

# **PROJETO E DESENVOLVIMENTO DE UMA MÁQUINA DE ENSAIO DE FADIGA PARA CORPOS DE PROVA DE OSSOS**

**Antônio Carlos Marangoni**

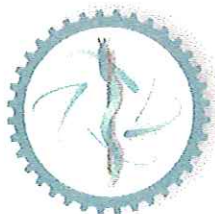
**Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação Interunidades Bioengenharia – USP (Escola de Engenharia de São Carlos / Faculdades de Medicina de Ribeirão Preto / Instituto de Química de São Carlos), como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Bioengenharia.**

**Orientador: Prof. Dr. José Batista Volpon**



**Ribeirão Preto**

**2001**



*Universidade de São Paulo*  
*Curso de Pós-Graduação Interunidades Bioengenharia*  
*Escola de Engenharia de São Carlos*  
*Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto*  
*Instituto de Química de São Carlos*

MEMBROS DA COMISSÃO JULGADORA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DO ALUNO ANTÔNIO CARLOS MARANGONI, APRESENTADA AO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO INTERUNIDADES BIOENGENHARIA EESC/FMRP/IQSC-USP, EM 23/05/2001.

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. JOSÉ BATISTA VOLPON – Orientador

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. JOSÉ BAPTISTA PORTUGAL PAULIN / FMRP

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. LUIZ EDUARDO BARRETO MARTINS / UNICAMP

*Aos meus pais,  
minha esposa Carol  
e meu filho Rafael,  
Por acreditarem em mim e pelos momentos de ausência.*

## Agradecimentos

---

Ao Prof. Dr. *José Batista Volpon*, pelo incentivo, ensinamentos, dedicação, amizade e confiança em mim depositada;

Ao Dr. *Antônio Carlos Shimano*, pela amizade, dedicação, incentivo, auxílio tecnológico e valiosos ensinamentos que ajudaram na formação não só do trabalho, como também da pessoa que o desenvolveu;

Ao Prof. Dr. José Baptista Portugal Paulin, pela acolhida no laboratório;

A coordenadora Prof. *Lucinda Maria de Fátima R. Coelho*, pelo incentivo, amizade e orientação durante a realização deste trabalho;

Ao Engenheiro *Marcos Massao Shimano*, pela confecção dos desenhos que fazem parte desta dissertação;

Ao Veterinário *Vitor Aparecido Castania*, pelas orientações na parte biológica;

Aos funcionários do Laboratório de Bioengenharia da FMRP – USP, Engenheiro Carlos Alberto *Moro*, *Francisco Carlos Mazzocato*, *Luis Henrique Alves Pereira* e *Maria Teresinha de Moraes*, pela paciência, dedicação e amizade;

Aos funcionários da Oficina Mecânica de precisão da prefeitura do Campus da USP de Ribeirão Preto, pela colaboração na confecção da máquina objeto deste trabalho e amizade demonstrada. Ao funcionário Sr. *Otávio Terra*, pela dedicação, habilidade, capacidade e amizade.

## SUMÁRIO<sup>1</sup>

---

LISTA DE FIGURAS.....	i
LISTA DE TABELAS.....	iii
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....	iv
RESUMO.....	v
ABSTRACT.....	vi
1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 ENSAIOS DE FADIGA.....	1
1.2 TIPOS DE ENSAIOS DE FADIGA.....	2
1.3 OBJETIVO.....	7
2 MATERIAIS E MÉTODOS.....	9
2.1 MATERIAIS UTILIZADOS NA MÁQUINA DE ENSAIO DE FADIGA.....	9
2.2 MONTAGEM DA MÁQUINA DE ENSAIO DE FADIGA.....	9
2.3 FUNCIONAMENTO DA MÁQUINA DE ENSAIO DE FADIGA.....	12
2.4 TESTE DE RESISTÊNCIA.....	15
2.5 PREPARAÇÃO DOS CDPS.....	15
2.6 IDENTIFICAÇÃO DOS CDPS.....	18
2.7 ENSAIO DE FADIGA.....	19
2.8 ENSAIO DE FLEXÃO.....	20
2.9 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	21
3 RESULTADOS.....	22
3.1 RESULTADO DA MEF.....	22
3.2 PROPRIEDADES MECÂNICAS.....	22
3.2.1 Rigidez (R).....	22
3.2.2 Resiliência (E).....	23
3.3 COMPARAÇÃO ENTRE OS RESULTADOS OBTIDOS NA TECF E TDSF.....	24
4 DISCUSSÃO.....	30
5 CONCLUSÕES.....	33
ANEXOS.....	34
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	55

---

<sup>1</sup> O formato da dissertação segue as diretrizes para elaboração de dissertações e teses da EESC – USP - 2<sup>a</sup>. ed.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Esquema de máquina de fadiga de flexão rotativa. ....	4
FIGURA 2 - Esquema de máquina de fadiga de flexão plana. ....	6
FIGURA 3 - Detalhamento construtivo da MEF. ....	9
FIGURA 4 - Detalhe do mecanismo biela-excêntrico. ....	10
FIGURA 5 - Detalhe da extremidade do cursor e CDP. ....	10
FIGURA 6 - Cuba da MEF. ....	11
FIGURA 7 - Cursor no CDP. ....	11
FIGURA 8 - Eixo de movimento do cursor . ....	14
FIGURA 9 - Relação entre as polias. ....	13
FIGURA 10 - Suporte do CDP dentro da cuba. ....	14
FIGURA 11 - Mecanismo “ <i>Timer</i> ”. ....	14
FIGURA 12 - Corte transversais na tíbia bovina e as marcações das faces. ....	16
FIGURA 13 - Detalhe mostrando a retirada de um CDP de uma das faces do bloco. ....	17
FIGURA 14 - CDPs prontos para o ensaio, medindo 2x4x50 mm. ....	19
FIGURA 15 - Ensaio de fadiga com hidratação do CDP. ....	19
FIGURA 16 - Ensaio de flexão em dois pontos. ....	21
FIGURA 17 - Gráfico carga x flecha. ....	23
FIGURA 18 - Curva carga x flecha para os 24 CDP da TDSF. ....	24
FIGURA 19 - Curva carga x flecha para os 24 CDP da TECF. ....	25
FIGURA 20 - Curvas médias da carga x flecha obtidas nos ensaios. ....	25
FIGURA 21 - Comparação das médias das resiliências obtidas nos ensaios. ....	26
FIGURA 22 - Comparação das médias da rigidez flexural para os CDPs. ....	27
FIGURA 23 - Comparação das médias de carga para flecha de 4mm. ....	29

**LISTA DE TABELAS**

---

TABELA 01 - Relação dos materiais utilizados na construção da máquina de fadiga. ....	8
TABELA 02 - Valores de resiliência obtidos para cada CDP. ....	25
TABELA 03 - Valores de rigidez flexural obtidos para ca CDP. ....	27
TABELA 04 - Valores de carga para 4 mm de flecha obtidos para cada CDP. ....	28

**LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

---

A	-	Ampère
ASTM	-	American Society for Testing and Materials
CDP	-	corpo de prova
J	-	Joule
KN	-	Kilonewton
Hz	-	Hertz
m	-	metro
MEF	-	máquina de ensaio de fadiga
MUE	-	máquina universal de ensaio
mm	-	milímetro
N	-	Newton
R	-	Rigidez
rad	-	radiano
RPM	-	rotações por minuto
s	-	segundo
TDSF	-	tíbia direita sem fadiga
TECF	-	tíbia esquerda com fadiga
V	-	Volt
W	-	Watt



## RESUMO

---

Com o propósito de contribuir com os estudos do comportamento do tecido ósseo e auxiliá-los em uma situação próxima da real, que é a de comportamento dinâmico, foi construída uma máquina de ensaio de fadiga (MEF) para corpos de prova de ossos.

Utilizaram-se corpos de prova de mesma dimensão retirados de um mesmo animal (boi), no qual os corpos de prova da tíbia esquerda foram submetidos a 42.000 ciclos na máquina de ensaio de fadiga e, posteriormente, submetidos à flexão na máquina universal de ensaio e os corpos de prova da tíbia direita foram levados aos ensaios de flexão sem terem passados por fadiga.

Os resultados obtidos para os CDPs, com e sem fadiga, demonstraram que as propriedades mecânicas dos CDPs tiveram sensível índice de variância, caracterizando assim a eficiência da MEF. Além disso, a MEF é capaz de executar ensaios com valores de amplitude de 0,5mm e de 1,0mm, bastando para isso a troca do excêntrico por um destes que já foram confeccionados.

Palavras-Chave: Biomecânica, fadiga, tíbia.

## ABSTRACT

---

A fatigue's testing machine (MEF) was built to be used in bone samples, with the purpose of giving aid and contribution to the study of bone tissue's behavior in a situation close to a real one, that is the dynamic behavior.

Samples all with the same dimension taken from only one animal (an ox) were used. From those samples some were from the left shaft (diaphysis) and were submitted to 42.000 cycles in the fatigue's testing machine and after that submitted to bending test in the universal machine. Meanwhile, the right shinbone samples were submitted to bending tests without going through previous fatigue.

Results were obtained from bone samples (also called CDPs) which went through fatigue and from those that didn't. The results showed that mechanical properties from the CDPs had a sensible variant rate, which then characterized how efficient the fatigue testing machine is. Besides, the MEF is capable of making tests with the values of amplitude of 0,5mm and 1,0mm, just by switching the eccentric by one of those which were already pre-fabricated.

Keywords: Biomechanics, fatigue, Bone.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Esquema de máquina de fadiga de flexão rotativa. ....	4
FIGURA 2 - Esquema de máquina de fadiga de flexão plana. ....	6
FIGURA 3 - Detalhamento construtivo da MEF. ....	9
FIGURA 4 - Detalhe do mecanismo biela-excêntrico. ....	10
FIGURA 5 - Detalhe da extremidade do cursor e CDP. ....	10
FIGURA 6 - Cuba da MEF. ....	11
FIGURA 7 - Cursor no CDP. ....	11
FIGURA 8 - Eixo de movimento do cursor. ....	14
FIGURA 9 - Relação entre as polias. ....	13
FIGURA 10 - Suporte do CDP dentro da cuba. ....	14
FIGURA 11 - Mecanismo "Timer". ....	14
FIGURA 12 - Corte transversais na tíbia bovina e as marcações das faces. ....	16
FIGURA 13 - Detalhe mostrando a retirada de um CDP de uma das faces do bloco. ....	17
FIGURA 14 - CDPs prontos para o ensaio, medindo 2x4x50 mm. ....	19
FIGURA 15 - Ensaio de fadiga com hidratação do CDP. ....	19
FIGURA 16 - Ensaio de flexão em dois pontos. ....	21
FIGURA 17 - Gráfico carga x flecha. ....	23
FIGURA 18 - Curva carga x flecha para os 24 CDP da TDSF. ....	24
FIGURA 19 - Curva carga x flecha para os 24 CDP da TECF. ....	25
FIGURA 20 - Curvas médias da carga x flecha obtidas nos ensaios. ....	25
FIGURA 21 - Comparação das médias das resiliências obtidas nos ensaios. ....	26
FIGURA 22 - Comparação das médias da rigidez flexural para os CDPs. ....	27
FIGURA 23 - Comparação das médias de carga para flecha de 4mm. ....	29

## LISTA DE TABELAS

---

TABELA 01 - Relação dos materiais utilizados na construção da máquina de fadiga. ....	8
TABELA 02 - Valores de resiliência obtidos para cada CDP. ....	25
TABELA 03 - Valores de rigidez flexural obtidos para ca CDP. ....	27
TABELA 04 - Valores de carga para 4 mm de flecha obtidos para cada CDP. ....	28

**LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

---

A	-	Ampère
ASTM	-	American Society for Testing and Materials
CDP	-	corpo de prova
J	-	Joule
KN	-	Kilonewton
Hz	-	Hertz
m	-	metro
MEF	-	máquina de ensaio de fadiga
MUE	-	máquina universal de ensaio
mm	-	milímetro
N	-	Newton
R	-	Rigidez
rad	-	radiano
RPM	-	rotações por minuto
s	-	segundo
TDSF	-	tíbia direita sem fadiga
TECF	-	tíbia esquerda com fadiga
V	-	Volt
W	-	Watt

## RESUMO

---

Com o propósito de contribuir com os estudos do comportamento do tecido ósseo e auxiliá-los em uma situação próxima da real, que é a de comportamento dinâmico, foi construída uma máquina de ensaio de fadiga (MEF) para corpos de prova de ossos.

