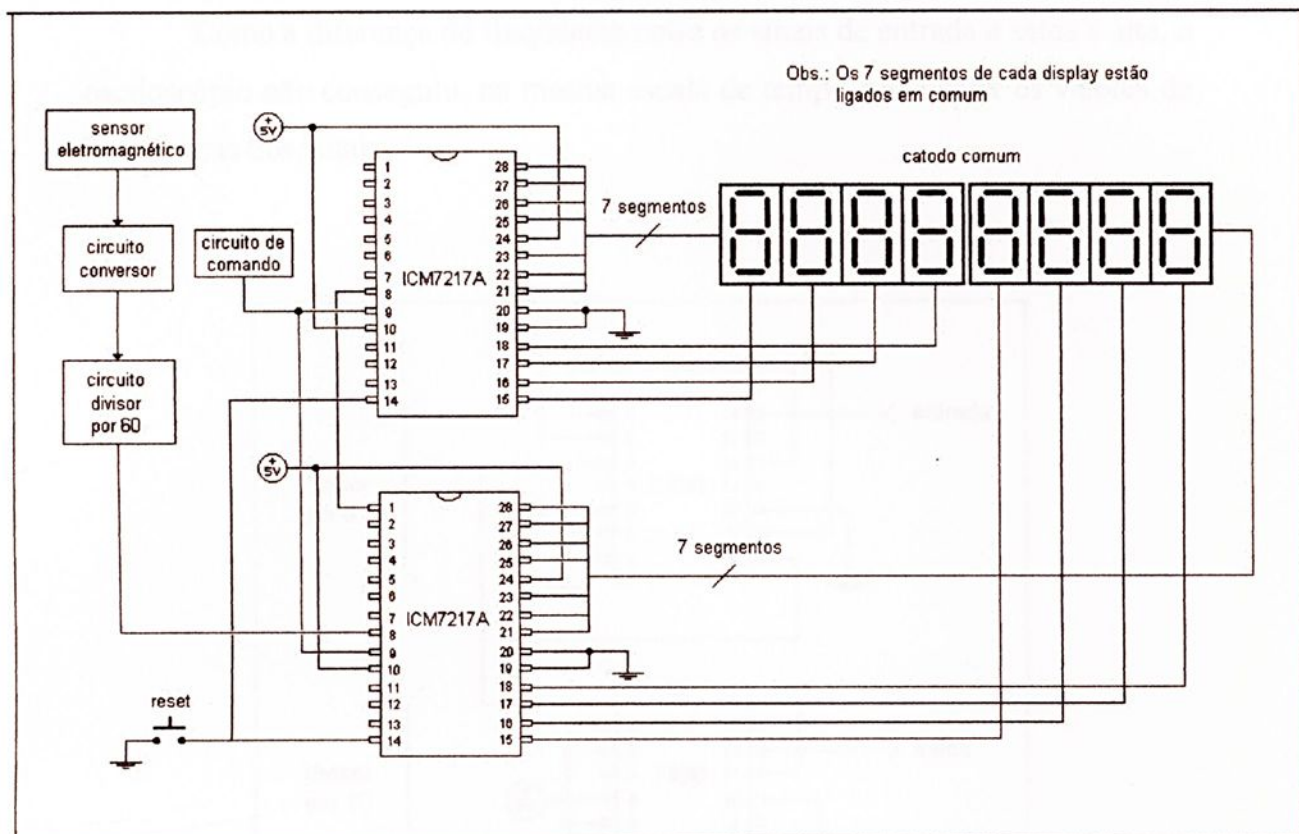


FIGURA 3.11 - Esquema do circuito indicador de ciclos.

Este circuito é constituído de dois contadores assíncronos (SN74LS90) ligados de tal forma que um faça a divisão por 6 e o outro por 10, resultando num total de 60 após o cascadeamento. Com isso, a cada volta, o contador é incrementado de um e sua saída é atualizada no “display” até que haja a ruptura do corpo de prova.