Utilizaram-se corpos de prova de mesma dimensão retirados de um mesmo animal (boi), no qual os corpos de prova da tíbia esquerda foram submetidos a 42.000 ciclos na máquina de ensaio de fadiga e, posteriormente, submetidos à flexão na máquina universal de ensaio e os corpos de prova da tíbia direita foram levados aos ensaios de flexão sem terem passados por fadiga.

Os resultados obtidos para os CDPs, com e sem fadiga, demonstraram que as propriedades mecânicas dos CDPs tiveram sensível índice de variância, caracterizando assim a eficiência da MEF. Além disso, a MEF é capaz de executar ensaios com valores de amplitude de 0,5mm e de 1,0mm, bastando para isso a troca do excêntrico por um destes que já foram confeccionados.

Palavras-Chave: Biomecânica, fadiga, tíbia.

## ABSTRACT

---

A fatigue's testing machine (MEF) was built to be used in bone samples, with the purpose of giving aid and contribution to the study of bone tissue's behavior in a situation close to a real one, that is the dynamic behavior.

Samples all with the same dimension taken from only one animal (an ox) were used. From those samples some were from the left shaft (diaphysis) and were submitted to 42.000 cycles in the fatigue's testing machine and after that submitted to bending test in the universal machine. Meanwhile, the right shinbone samples were submitted to bending tests without going through previous fatigue.

Results were obtained from bone samples (also called CDPs) which went through fatigue and from those that didn't. The results showed that mechanical properties from the CDPs had a sensible variant rate, which then characterized how efficient the fatigue testing machine is. Besides, the MEF is capable of making tests with the values of amplitude of 0,5mm and 1,0mm, just by switching the eccentric by one of those which were already pre-fabricated.

Keywords: Biomechanics, fatigue, Bone.

## **1. INTRODUÇÃO**

---

### **1.1. ENSAIOS DE FADIGA**

Segundo a norma E206-72 (ASTM, 1972) fadiga é um processo de alteração estrutural permanente, progressivo e localizado, que ocorre em um material sujeito a condições que produzem tensões dinâmicas em um ponto ou em vários pontos, e que pode culminar em fendas ou em ruptura completa. Portanto, denominamos fadiga o fenômeno do decréscimo de resistência de um material proveniente da aplicação de tensões que variam com o tempo (ARRIVABENE, 1994).

O comportamento dos materiais, componentes e estruturas, em termos de resistência à fadiga, é avaliado com os resultados obtidos nos ensaios de fadiga. Estes podem ser realizados em corpos de prova (CDP) do material ou nas próprias peças, estruturas ou detalhes (SOUZA, 1974). Os ensaios de fadiga em CDP destinam-se quase exclusivamente a fazer seleção de materiais, tratamentos térmicos, mecânicos ou químicos e condições de processamento. Na maior parte dos casos os ensaios em CDP só têm interesse comparativo porque raramente há uma geometria idêntica ou semelhante à da peça em serviço (BRANCO, 1980). São os ensaios mais utilizados por serem os de mais fácil execução e com menor custo de realização. As dimensões dos corpos de prova são pequenas, permitindo ensaios em laboratório com máquinas de pequena ou média capacidade.



Os ensaios em componentes podem ter também fins comparativos em termos de materiais, mas utilizam-se mais para otimização de formas geométricas e estabelecimento de tensões admissíveis (BEER & JOHNSTON, 1995). Os ensaios em estruturas ou partes da estrutura têm a mesma finalidade que os ensaios em componentes. São, no entanto, ensaios geralmente dispendiosos que só se justificam se o custo da construção for elevado e se a informação que se puder retirar deles for de grande importância para a otimização do projeto. Estes tipos de ensaios são largamente utilizados na indústria automobilística e aeronáutica na fase de projeto e desenvolvimento do protótipo. Nos protótipos reproduzem-se, em laboratório, as solicitações obtidas em serviço por intermédio da análise experimental de tensões e utilizam-se equipamento e técnicas de ensaio (SERENSEN, et al, 1970).

## **1.2. TIPOS DE ENSAIOS DE FADIGA**

Os ensaios de fadiga em CDP são normalmente realizados aplicando solicitações uniaxiais dos seguintes tipos (BRANCO, 1980):

- a) Flexão rotativa (alternada);
- b) Flexão plana (alternada, repetida ou pulsante);
- c) Torção alternada;
- d) Tração-compressão alternada, repetida ou pulsante.

Pode-se, também, realizar ensaios biaxiais. Sendo os mais frequentes :

- a) Flexão alternada ou tração alternada

b) Tração ou compressão biaxiais

c) Torção alternada com tração estática.

Para efeito comparativo, qualquer destes ensaios poderá satisfazer ao objetivo dos estudos. Contudo, deve-se escolher um tipo de ensaio em que as solicitações aplicadas sejam, tanto quanto possíveis análogas às existentes em serviço. Neste aspecto é de referir que o ensaio biaxial é mais caro que o uniaxial essencialmente devido ao custo mais elevado dos equipamentos e montagens. Por este motivo, os ensaios uniaxiais são mais utilizados na prática que os biaxiais (FORSYTH, 1969).

O ensaio mais utilizado, e também o mais simples e econômico, é o de flexão rotativa que simula o estado de tensão em um eixo rotativo submetido a cargas transversais (GUY, 1980). Este ensaio consiste em submeter a um esforço de flexão simples ou pura em um CDP de secção circular que gira à velocidade de rotação constante. O CDP encontra-se fixado em uma das extremidades com a outra extremidade livre, em que se aplica a carga estática que provoca flexão. Em algumas máquinas essa carga é aplicada por intermédio de uma alavanca, o que tem a vantagem de permitir variar a carga apenas pelo deslocamento de um peso. Como exemplo de um mecanismo com estas características temos o esquema de uma máquina de fadiga de flexão rotativa (FIGURA 1).

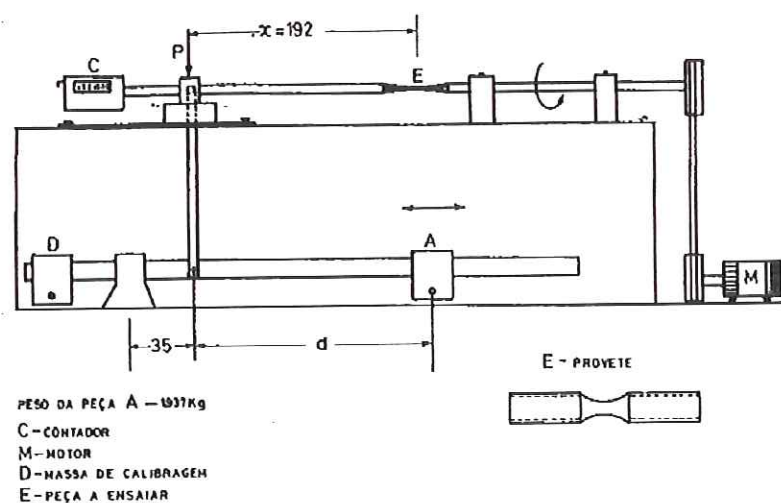


FIGURA 1 – Esquema de máquina de fadiga de flexão rotativa. (FONTE: BRANCO, (1980). *Mecânica dos Materiais*, Fundação Calouste Gulbenkian).

De acordo com o sistema indicado, o cursor A desloca-se ao longo de uma escala, o que faz variar a carga  $P$  (TIMOSHENKO, 1976). O momento fletor aplicado na seção central do CDP é:

$$M = P\chi, \quad (1)$$

onde:

$M$  - momento fletor (N.m);

$P$  - Peso (N);

$\chi$  - distância (m).

No ensaio de flexão plana o CDP também se encontra fixado numa das extremidades e a carga aplicada na outra extremidade, provocando, também, a flexão. Ao contrário da flexão rotativa, neste ensaio o CDP encontra-se estacionário e a carga é que oscila, (FIGURA 2). A carga oscilante  $P$  é normalmente induzida

pelo deslocamento provocado na extremidade livre do CDP por um sistema de biela com excêntrico regulável, o que permite variar a flecha ( $\delta$ ) na extremidade do CDP, que se mantém constante durante o ensaio.

O ensaio de torção alternada ou repetida tem um princípio de aplicação análoga ao de flexão plana, com a diferença de que a carga  $P$  não é aplicada segundo um eixo de simetria do CDP, mas a uma certa distância  $\gamma$  do eixo longitudinal, de modo a criar um momento de torção alternado cujo módulo será:

$$M_T = P\gamma \quad (2)$$

onde:

$M_T$  - momento de torção (N.m);

$P$  - carga (N);

$\gamma$  - distância (m).

Neste exemplo, a torção alternada será acompanhada de alguma flexão, obtendo-se um estado biaxial de tensões.

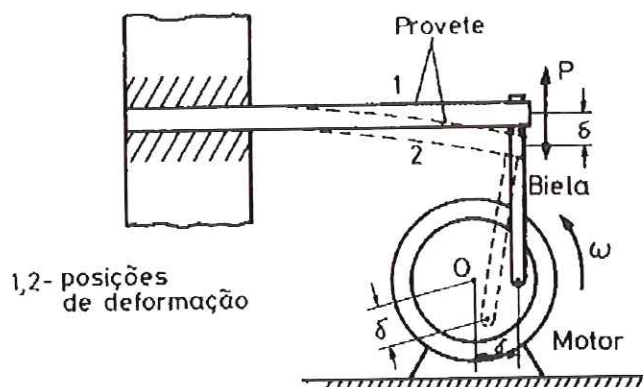


FIGURA 2 – Esquema de máquina de fadiga de flexão plana. (FONTE: BRANCO, (1980). *Mecânica dos Materiais*, Fundação Calouste Gulbenkian).

As máquinas de ensaios de fadiga de funcionamento mecânico só são utilizadas para cargas e deslocamentos relativamente reduzidos (BRANCO, 1980). Para altas cargas as dimensões dos excêntricos e as forças de inércia criadas na rotação são grandes, sendo mais conveniente aplicar as cargas com cilindros hidráulicos ou servo-hidráulicos. As máquinas de tração alternada com capacidade de carga superior a 20 kN utilizam sistemas servo-hidráulicos que trabalham em circuito fechado com controle de forças, deslocamentos e extensões.

### **1.3. OBJETIVO**

---

Projetar e desenvolver uma máquina para ensaio uniaxial de fadiga com flexão plana (MEF), que permite expor o CDP a um determinado número de ciclos de tensão.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. MATERIAIS UTILIZADOS NA MEF

Para a confecção da máquina foram utilizados os materiais listados na tabela 01, cujas especificações estão nos desenhos <sup>2</sup> e preenchem não só as condições fixadas pela sua finalidade, mas também os requisitos de uma execução econômica (STEMMER, 1979).

TABELA 01 – Relação dos materiais utilizados na construção da máquina de fadiga.

N.º	Quantidade	Utilização	Material
1	1	Polia superior	Aço
2	1	Suporte do rolamento	Latão
3	1	Eixo	Aço
4	1	Suporte do rolamento	Latão
5	1	Excêntrico	Latão
6	1	Suporte guia superior do cursor	Latão
7	1	Biela	Latão
8	1	Manivela	Latão
9	1	Cursor	Aço
10	1	Suporte guia inferior do cursor	Latão
11	2	Bucha cursor	Latão
12	1	Bucha biela	Latão
13	1	Bucha manivela	Latão
14	2	Parafuso Allen do suporte cursor	Aço
15	2	Arruela de pressão	Aço
16	3	Parafuso sem cabeça	Aço
17	1	Base	alumínio
18	8	Parafuso Allen p/ suporte do rolamento	Aço
19	2	Parafuso Allen p/ suporte guia cursor inferior	Aço
20	2	Haste suporte do eixo	Latão
21	2	Chapa fixadora da haste	Latão
22	2	Rolamento de esferas	Aço
23	1	Motor elétrico	Aço/cobre
24	1	Correia	Borracha

<sup>2</sup> Os desenhos detalhados estão em Anexos A.