Na Figura 3.12 é apresentado o resultado obtido em um osciloscópio digital para as formas de onda de entrada e saída para o circuito divisor por 60.

Como a diferença de frequência entre os sinais de entrada e saída é alta, o osciloscópio não conseguiu, na mesma escala de tempo, apresentar os valores de frequências dos sinais.

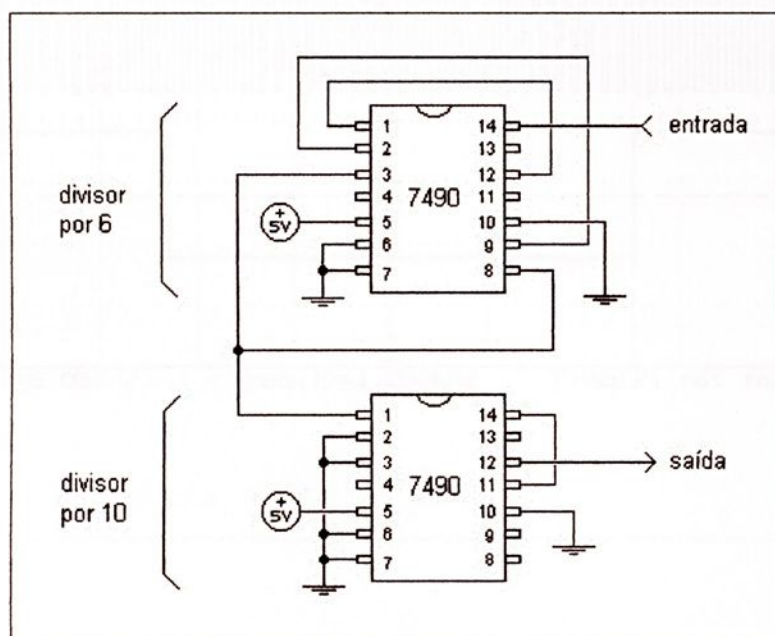


FIGURA 3.12 - Circuito divisor por 60

Primeiramente verificou-se o valor do sinal de entrada que era de aproximadamente 1250Hz (vale a pena ressaltar que esse valor possui um certo erro devido a escala de tempo).

A partir desse resultado, temos que a relação de frequência entre o sinal de entrada e o sinal de saída é de aproximadamente 60.3 que é o valor do divisor (lembrando que o valor da frequência de entrada possui uma certa tolerância).

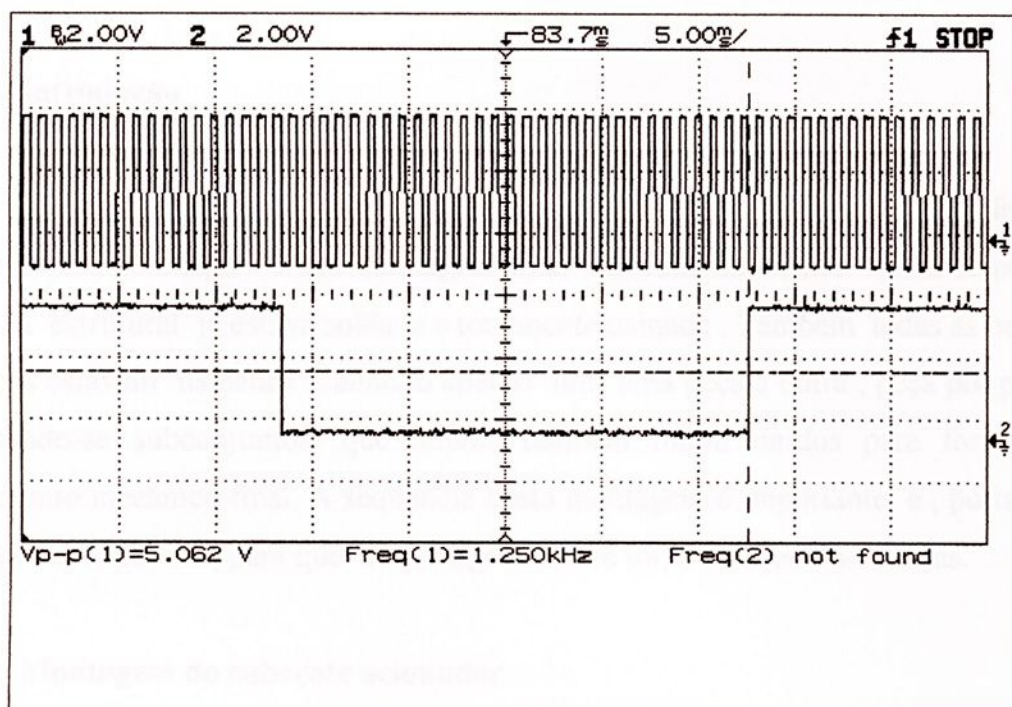


FIGURA 3.13 - Forma de onda quadrada apresentada pelo osciloscópio para o divisor por 60

4 MONTAGEM

4.1 Introdução

Para a montagem da máquina de ensaio de fadiga várias etapas foram feitas para se chegar a sua montagem final em funcionamento. Nesta etapa, a caixa estrutural já estava soldada e totalmente usinada. Também todas as outras peças estavam usinadas, faltando apenas unir uma peça à outra, peça por peça, obtendo-se subconjuntos, que depois também foram unidos para formar o conjunto mecânico final. A sequência desta montagem é importante e, portanto, deve ser explicada, para que a montagem não se torne um quebra-cabeças.

4.2 Montagem do cabeçote acionador

Para a obtenção do cabeçote acionador, a seguinte ordem, relacionada de agrupamento dos seus componentes foi feita:

- a) Montagem do porta pinças no eixo tubular.
- b) Montagem do rolamento 6206 no eixo tubular usando uma pequena prensa, pois o anel interno acopla-se ao eixo com pequena interferência.
- c) Procedimento análogo ao que foi feito em “c” se faz para montar o anel interno do rolamento NU 206 no eixo tubular.
- d) Montagem dos dois anéis elásticos para furo no cabeçote acionador.
- e) Montagem simultânea do anel externo do rolamento NU 206 e do subconjunto obtido das etapas a, b e c acima referidas, e da carcaça do cabeçote acionador.

- f) Montagem dos dois anéis elásticos no eixo tubular; agora já é possível girar o cabeçote acionador.
- g) Montagem dos dois retentores nos dois flanges laterais e colocação dos anéis Oring.
- h) Montagem dos flanges na carcaça do cabeçote acionador , fechando este conjunto.
- i) Montagem da polia sincronizadora na roda dentada, usando uma prensa leve.
- j) Montagem do conjunto obtido em “ i ” no eixo tubular, usando o parafuso M12 para apertar estas peças axialmente.
- k) Montagem do cabeçote acionador completo na tampa superior da caixa usando os 6 parafusos M10.

4.3 Montagem do motor trifásico no fundo da caixa

- a) Montagem da polia sincronizadora no eixo do motor , utilizando um martelo leve e observando a chaveta durante a montagem. Apertar em seguida o parafuso sem cabeça que está alojado radialmente no cubo da polia.
- b) Utilizando a placa de suporte do motor e de regulação da tensão da correia, prender esta placa no fundo da caixa utilizando os 6 parafusos e os tubos que separam a placa do fundo da caixa.



4.4 Montagem e ajuste da correia sincronizadora

- a) Com o cabeçote acionador no seu devido lugar e com o motor na sua placa de sustentação, coloca-se a correia sincronizadora 255 L na polia do cabeçote acionador e na polia do motor, fazendo o ajuste da tensão na correia utilizando-se o deslocamento do motor na sua placa de sustentação e os furos oblongos desta placa.