## 2.2. MONTAGEM DA MEF

A base (DESENHO 1) , foi utilizada para sustentação das peças componentes da estrutura da MEF. Nela foram parafusadas as peças de n.º 01 até n.º 10, (DESENHOS 2, 3 e 4), para dar sustentação ao conjunto (DESENHO 5).

As polias foram alinhadas e o eixo ajustado entre rolamentos (DESENHO 6), permitindo um funcionamento com baixo ruído (FIGURA 3).

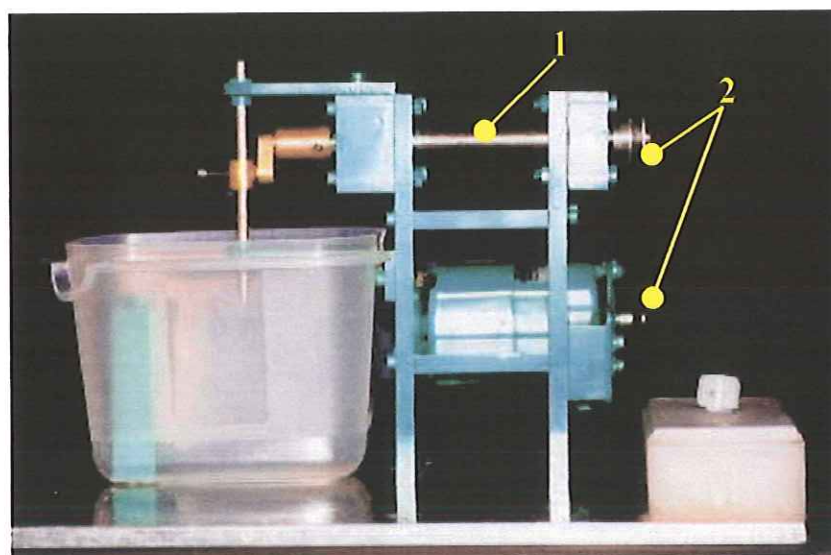


FIGURA 3 – 1) eixo , 2) polias.

O conjunto excêntrico-biela-manivela foi ajustado com buchas de mesmo material, buchas n.º 1, 2 e 3 (DESENHO 4), evitando desgaste prematuro do conjunto (FIGURA 4).



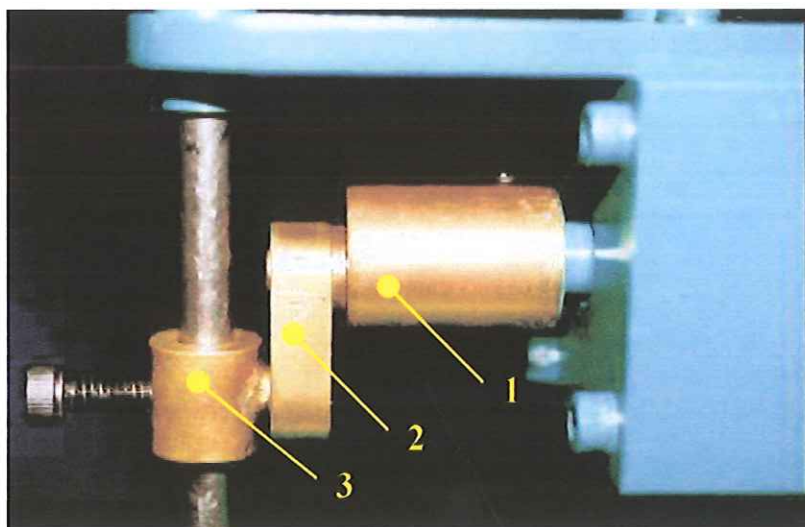


FIGURA 04 - Detalhe do conjunto 1) excêntrico, 2) biela, 3) manivela.

O cursor teve sua extremidade de contato com o CDP entalhada (FIGURA 05), ficando com formato semelhante ao cursor usado nos ensaios de flexão da MUE.

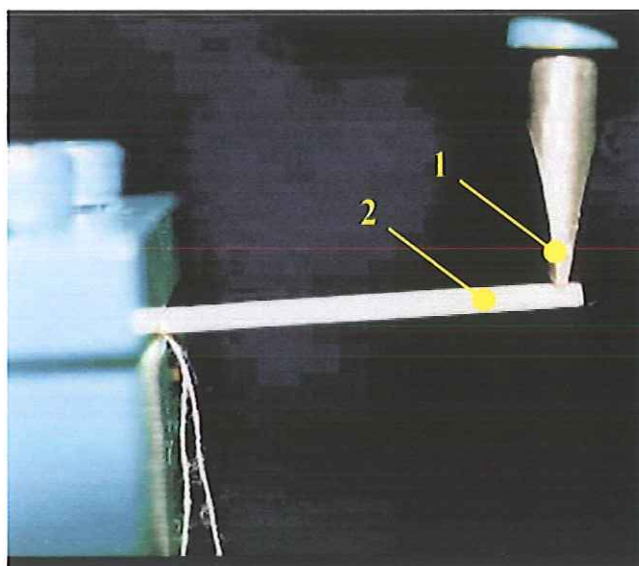


FIGURA 05 - Detalhe da extremidade: 1) cursor, 2) CDP.

A cuba para soro fisiológico foi parafusada sob o suporte do CDP (FIGURA 6), tendo sua fixação em conjunto com o suporte de CDP.

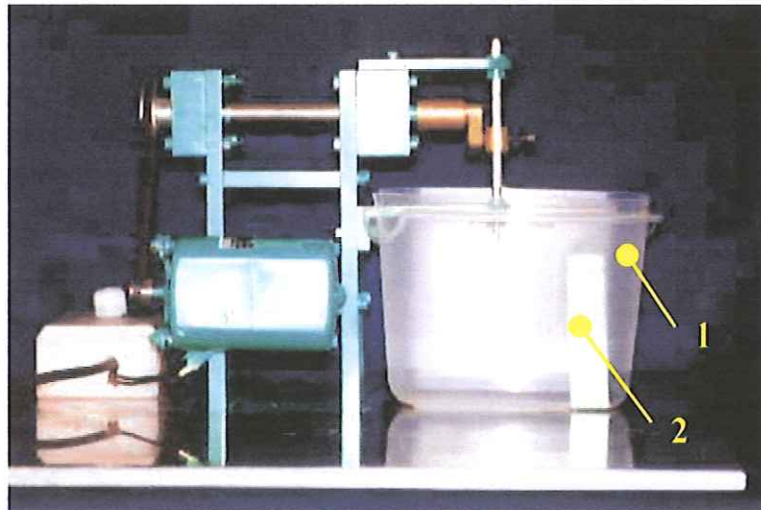


FIGURA 6 – 1) Cuba , 2) Suporte de CDP.

Foram manufacturados dois excêntricos a mais com amplitudes de 0,5 mm e de 1,0 mm .

O cursor foi parafusado à manivela por meio de um parafuso Allen, possibilitando um ajuste com o CDP (FIGURA 7).

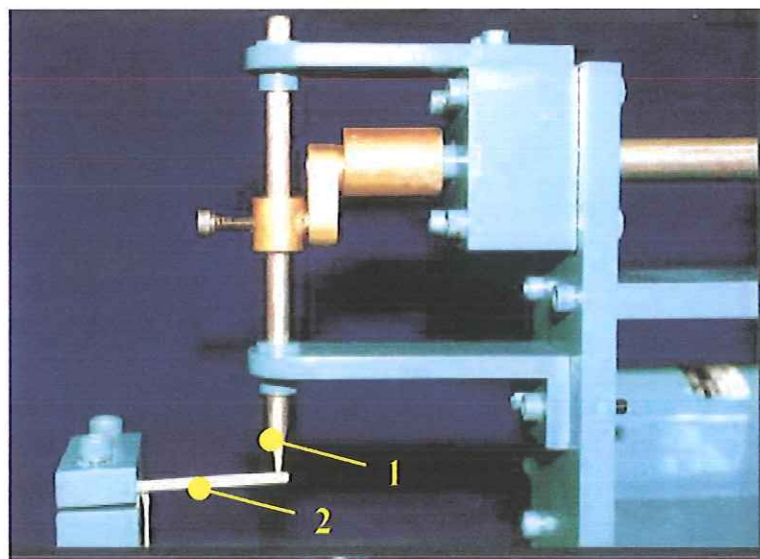


FIGURA 7 – 1) Cursor , 2) CDP.

O cursor tem o seu movimento vertical descrito por um movimento harmônico simples, com amplitude constante de 1,5 mm (FIGURA 8).

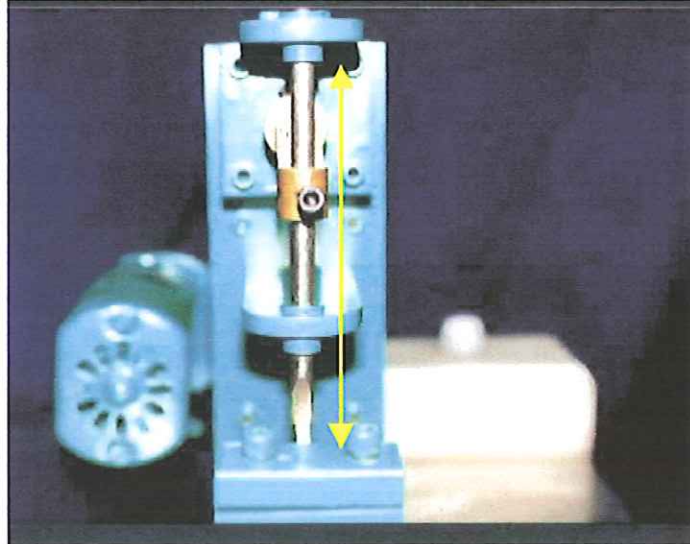


FIGURA 8 – Eixo de movimento do cursor .

### 2.3. FUNCIONAMENTO DA MEF

O funcionamento da MEF deve-se a um motor monofásico de 100 W de potência e 110V de tensão nominal, que gira com uma rotação de 7000 RPM que equivale a 116,67 Hz.

Através de uma polia de 16 mm acoplada ao eixo do motor, a rotação é transferida por uma correia dentada de borracha de 355 mm de comprimento para a polia superior de 40 mm de diâmetro parafusada no eixo principal da MEF (FIGURA 9).

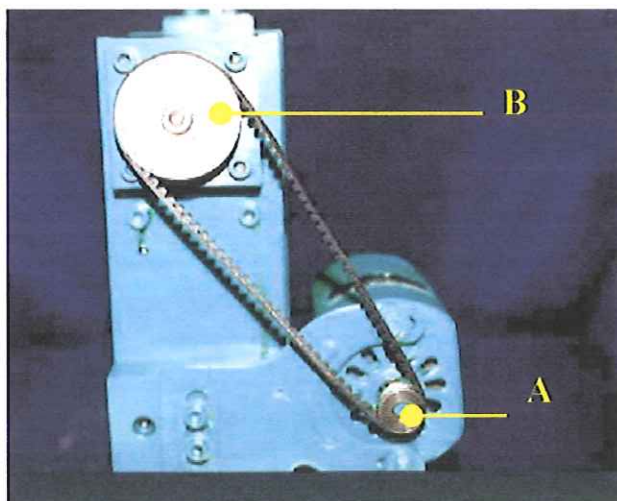


FIGURA 9 – Relação entre as polias: A) polia do motor, B) polia do eixo.

A diferença entre os diâmetros das polias faz com que a quantidade de giros da polia do motor sofra uma redução em relação à polia do eixo da MEF, segundo a relação (MEBIE et al., 1967):

$$f_B = \frac{f_A \cdot r_A}{r_B} \quad (3)$$

onde:

$f_A$  - Frequência da polia do motor (Hz);

$r_A$  - Raio da polia do motor (m);

$f_B$  - Frequência da polia superior (Hz);

$r_B$  - Raio da polia superior (m).

Usando a equação (03), obteve-se um resultado de 46,67 Hz, que foi posteriormente conferido em uma firma especializada em motores elétricos através de equipamento próprio.