4.5 Montagem do parafuso de tração

- a) Toma-se a porca giratória de bronze e a polia sincronizadora, unindo-se estas peças através de 4 parafusos M5.
- b) Toma-se a placa circular e a porca giratória de bronze. Introduz-se o parafuso no furo da placa pelo lado de baixo da placa. Em seguida coloca-se o anel de bronze no lado oposto e trava-se o movimento axial do parafuso de bronze, montando o anel elástico no canal externo desta porca.
- c) Toma-se o parafuso de passo micrométrico e o introduz na porca giratória de bronze.
- d) Após a montagem obtida acima monta-se a placa circular no fundo da caixa através dos 4 parafusos M10 e dos tubos espaçadores.

4.6 Montagem da célula de carga

- a) Toma-se a célula de carga e os dois parafusos M12 que possuem do lado da cabeça um rasgo longitudinal de 4 mm e um furo transversal
- b) Em seguida prende-se os parafusos no corpo da célula de carga.



- c) Une-se , através de um dos lados da célula de carga e junto com uma placa de ligação, a célula da carga ao parafuso de tração.
- d) Com procedimento análogo feito em c, une-se a célula de carga ao cabeçote de tração.

4.7 Acoplamento do micromotor ao parafuso de tração

- a) Utilizando-se o conjunto composto pelo micromotor e redutor, a placa de sustentação e os tubos separadores, prende-se estas peças ao fundo da caixa. Não há possibilidade de erros , pois as furações e correia XL só permite um modo de montagem.
- b) Em seguida faz-se o ajuste da correia sincronizadora deslocando-se o motor na sua placa de sustentação através dos furos oblongos.

4.8 Montagem do sensor indutivo

- a) Utilizando-se o suporte do sensor e o sensor , unir as duas peças através do parafuso M6.
- b) Fixar , em seguida o conjunto na placa superior através dos dois parafusos M8, observando o ajuste entre o sensor e a roda dentada.

4.9 Montagem do cabeçote tracionador

- a) Toma-se o rolamento autocompensador e a carcaça do cabeçote . Utilizando uma pequena prensa o rolamento é introduzido no furo do cabeçote.
- b) Em seguida o anel elástico é colocado no furo . Não há necessidade de lubrificação , pois este rolamento já vem com graxa e tem vedação nos dois lados.



- c) A montagem do porta pinça e do tubo de acoplamento é feita usando-se uma pequena prensa.
- d) A montagem do conjunto obtido em “c” e do conjunto obtido em respectivamente em “a” e “b” é feita também utilizando – se uma pequena prensa . Nesta operação o anel interno do rolamento é prensado no tubo de acoplamento entre o rolamento e o porta pinça.