O CDP é fixado em um suporte de aço que tem regulagem na base da MEF para ajuste de distância entre o ponto de aplicação da carga e a fixação do CDP.

Durante todo o ensaio de fadiga o CDP fica imerso em soro fisiológico graças a uma cuba plástica transparente que armazena o soro (FIGURA 10).

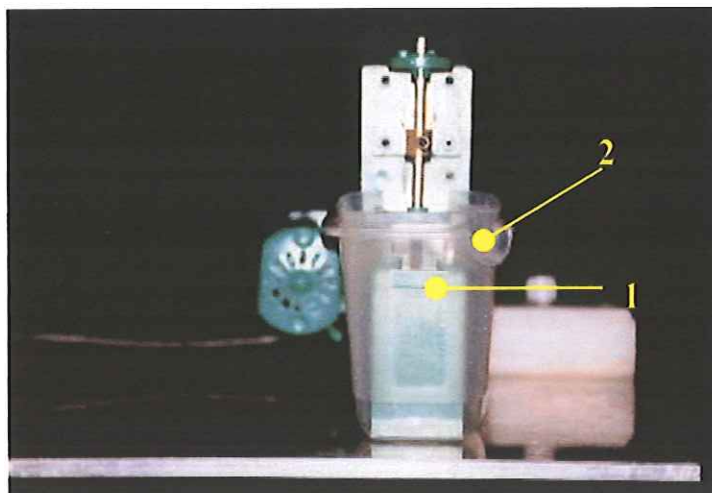


FIGURA 10 – 1) Suporte do CDP , 2) cuba.

O número de ciclos de operação da MEF foi controlado com um mecanismo adquirido no comércio e denominado “*timer*”, que basicamente é um controlador de tempo de marca *Digimec*<sup>®</sup>, ligando e desligando a MEF conforme programado (FIGURA 11).



FIGURA 11 - Mecanismo “*Timer*”.

#### **2.4. TESTE DE RESISTÊNCIA**

Após a montagem, a MEF foi submetida a um teste de resistência no qual foram avaliados: o mecanismo; a manutenção; a correia; o motor e o cursor.

Este teste consistiu em deixar a MEF funcionando por 1 hora sem interrupção e ensaiando um CDP.

Ocorreu uma paralisação gradativa na MEF devido à dilatação dos rolamentos, sendo então diagnosticada a necessidade da troca dos rolamentos que eram do tipo fixo por rolamentos do tipo oscilante ou autocompensador que evitaram que tal fato ocorresse novamente.

A manutenção foi mínima, apenas o eixo e o conjunto excêntrico-bielamanivela foram lubrificados com óleo antes do teste.

A correia não sofreu qualquer afrouxamento e o motor manteve a temperatura constante sem comprometer o funcionamento.

#### **2.5. PREPARAÇÃO DOS CDPS**

Utilizou-se a metodologia desenvolvida por BRANDÃO (1997). Foram utilizadas duas tíbias bovinas, uma esquerda e outra direita, do mesmo animal, oriundo do Matadouro Municipal da cidade de Franca-SP. O animal era macho, da raça nelore, com idade de 36 meses e peso de 546 kg, não apresentava qualquer tipo de patologia. Depois de retirar as partes moles que envolviam as tíbias, identificou-se por E (esquerda) e D (direita), embalou-se em sacos plásticos e congelou-se a  $-20^{\circ}\text{C}$  até o momento da retirada das CDPs.

Para dar início à preparação das CDPs, retirou-se da extremidade distal os ossos maléolo lateral, calcâneo, sustentáculo do talus e talus, ficando, assim, as

tíbias, com comprimento de 32,5 cm. Sendo L o comprimento das tíbias, tomou-se para o centro a medida  $23/50L$ , em razão da diáfise que apresentava diâmetro menor e a parede do osso cortical era mais espessa. (BRANDÃO,1997).

As tíbias foram previamente marcadas, as oito faces a serem utilizadas: face anterior (A), posterior (P), lateral (L), medial (M), antero-lateral (AL), antero-medial (AM), postero-lateral (PL) e postero-medial (PM). A face mais plana e rugosa (devido inserções musculares) é a posterior e a face lateral possui uma “depressão” entre a tuberosidade tibial e o côndilo lateral da tibia. Assim, marcaram-se corretamente as faces acompanhando o eixo do osso. Do centro da diáfise marcou-se 7,5 cm em sentido distal e 7,5 cm em sentido proximal, traçando linhas que contornaram as tíbias, demarcando, um cilindro de 15 cm de altura. Fez-se mais uma linha no sentido distal e proximal, paralelos e distantes dos primeiros, respectivamente, 25 cm (FIGURA 12).

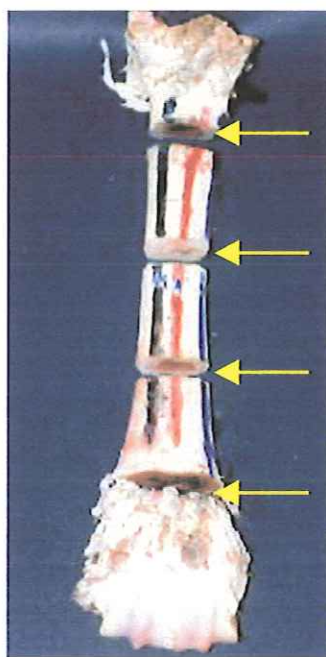


FIGURA 12 - Corte transversais na tíbia bovina e as marcações das faces.

As tíbias ficaram divididas em três blocos cilíndricos e com linhas laterais que indicavam as faces. Usando uma serra de fita fizeram-se quatro cortes transversais nas tíbias, obtendo, assim, três blocos cilíndricos.

Esses blocos foram novamente congelados a  $-20^{\circ}\text{C}$ e depois, um a um, levados à serra fresadora para retirar CDPs longitudinais das oito faces. Para tal, a fresadora (desenvolvida no Laboratório de Bioengenharia) com duas serras paralelas, distantes 4mm e prenderam-se os blocos cilíndricos em uma morsa de maneira que a trajetória das serras, ao se movimentarem, ficasse paralela às marcas longitudinais das faces (FIGURA 13).

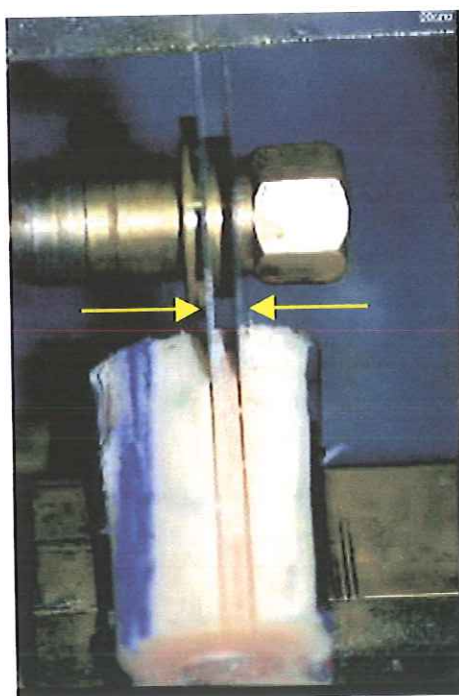


FIGURA 13 - Detalhe mostrando as duas serras paralelas distantes 4mm para retirada de um CDP de uma das faces do bloco.



Cortou-se, então, do periósteo para o endósteo, até a retirada total das lâminas. Para realizar o outro corte longitudinal nas lâminas de modo a deixá-las com 2 mm, a fresadora foi equipada com duas serras paralelas distantes 2 mm. Todos os cortes ocorreram sob refrigeração com água para evitar que o atrito com as serras aumentasse a temperatura dos CDPs, principalmente na região adjacente ao corte, o que alteraria as propriedades do material. Procurou-se avançar lentamente com as serras, cortando os extremos das lâminas, ajustou-se o tamanho dos CDPs para 2mm x 4mm x 50mm. Marcou-se, também, a face dos CDPs voltada para o periósteo pois aí será aplicada a carga no momento do ensaio (este cuidado é de fundamental importância para não se introduzir outro fator de erro nos valores a serem obtidos). No extremo dos CDPs fez-se um orifício de 1mm de diâmetro por onde se passou uma cordão com uma etiqueta de plástico identificando o CDP. Assim procedendo, todos os 48 CDPs foram identificados e em seguida congelados a  $-20^{\circ}\text{C}$ .

## **2.6. IDENTIFICAÇÃO DOS CPDS.**

Os CDPs receberam uma letra D ou E que identificava como tibia esquerda ou direita; um número da posição ao longo da tibia (1-proximal; 2-medial ou 3-distal) e uma ou duas letras para a face da tibia (FIGURA 14). Por exemplo:

D3AM - CDP retirada da tibia direita, no segmento distal da face anterior medial;

D2AM - CDP retirada da tibia direita, no segmento médio da face anterior medial;

E1AM - CDP retirado da tíbia esquerda, no segmento proximal da face anterior medial.



FIGURA 14 – CDPs prontos para o ensaio, medindo 2x4x50 mm.

## 2.7. ENSAIO DE FADIGA

Vinte e quatro horas antes do ensaio de fadiga, os CDPs da tíbia esquerda foram retirados do *freezer*, colocados na geladeira e retirados 1 hora antes do ensaio para que pudessem entrar em equilíbrio térmico com o ambiente. O CDP foi fixado no suporte imerso em soro fisiológico, com uma distância de 40 mm entre a fixação e o ponto de aplicação da carga pelo cursor (FIGURA 15).

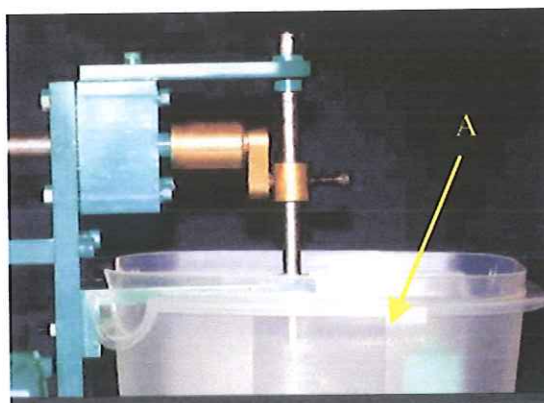


FIGURA 15 – Ensaio de fadiga: A) CDP hidratação.

O ensaio de fadiga teve duração de 15 minutos para cada um dos 24 CDPs da tíbia esquerda, totalizando assim 42.000 ciclos, aproximadamente.

## 2.8. ENSAIO DE FLEXÃO

Para os ensaios de flexão em dois pontos realizados com os CDPs da TECF e da TDSF, usou-se a máquina universal de ensaio do Laboratório de Bioengenharia da Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo. Para medir a carga aplicada foi utilizada uma célula de carga Kratos<sup>®</sup> modelo KM com capacidade de 50 kgf ligada a uma ponte de extensometria Sodemex<sup>®</sup>, modelo CAE 201. As deformações foram medidas por um relógio comparador Mitutoyo<sup>®</sup>, com precisão de 0,01 mm (FIGURA 16).

Usou-se a mesma metodologia de descongelamento feita nos ensaios de fadiga. O CDP foi fixado no mesmo suporte de fixação utilizado na MEF. Aplicou-se a carga mantendo sempre a distância de 40 mm entre a fixação e a haste em contato com a máquina de ensaio para aplicação da carga. A haste recebe a carga proveniente da máquina universal de ensaios e a transferiu para a CDP, sendo que a aplicação da carga foi sempre a face periosteal para o endósteo (BRANDÃO, 1997), com velocidade de  $1 \times 10^{-2}$  mm/s, com uma pré-carga de 0,5 N e tempo de acomodação do sistema de 1 minuto. Os ensaios foram realizados dentro da zona de deformação elástica do CDP, e as medidas realizadas a cada 0,05 mm de flecha.



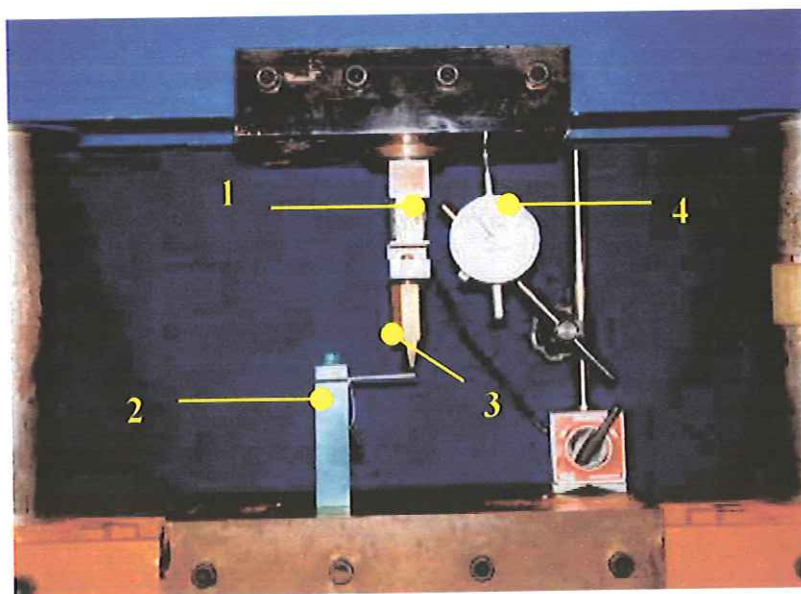


FIGURA 16 – Ilustração do ensaio de flexão no CDP: 1) Célula de carga, 2) suporte de fixação do CDP, 3) CDP, 4) relógio comparador.

## 2.9. ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os resultados obtidos nos ensaios de flexão para os CDPs da TECF e da TDSF passaram pelo teste de normalidade e de variância, sendo assim o teste *t* de *Student* foi usado para análise dos resultados com nível de significância de 5 por cento.

Os testes estatísticos foram efetuados utilizando o software *Sigmastat for Windows*® versão 2.03.

### 3. RESULTADOS

---

#### 3.1. RESULTADO DA MEF

O equipamento comportou-se satisfatoriamente, executando os testes com a precisão esperada. Após o uso da MEF, ficou constatado que a sua manutenção apenas requer uma lubrificação e raramente um ajuste na correia, visto que a MEF foi projetada para trabalhar em regime contínuo. Durante o período dos testes foram testados 50 CDPs, perfazendo-se mais de  $2 \times 10^6$  ciclos neste equipamento. A simplicidade e eficácia do dispositivo de controle do tempo de ensaio dispensa o acompanhamento do operador durante o ensaio, permitindo que o mesmo efetue outras tarefas simultaneamente.

#### 3.2. PROPRIEDADES MECÂNICAS

Com os gráficos *carga x flecha*, obtidos de cada ensaio, foram determinadas as seguintes propriedades mecânicas: rigidez e energia absorvida pelo CDP na fase elástica (resiliência) até uma flecha de 4mm. Foi observada, também, a carga para flecha de 4mm.

##### 3.2.1. Rigidez (R)

A rigidez é obtida na fase elástica do material, determinada pela inclinação da curva carga *versus* flecha, calculada pela tangente do ângulo formado pela reta que representa a inclinação da curva e uma linha traçada horizontalmente a partir do ponto do início do ensaio.

$$R = \frac{AB}{OB} \quad (6)$$

onde:

R - Rigidez (N/m);

AB - Carga (N);

OB - Flecha (m).

### 3.2.2. Resiliência (E)

É a capacidade do material absorver energia na fase elástica. A resiliência é obtida mediante o cálculo da área do triângulo OAB (FIGURA 17).

$$E = \frac{OB \times AB}{2} \quad (7)$$

onde:

E - Energia absorvida (J);

OB - Flecha (m);

AB - Carga (N).

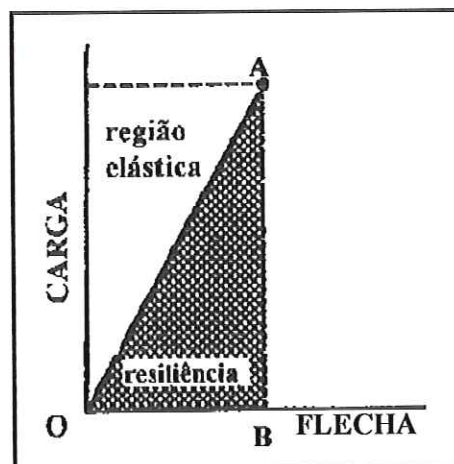


FIGURA 17 – Gráfico carga x flecha.

### 3.3. COMPARAÇÃO ENTRE OS RESULTADOS OBTIDOS NA TECF E TDSF

Os gráficos carga x flecha para os 48 CDPs da TDSF e da TECF, obtidos a partir de ensaio de flexão são mostrados nas FIGURAS 18 e 19.

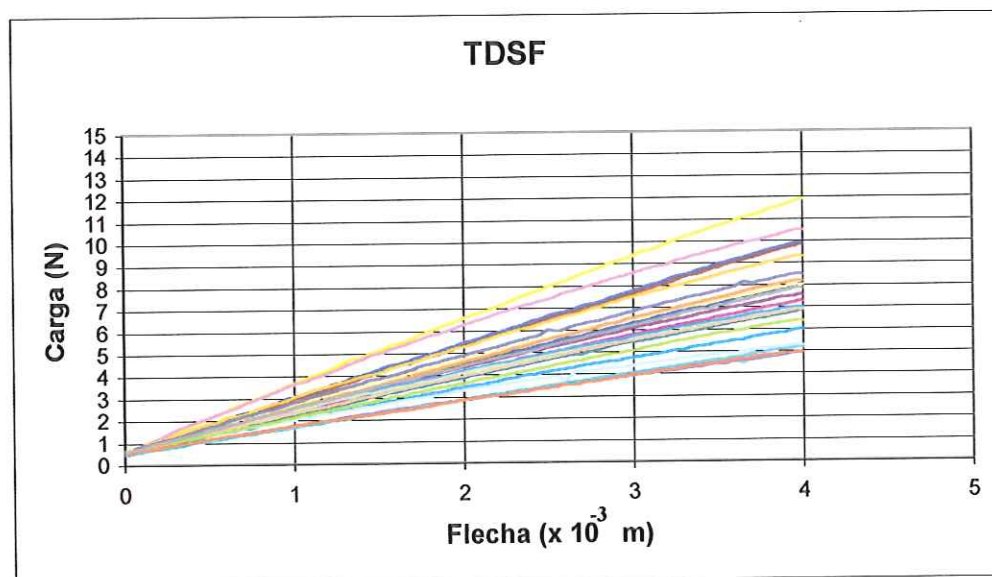


FIGURA 18 – Curva carga x flecha para os 24 CDP da TDSF.

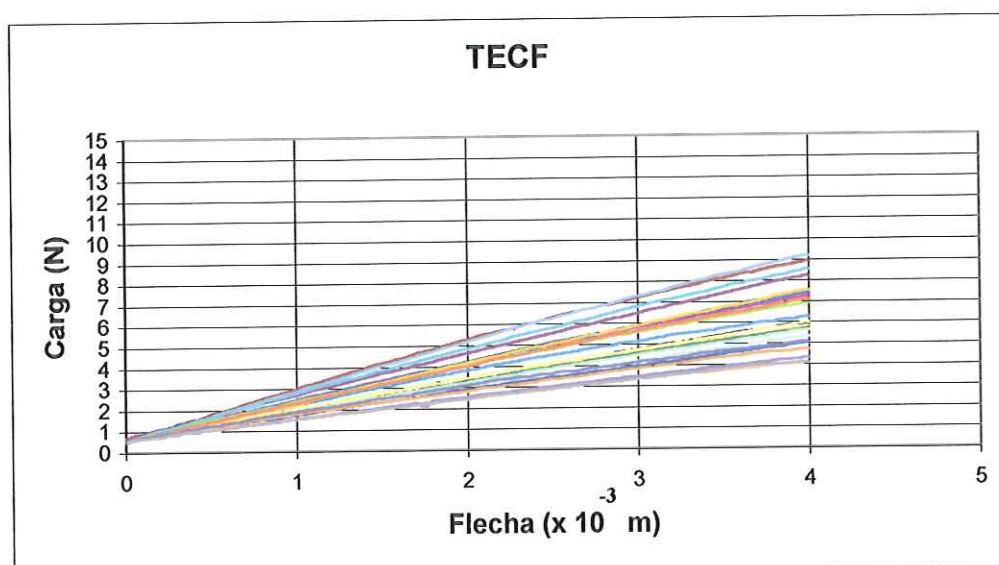


FIGURA 19 – Curva carga x flecha para os 24 CDP da TECF.

Com os valores das cargas e flechas de cada ensaio nos 2 grupos experimentais (com e sem fadiga), foram obtidas as curvas médias para as TDSF e TECF (FIGURA 20).

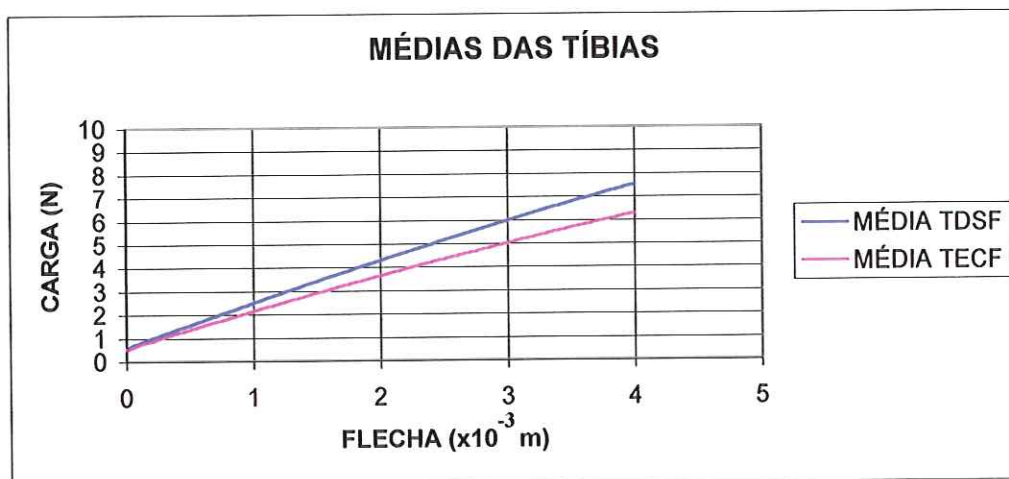


FIGURA 20 - Curvas médias da carga x flecha obtidas para TDSF e TECF

A comparação dos resultados obtidos para a resiliência média até 4 mm de flecha (TABELA 02) foi feita a partir das curvas médias para cada tibia que foram de  $(0,014 \pm 0,004)J$  para TDSF e  $(0,012 \pm 0,003)J$  para TECF, onde houve uma diferença significativa ( $p=0,017$ ) (FIGURA 21).

TABELA 02 – Valores de resiliência relativa obtidos para cada CDP.

CDP	RESILIÊNCIA RELATIVA (J)	
	TDSF	TECF
1A	0,015	0,011
1AM	0,014	0,013
1M	0,023	0,011
1P	0,011	0,014
1PL	0,014	0,015
1AL	0,019	0,017
1PM	0,013	0,010
1L	0,015	0,009
2A	0,013	0,012
2AM	0,009	0,010
2AL	0,012	0,010
2P	0,015	0,011
2PM	0,009	0,017



CDP	RESILIÊNCIA RELATIVA (J)	
	TDSF	TECF
2PL	0,020	0,008
2M	0,009	0,008
2L	0,013	0,007
3L	0,019	0,014
3A	0,009	0,016
3AM	0,012	0,013
3AL	0,017	0,014
3P	0,015	0,008
3PM	0,009	0,013
3PL	0,016	0,009
3M	0,015	0,007

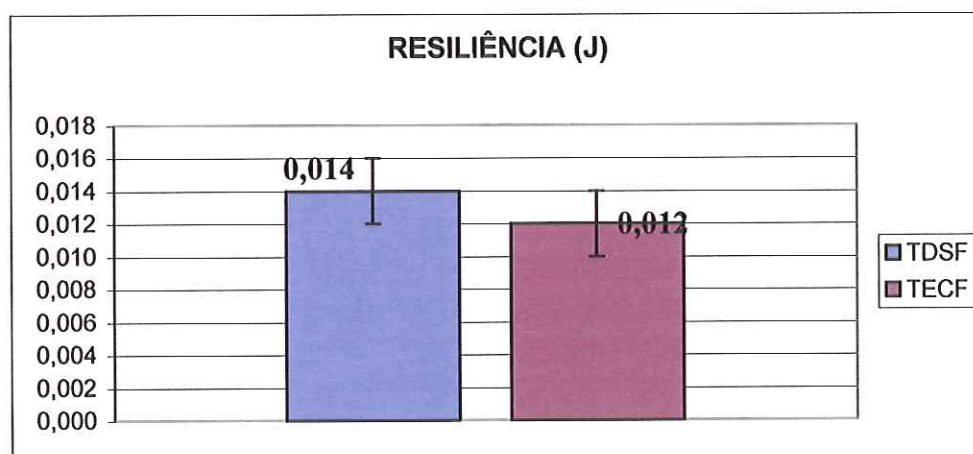


FIGURA 21 – Comparação das médias das resiliências obtidas nos ensaios.