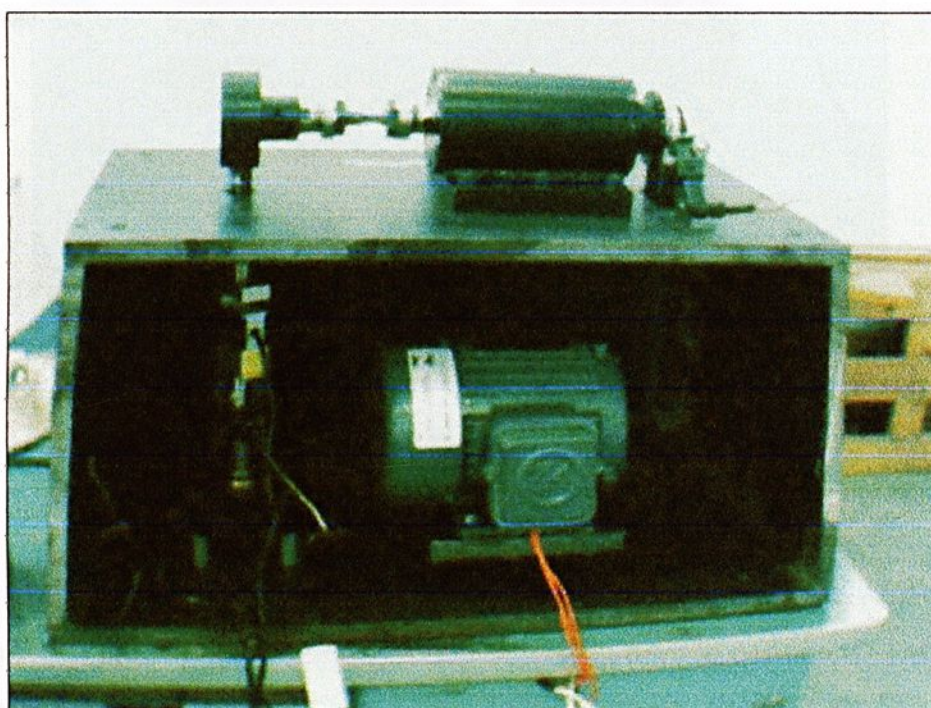


FIGURA 4.1- Máquina de ensaio montada visto pela parte traseira

A Figura 4.1 mostra o resultado obtido da montagem de toda a parte mecânica da máquina.

A Figura 4.2 mostra a máquina acoplada ao inversor de frequência e ao circuito eletrônico . Nesta etapa a máquina já esta pronta para funcionar com todas as suas partes mecânicas e eletrônicas acopladas.

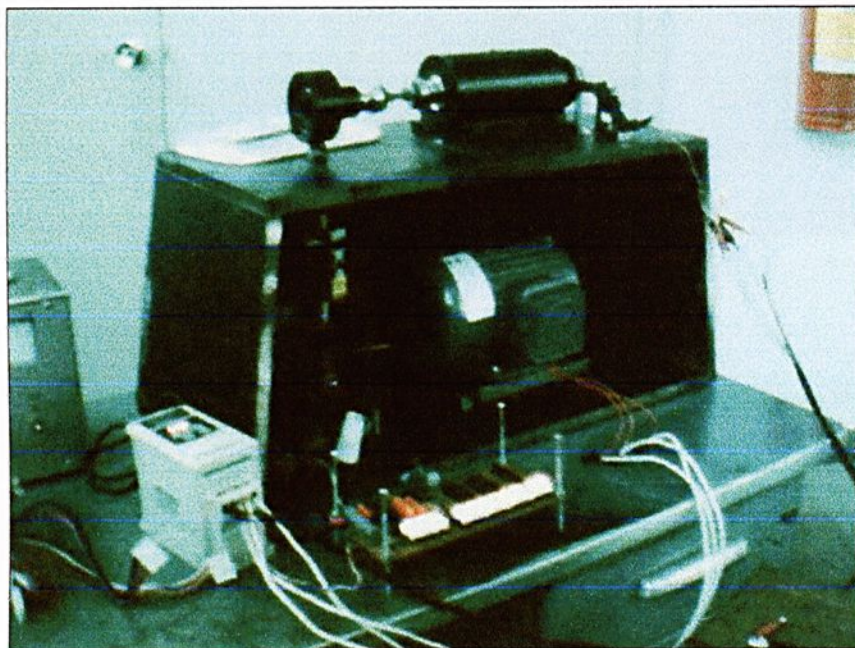


FIGURA 4.2 - Máquina com inversor de frequência e circuito de comando

A Figura 4.3 apresenta com detalhes o circuito construído em "wire-wrap". Esta apresentação é para facilitar a montagem durante o período de ensaio de funcionamento da máquina. Deve-se lembrar que o objetivo do trabalho é fazer com que a máquina funcione perfeitamente com todas as suas funções, mas não com uma apresentação com intuito comercial, pelo menos até esta etapa proposta.