Para determinar a rigidez flexural utilizou-se como parâmetro a carga para uma flecha de 4mm, obtendo-se os valores médios de  $(1741 \pm 467)$  N/m para TDSF e  $(1441 \pm 390)$  N/m para a TECF, onde houve uma diferença significativa ( $p=0,020$ ) (FIGURA 22).

TABELA 03 – Valores de rigidez flexural obtidos para cada CDP.

CDP	RIGIDEZ FLEXURAL (N/m)	
	TDSF	TECF
1A	1899	1219
1AM	1709	1678
1M	2860	1329
1P	1378	1746
1PL	1782	1905
1AL	2352	2113
1PM	1599	1305
1L	1850	1133
2A	1605	1446
2AM	1170	1219
2AL	1562	1286
2P	1838	1378
2PM	1109	2181
2PL	2475	956
2M	1084	956
2L	1580	894
3L	2328	1715
3A	1170	2015
3AM	1452	1605
3AL	2181	1764
3P	1899	1054
3PM	1109	1654
3PL	1972	1139
3M	1819	900

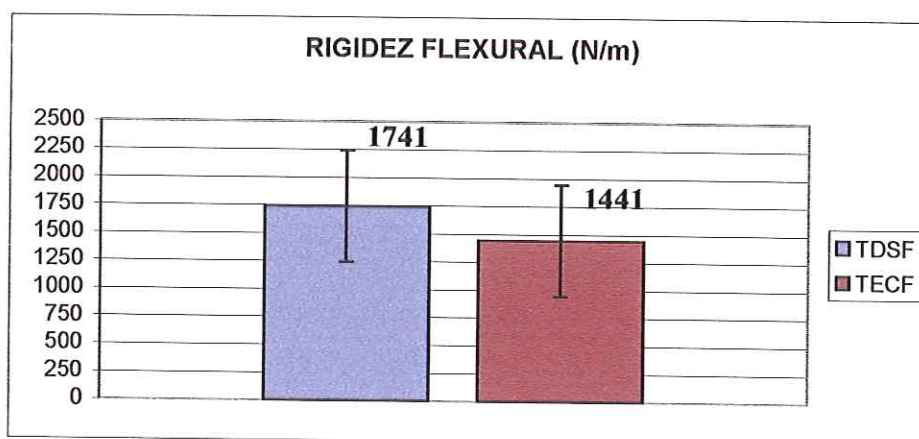


FIGURA 22 – Comparação das médias da rigidez flexural para os CDPs.

A carga para 4mm de flecha nos CDPs foi obtida com a média dos resultados, sendo de  $(7,50 \pm 1,87)$  N para TDSF e de  $(6,29 \pm 1,56)$  N para a TECF, onde houve uma diferença significativa ( $p=0,019$ ) (FIGURA 23).

TABELA 04 – Valores de carga p/ 4mm de flecha obtidos para cada CDP.

CDP	CARGA (N)	
	P/ FLECHA DE 4mm - TECF	P/ FLECHA DE 4mm - TDSF
1A	6,0	8,1
1AM	7,3	7,3
1M	5,8	11,9
1P	7,5	6,0
1PL	8,3	7,6
1AL	8,9	9,9
1PM	5,7	6,9
1L	5,0	7,9
2A	6,3	7,0
2AM	5,3	5,3
2AL	5,7	6,9
2P	6,0	8,0
2PM	9,2	4,9
2PL	4,3	10,5
2M	4,3	4,9
2L	4,1	6,9
3L	7,4	9,9
3A	8,6	5,1
3AM	6,9	6,4
3AL	7,5	9,3
3P	4,7	8,2
3PM	7,1	4,9
3PL	5,1	8,5
3M	4,1	7,8

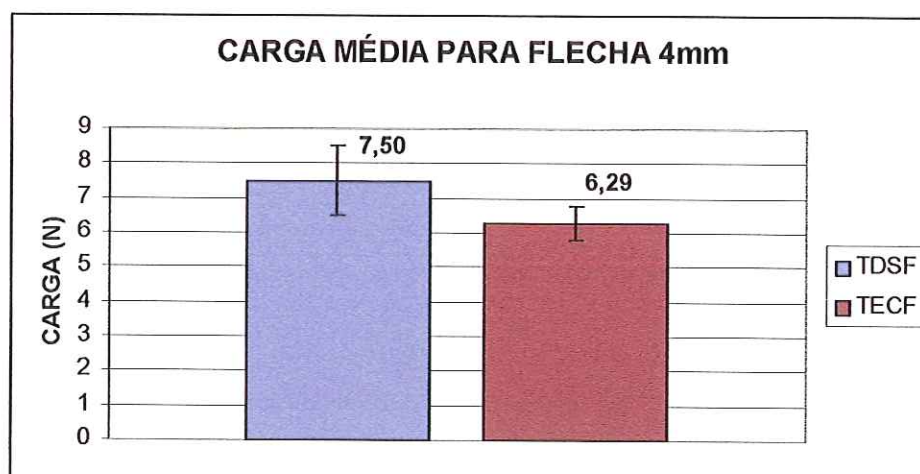


FIGURA 23 – Comparação das médias de carga para flecha de 4mm.

#### 4. DISCUSSÃO

---

É notório que fraturas por fadiga freqüentemente acontecem, embora sejam muitas vezes mal diagnosticadas ou simplesmente negligenciadas. São documentadas fraturas por fadiga em jovens recrutas de exército, atletas, dançarinos de balé, crianças e sedentários que abruptamente começam exercícios rigorosos.

Fadiga representa um papel importante em fraturas que já foram estudadas como sendo produzidas por um único trauma. Já foi estudado o papel da fadiga de osso em fraturas de colo de fêmur de pacientes idosos (FREEMAN, et. al. , 1974).

A primeira dificuldade encontrada no presente estudo foi a de possuir poucos parâmetros para o protótipo inicial da MEF, sendo assim concentramos inicialmente nossos esforços em um sistema básico e eficiente e de baixo custo, que é o de biela com excêntrico, que permite variar a flecha na extremidade do CDP, que se mantém constante durante o ensaio.

Após os estudos do comportamento do protótipo da MEF, que foi construída usando como estrutura uma antiga máquina de costura, foi-nos possível fazer um levantamento das dimensões necessárias para desenvolver um projeto mais elaborado da MEF.

Tivemos-se uma preocupação com os materiais que fariam parte da MEF, como já era previsto ensaio com CDP biológico, que deveria estar sempre imerso em solução aquosa salina para evitar a desidratação do material. A MEF foi montada

com materiais de difícil oxidação, devido à presença constante desta solução salina, daí a decisão pelo uso do alumínio, latão e aço inoxidável.

Para a confecção dos CDPs utilizamos-se a metodologia desenvolvida por BRANDÃO (1997), restando, assim, apenas dificuldades no preparo dos CDPs devido à inexperiência de operar a fresadora, o que fez da atividade uma verdadeira arte de lapidação, que foi cumprida com paciência e tempo.

Para o tempo que cada CDP ficou submetido ao ensaio de fadiga foi usado como referencial o trabalho desenvolvido por CARTER & HAYES (1977) no qual a ordem de grandeza do número de ciclos deveria ser de  $10^4$  a  $10^5$ . Optamos, assim, por trabalhar com 42.000 ciclos, ou  $10^4$  ciclos, perfazendo um tempo para cada ensaio de 15 minutos na MEF.

Para a realização dos ensaios de flexão não houve dificuldades com relação à metodologia, pelo fato do Laboratório de Bioengenharia da FMRP-USP ter experiência com ensaios estáticos de materiais biológicos. Porém, na realização do ensaio de fadiga houve a necessidade de desenvolvermos uma metodologia para CDP de material biológico, pois as normas encontradas são todas para materiais isotrópicos e, como sabemos, o osso é constituído de material anisotrópico.

Após alguns ensaios piloto com CDP biológico, ficou claro que uma flecha de 4mm estaria dentro da fase de deformação elástica do CDP, não comprometendo, assim, os resultados que foram calculados a partir destes ensaios de flexão.

A curva média da carga x flecha obtida no ensaio para cada tibia, mostra que ocorreu uma interferência da fadiga na rigidez flexural da TECF, sendo menor a carga necessária para provocar a deformação de 4mm.

Uma análise dos resultados obtidos para a resiliência de cada tibia permite considerar que a TECF necessita de uma quantidade de energia menor para deformar.

O estudo das propriedades mecânicas do tecido ósseo, quando submetido a ensaios dinâmicos, tem fundamental importância no entendimento do mecanismo de algumas fraturas.

A MEF baseia-se em um sistema simples e econômico de funcionamento, tendo uma manutenção mínima de lubrificação e limpeza após o uso.

Pensando em permitir futuros ensaios com variação de amplitude foram manufaturados mais dois excêntricos com amplitude de 0,5mm e de 1,0 mm.

A MEF foi utilizada por horas, desligando-a apenas para a troca dos CDPs, o que permite o seu uso em um número de ciclos ainda maior.

O projeto e desenvolvimento da MEF será para o Laboratório de Bioengenharia da FMRP-USP o ponto de partida para o desenvolvimento de metodologias mais aperfeiçoadas para ensaios de fadiga, possibilitando, assim, estudos do comportamento do tecido ósseo em uma situação próxima da real, que é a de comportamento dinâmico.

## 5. CONCLUSÕES

---

Com o desenvolvimento deste trabalho, foi possível obter as seguintes conclusões:

- 1- Os testes de verificação de funcionamento da MEF apresentaram resultados satisfatórios, comprovando a validade dos objetivos.
- 2- O sistema de teste de fadiga apresentado será capaz de executar testes em CDPs de diâmetros diferentes, fazendo-se pequenas alterações no equipamento. É um equipamento compacto e de fácil manuseio.



## ANEXOS

---

A – Desenhos referentes às partes componentes da MEF. (p. 36 - 41).

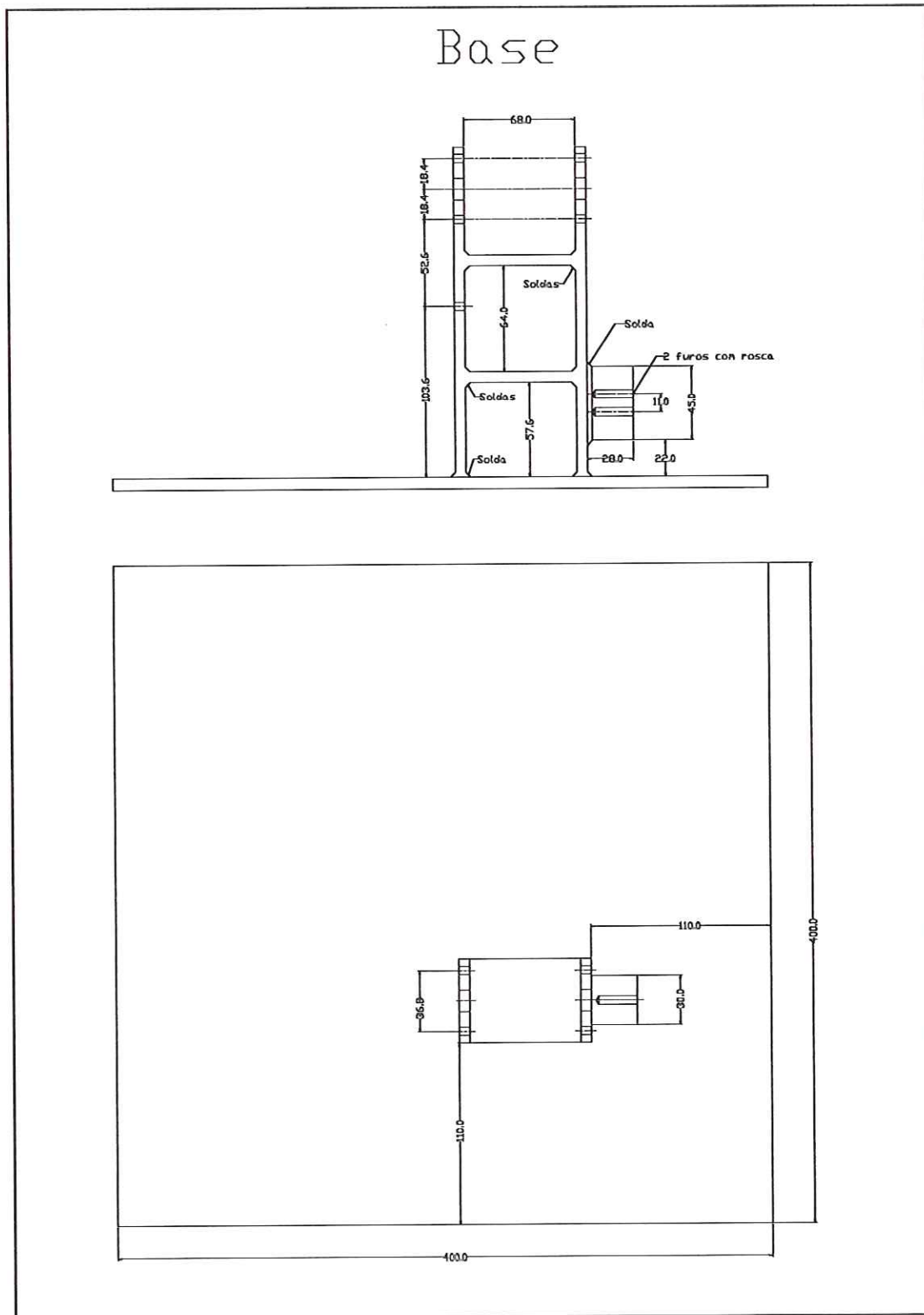
B - Valores de carga e deflexão lidos durante os ensaios de flexão. (p.43 - 54).