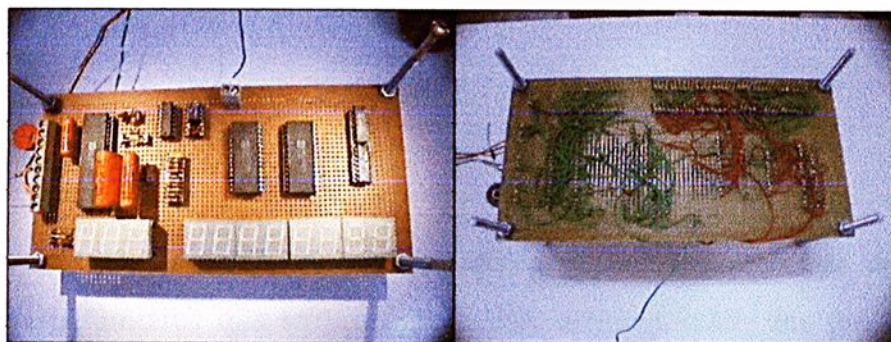


FIGURA 4.3 - Circuito montado em placa de "wire-wrap".

5 TESTES

Durante os testes de funcionamento da máquina procurou-se determinar os vários parâmetros que foram objetos de identificação dos problemas na proposta deste trabalho. Dentre os parâmetros analisados e o mais esperado foi como a máquina se comportaria com relação ao seu nível de ruído. Para esta comparação procurou-se, durante um ensaio da máquina antiga utilizada no departamento de materiais e tecnologia, fazer as medidas do nível de ruído dbA para várias rotações. Os mesmos procedimentos foram utilizados para a medição do nível de ruído da máquina proposta deste trabalho. Após as medidas, foi montada uma tabela para a comparação dos resultados obtidos, como mostrado na Tabela 5.1. Pode-se observar então que o nível de ruído foi consideravelmente menor na máquina nova. Sendo assim esta proposta foi alcançada.

Por outro lado, a variação de rpm que foi utilizada também durante a medida do nível de ruído também foi facilmente controlada utilizando o inversor de frequência e fazendo a leitura no painel digital. A sua aferição foi feita utilizando-se um tacômetro sem contato para não interferir na leitura, isto é, o contato poderia acrescentar um torque ao eixo e que não saberíamos avaliar. Os valores comparados estavam exatamente iguais, não sendo novidade tendo em vista a forma utilizada pelo circuito eletrônico, isto é, a forma de obtenção dos pulsos e o seu é um procedimento lógico que só não funcionaria corretamente se o circuito tivesse um defeito. Também o que foi proposto foi alcançado.

TABELA 5.1 – Nível de ruído das máquinas

rpm	máquina velha	máquina nova
1400	80	70
2000	84	75
2500	86	77
3500	88	83

nível de ruído em dbA

Com relação a temperatura de funcionamento do cabeçote pode-se observar que a sua temperatura de funcionamento estava bem mais baixa que aquela da máquina antiga. Embora não se tenha medido utilizando um termômetro, foi feita subjetivamente, ou seja, após um determinado período de funcionamento semelhantes nas duas máquinas, na máquina antiga não poderia suportar as costas da mão encostada no cabeçote acionador, ao passo que na máquina poderia tranquilamente encostar as costas da mão. Também esta proposta foi alcançada. No entanto, pode-se melhorar mais ainda este problema com a introdução da circulação do óleo do cabeçote através de uma pequena bomba e um radiador.

Analisando o parafuso tracionador para aplicação da carga no corpo de prova observa-se que o conjunto funcionou exatamente conforme previsto. O micromotor forneceu torque suficiente para até a carga máxima com folga. Mas

uma melhoria poderia ser introduzida nesta parte da máquina, que seria a colocação de um sistema de freio para que a carga não seja aliviada durante uma operação de ensaio prolongada e com algum desgaste deste conjunto. Mesmo observando esta melhoria que pode ser introduzida, acredita-se que também este objetivo do projeto foi plenamente alcançado.

Uma operação que era esperada com ansiedade para ver se funcionaria convenientemente conforme prevista é a colocação do corpo de prova e a sua fixação nas pinças. Esta operação é feita introduzindo-se o corpo de prova axialmente pelo cabeçote de tração. Foram necessários alguns ajustes para que finalmente esta operação ficasse conforme planejada.

Outro problema que foi notado durante os testes foi o ajuste da correia sincronizadora que liga o motor trifásico ao cabeçote acionador. Como durante o ajuste do tensionamento da correia do motor é necessário um deslocamento grande do motor, e porque as correias são padronizadas, seria melhor colocar um polia tensionadora nesta parte da máquina para uma operação de ajuste melhor e mais fácil.

Uma última observação que durante os testes foi observada é um ruído que se for eliminado ou minimizado vai melhorar ainda mais o nível de ruído da máquina. No entanto o problema é saber como é gerado este ruído. Ao que parece ele deve ser gerado na estrutura da caixa da máquina. É um problema para se estudar.

6 CONCLUSÕES

A ampla pesquisa bibliográfica permitiu:

- a) fazer um breve histórico sobre os ensaios de fadiga;
- b) descrever uma das primeiras máquinas de ensaio fabricadas
- c) concluir que em termos de projeto não se conheceu trabalhos publicados que objetivamente ensinem a projetar estas máquinas.

Os parâmetros principais para o projeto da máquina estão pormenorizados no capítulo 2, assim como um roteiro a ser seguido para a sua obtenção.

Os materiais mais adequados para a construção da máquina, assim como os elementos de máquina escolhidos também são indicados, mas o detalhe dos cálculos não é apresentado por considerá-los óbvios. Partes da máquina não tem os materiais indicados neste trabalho, ficando a cargo do projetista a sua escolha. De novo, deve-se salientar que cabe ao projetista definir detalhes como o número de parafusos, tipos de parafusos, tipos de vedação, acabamento superficial, assuntos estes comuns a projetos semelhantes, não devendo constar, obviamente, de trabalhos como o presente.

O trabalho é sem dúvida um combinação da mecânica e da eletrônica, não podendo funcionar separadamente. Constitui-se, portanto, um trabalho de “mecatrônica”. E, por este motivo, foram dois trabalhos feitos independentemente que se ligaram de forma ordenada para constituir esta máquina de ensaio de fadiga por flexão rotativa.

Comparando esta máquina com as outras mais antigas que foram conhecidas durante este trabalho, pode-se concluir que houve um grande avanço em relação à parte mecânica, assim como em relação à parte elétrica e

eletrônica. Em relação à parte mecânica pode – se observar a facilidade de montagem e desmontagem, a simplicidade dos mecanismos , o menor número de peças , utilização de elementos de máquinas mais simples e eficientes. Com relação à parte elétrica pode – se citar a utilização de motor de indução com rotação variável assim como o inversor de frequência e eliminação de transformadores e de retificadores de potência. E, com relação à parte eletrônica houve a utilização de circuitos integrados , da célula de carga , assim como dos sensores indutivos.

E ainda ,a parte eletrônica como se observa no dia a dia referente a outros elementos, aqui também pode-se usar ainda mais eletrônica na automatização e trazer facilidades para o operador e para o ensaio em si

Assim, o proposto como objetivo foi alcançado.



Referências Bibliográficas

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING & MATERIALS. **Test methods for rockwell hardness and rockwell superficial hardness of metallic materials.** Ohio:ASTM.1995.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING & MATERIALS. **Test methods or tension testing of metallic materials.** Ohio: ASTM, 1995.

ASM HANDBOOK. **Mechanical testing.** Ohio: ASM, 1985. v. 8.

BALDAM, R. **Auto CAD 2000.** São Paulo: Ed.Érica, 1999. 503 p

BLODGETT, O. W. **Design of welded structures.** Cleveland, Ohio:Ed. The James F. Lincoln Arc Welding Foundation, 1991.

BOYER, H.E (Ed). **Metals handbooks: failure analisys and prevention.** 8.ed. Ohio: ASM, 1975. v. 10.

FAIRES, V.M. **Elementos orgânicos de máquinas.**Rio de Janeiro: Ed. Livros Técnicos e Científicos, 1998 v. 1e 2.

FUCHS, H.O.; STEPHENS,R.I. **Metal fatigue in engineering.** NewYork: John Wiley & Sons,1980

HASHIMOTO, T. M. **Fadiga do aço de baixo carbono com microestrutura**



bifásica. Guaratinguetá, 1989. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica — Projetos e Materiais) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista.

HASHIMOTO, T.M. **Efeito da concentração de tensões na fadiga como dano acumulado em flexão rotativa em liga Al-Mg-Si**. São José dos Campos, 1976. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Instituto Tecnológico da Aeronáutica.

INTERSIL, **Component data c atálogo**. U.S.A.: Intersil, 1987 pag. Irreg.

JUVINALL, R.C.; MARSHEK, K.M. **Fundamentals of machine component design**. New York: Ed. John. Wiley & Sons, 1991 .804p.

LYMAN, T. (Ed). **METALS HANDBOOK**: Heat, treating, cleaning and finishing. 8. Ed. Ohio: ASM, 1964. v.2.

METALAC.S.A. INDUSTRIA E COMÉRCIO. **Catálogo de engenharia dos produtos Tellep**. São Paulo: Metalac, 65p.

MILLER, K. J.. **Materiais science perspective of metal fatigue resistance materials Science and Technology**, v. 9, June, 1993. p.452-62.

NACHI DO BRASIL IND. E COM. LTDA. **Ball and roller bearings**. São Paulo: 1982. 387p.

NIEMANN, G. **Elementos de máquinas**. .2ed. São Paulo: Edgard Blucher, 3v. 1971.



NORTON, R. L. **Machine design: an integrated approach**. New York: Prentice-Hall Inc., 1998.

PASTOUKHOV, V. A., VOORWALD, H.J. C. **Introdução à mecânica da integridade estrutural**, São Paulo: Ed. UNESP, 1995. 192p.

PERES, M. P. **Estudo do efeito do tempo e da temperatura de desidrogenação na resistência á fadiga do aço 4340 que sofreu eletrodeposição de cádmio**. Lorena, 1996. 156p. Tese (Doutorado em Engenharia de Materiais) — Faculdade de Engenharia Química de Lorena..

SABÓ INDUSTRIA E COMÉRCIO LTDA. **Catálogo técnico**. São Paulo: Sabó, S.D. 40p

SHIGLEY, J. E. **Elementos de máquinas**, 3.ed. Rio de Janeiro: Ed. Livros Técnicos e Científicos, 2v. 1984.

SKF. **Catálogo geral**. Torino: SKF, 1989. 976p.

SOUZA, S. A. **Ensaio mecânicos de materiais metálicos**. 3ed. São Paulo: Edgard Blucher, , 1974.

UHLIG, H. H. *Corrosion handbook*. New York: John Wiley & Sons, 1966.

VOORWALD, H. J. C. **Análise sobre a influência de algumas variáveis no comportamento em fadiga por flexão rotativa em aços ABNT 4140 e ABNT4340**. São José dos Campos, 1983. 157p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) — Instituto Tecnológico da Aeronáutica.



VOORWALD, H. J. C. Propagação de trincas por fadiga em chapas finas de liga de alumínio de alta resistência sob carregamentos de amplitude variáveis. *Campinas, 1987. 198p. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual de Campinas.*

WALDES TRUARC. Retaining rings and assembly tools. Long Island: Waldes Kohinoor, 124p

ZAHAVI, E. Fatigue design, Boca Raton, Florida: Ed. CRC Press, 1996.