**ANEXO A - Desenhos referentes às partes componentes da MEF. (todas as cotas  
estão em mm)**

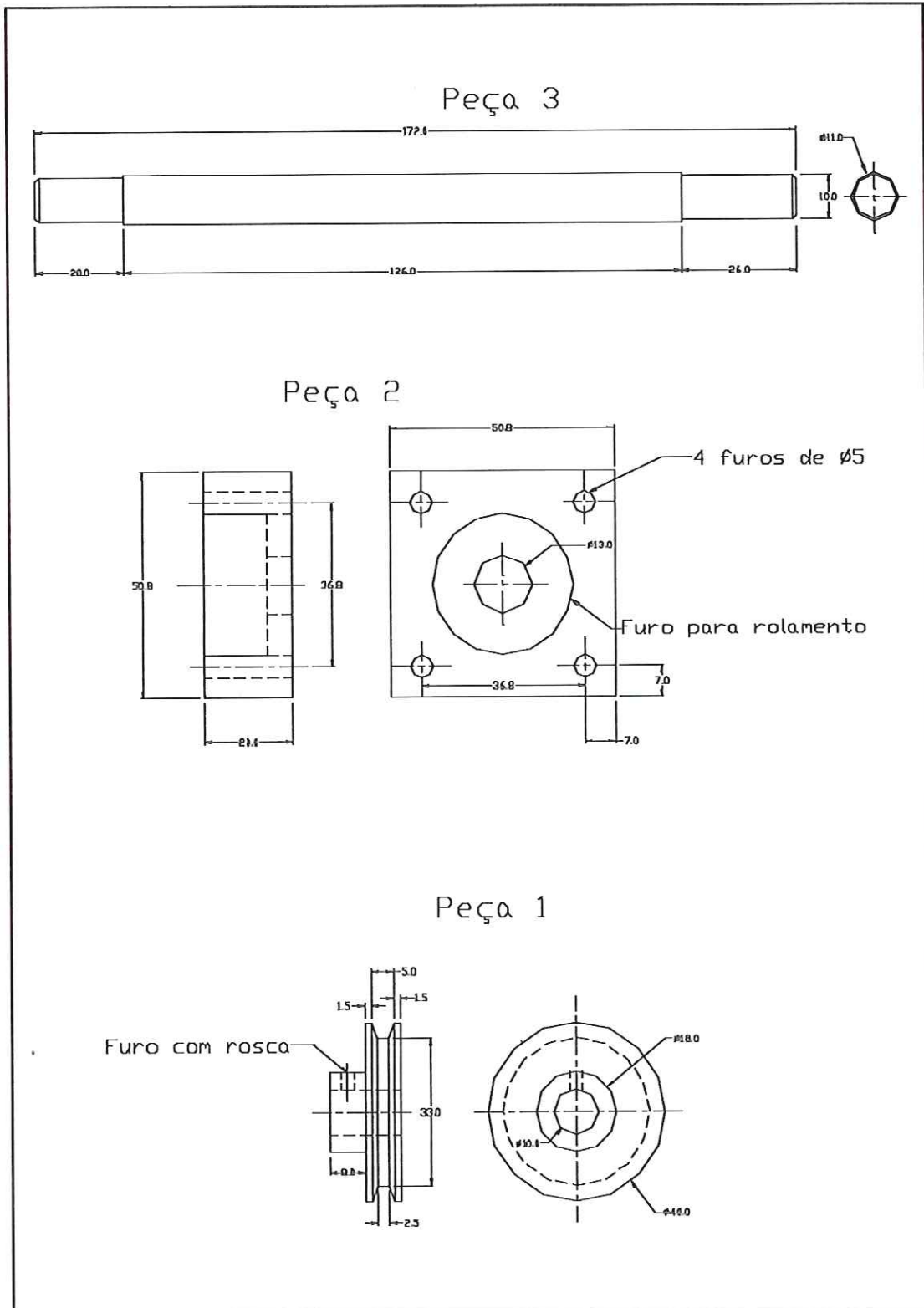
---

---

# DESENHO 1

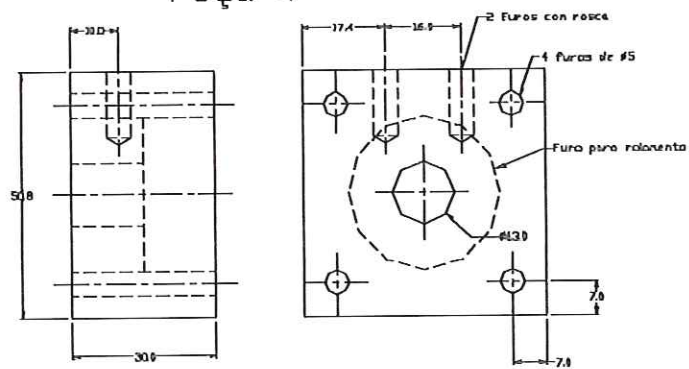


## DESENHO 2

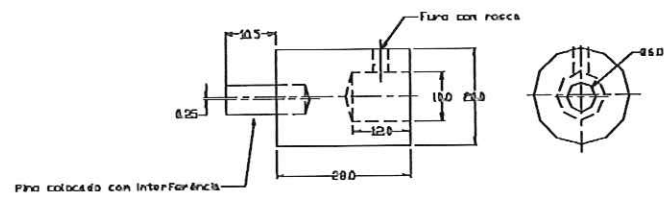


## DESENHO 3

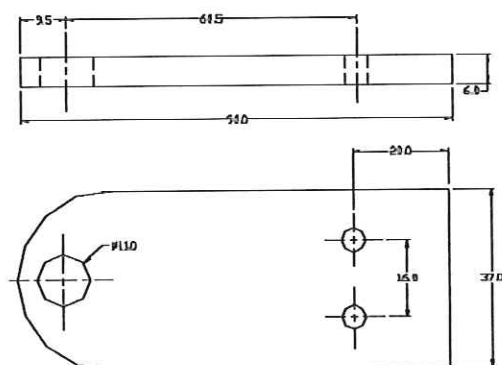
Peça 4



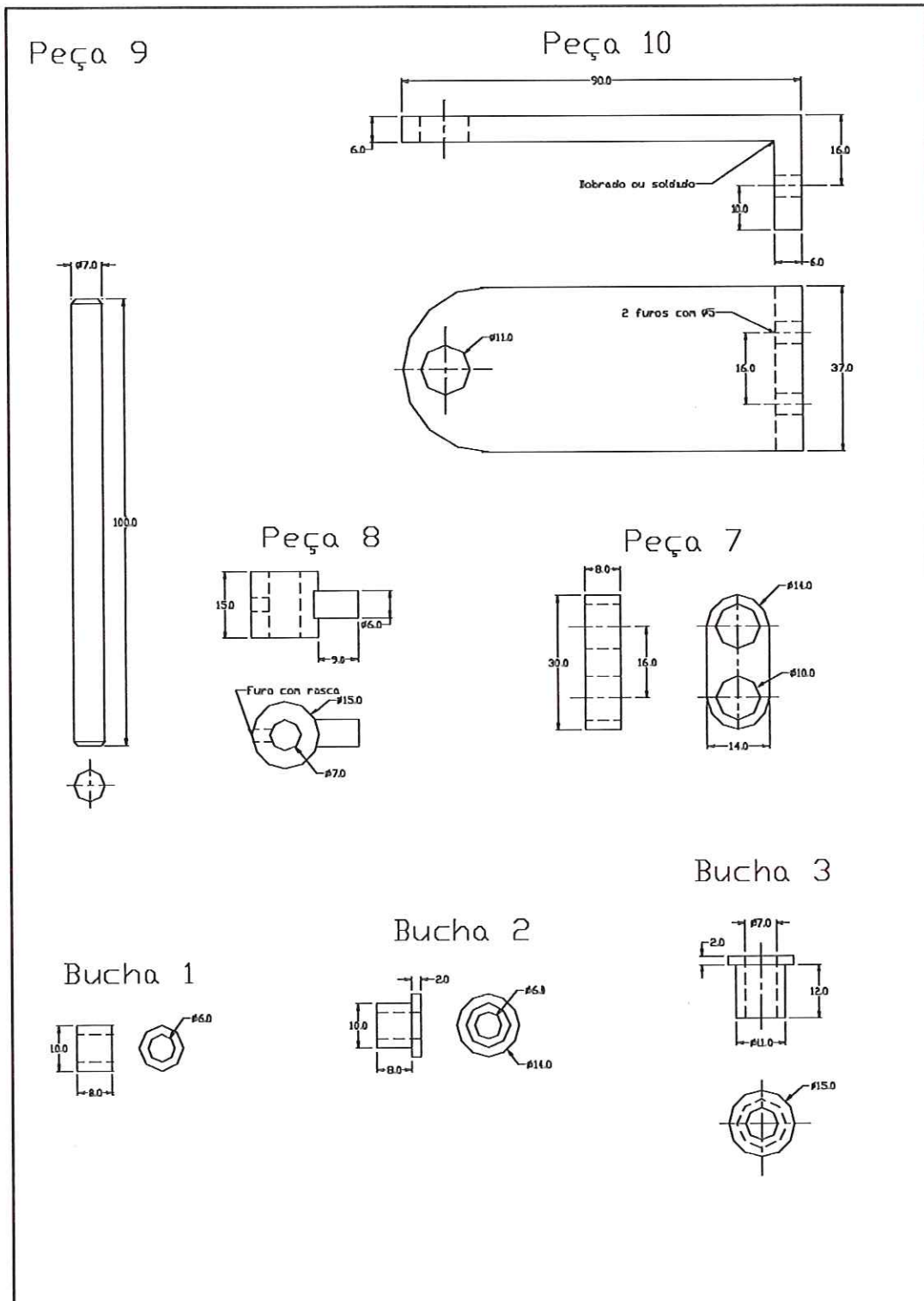
Peça 5



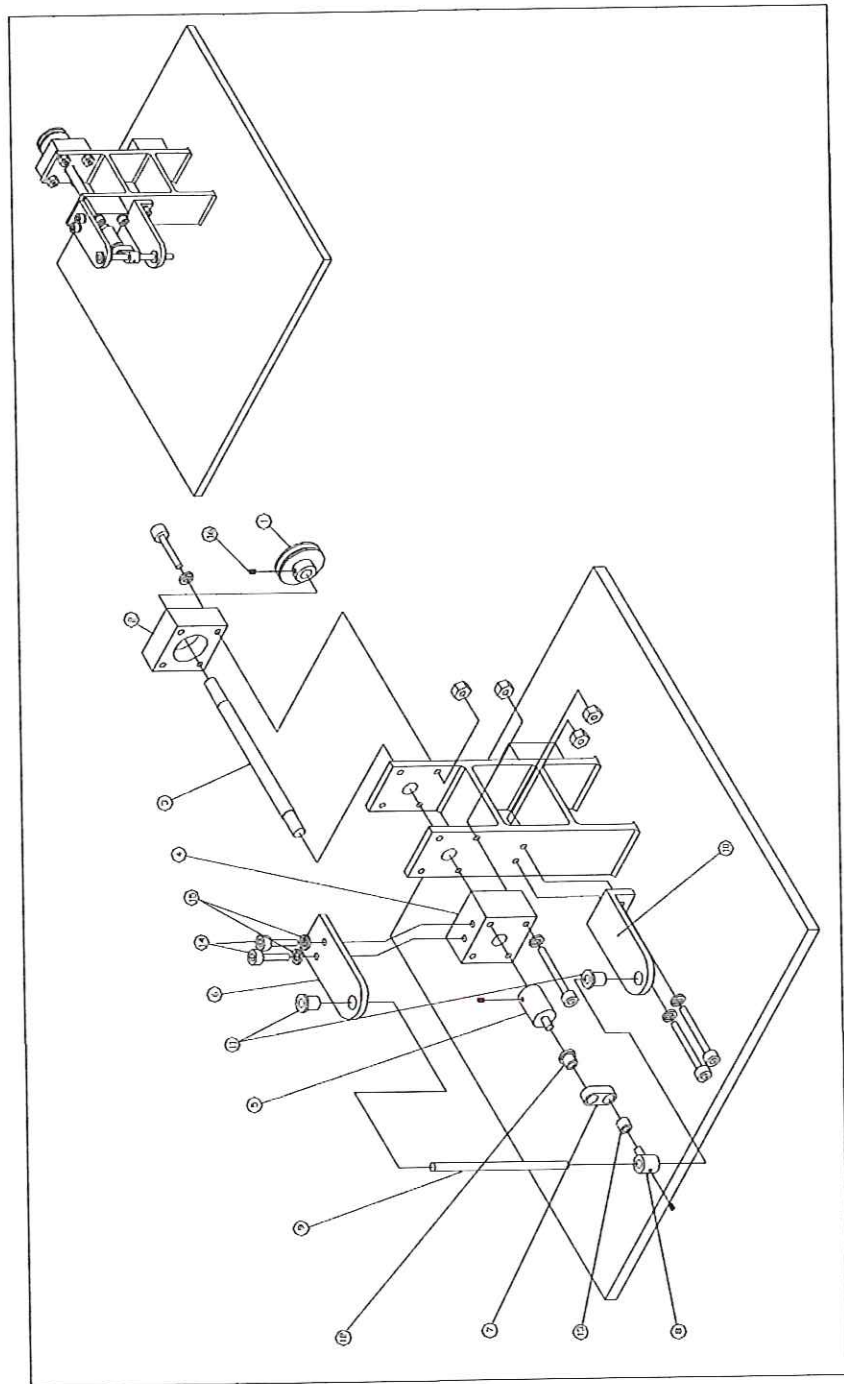
Peça 6



DESENHO 4

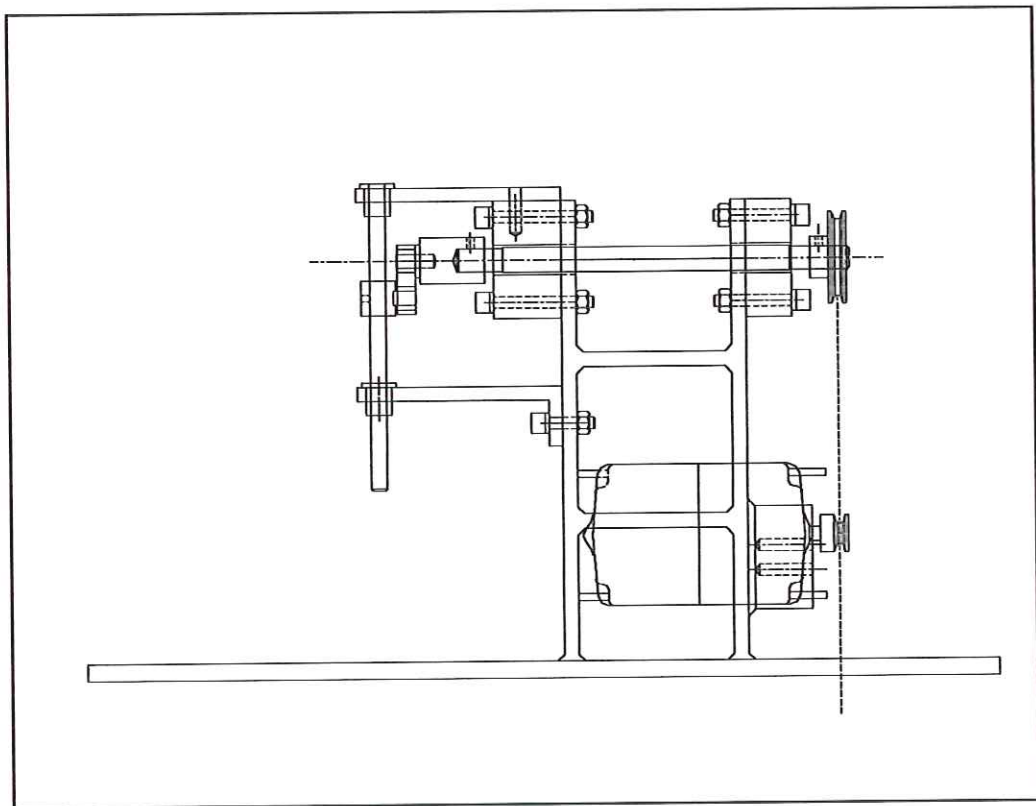


DESENHO 5



**DESENHO 6**

---





**ANEXO B - Valores de carga e flecha lidos durante os ensaios de flexão de dois pontos.**

---

Flecha (mm)	CARGA (N)							
	D1A	D1AM	D1M	D1P	D1PL	D1AL	D1PM	D1L
0,00	0,47	0,47	0,47	0,49	0,47	0,47	0,47	0,47
0,05	0,64	0,54	0,69	0,61	0,61	0,56	0,56	1,45
0,10	0,71	0,66	0,83	0,66	0,71	0,71	0,66	1,47
0,15	0,81	0,74	1,00	0,78	0,81	0,81	0,74	1,57
0,20	0,93	0,88	1,15	0,86	0,91	0,96	0,83	1,69
0,25	1,03	0,96	1,35	0,93	1,00	1,10	0,91	1,72
0,30	1,13	1,03	1,49	1,00	1,10	1,23	1,03	1,84
0,35	1,20	1,13	1,67	1,10	1,20	1,35	1,10	1,94
0,40	1,32	1,25	1,84	1,18	1,30	1,47	1,20	2,03
0,45	1,42	1,32	1,98	1,25	1,40	1,59	1,27	2,13
0,50	1,54	1,42	2,16	1,35	1,52	1,69	1,35	2,18
0,55	1,62	1,52	2,28	1,42	1,62	1,81	1,45	2,30
0,60	1,72	1,62	2,45	1,49	1,72	1,94	1,52	2,33
0,65	1,81	1,69	2,62	1,54	1,79	2,06	1,62	2,43
0,70	1,89	1,76	2,77	1,62	1,86	2,21	1,74	2,57
0,75	2,01	1,89	2,92	1,67	1,98	2,33	1,79	2,62
0,80	2,13	1,96	3,06	1,76	2,11	2,40	1,89	2,72
0,85	2,23	2,08	3,21	1,84	2,18	2,55	1,96	2,82
0,90	2,35	2,16	3,33	1,89	2,30	2,67	2,06	2,87
0,95	2,45	2,28	3,53	1,96	2,38	2,79	2,16	2,94
1,00	2,52	2,35	3,68	2,03	2,50	2,96	2,21	3,04
1,05	2,62	2,47	3,80	2,11	2,57	3,06	2,30	3,19
1,10	2,67	2,52	3,97	2,18	2,67	3,16	2,40	3,26
1,15	2,79	2,65	4,09	2,23	2,77	3,28	2,45	3,31
1,20	2,89	2,74	4,24	2,33	2,89	3,38	2,57	3,43
1,25	2,99	2,82	4,41	2,38	2,99	3,53	2,65	3,48
1,30	3,14	2,92	4,63	2,45	3,06	3,65	2,74	3,60
1,35	3,19	2,99	4,75	2,52	3,16	3,75	2,82	3,68
1,40	3,28	3,11	4,83	2,60	3,26	3,92	2,92	3,77
1,45	3,41	3,16	5,00	2,67	3,33	4,02	3,01	3,85
1,50	3,50	3,26	5,12	2,74	3,45	4,14	3,09	3,92
1,55	3,58	3,38	5,29	2,82	3,53	4,26	3,19	4,02
1,60	3,68	3,43	5,44	2,89	3,63	4,41	3,23	4,07
1,65	3,77	3,53	5,54	2,94	3,72	4,51	3,33	4,19
1,70	3,90	3,60	5,71	3,01	3,82	4,61	3,43	4,31
1,75	3,97	3,70	5,88	3,09	3,90	4,73	3,48	4,36
1,80	4,07	3,80	6,00	3,16	3,99	4,85	3,58	4,46
1,85	4,14	3,87	6,15	3,23	4,09	4,95	3,65	4,53
1,90	4,24	3,97	6,27	3,28	4,19	5,07	3,72	4,63
1,95	4,36	4,04	6,42	3,41	4,29	5,19	3,82	4,70
2,00	4,46	4,09	6,57	3,43	4,36	5,32	3,87	4,78
2,05	4,56	4,19	6,71	3,50	4,43	5,46	3,97	4,92
2,10	4,66	4,31	6,84	3,55	4,53	5,56	4,04	4,97
2,15	4,75	4,36	6,96	3,63	4,61	5,66	4,12	5,07
2,20	4,85	4,48	7,11	3,70	4,70	5,81	4,21	5,12
2,25	4,95	4,56	7,23	3,80	4,80	5,93	4,26	5,17
2,30	5,05	4,63	7,40	3,85	4,88	6,03	4,36	5,27
2,35	5,10	4,75	7,55	3,94	4,97	6,15	4,41	5,34
2,40	5,19	4,80	7,69	3,99	5,05	6,25	4,53	5,39
2,45	5,32	4,90	7,82	4,07	5,12	6,42	4,61	5,51
2,50	5,37	4,97	7,99	4,12	5,22	6,52	4,68	5,54
2,55	5,51	5,05	8,11	4,19	5,29	6,66	4,75	5,68
2,60	5,61	5,12	8,23	4,24	5,39	6,76	4,83	5,73
2,65	5,66	5,19	8,40	4,31	5,46	6,84	4,88	5,81
2,70	5,73	5,29	8,55	4,39	5,56	6,96	4,92	5,90
2,75	5,83	5,37	8,67	4,43	5,64	7,08	5,02	5,95
2,80	5,93	5,46	8,80	4,51	5,73	7,18	5,12	6,05
2,85	6,05	5,56	8,99	4,56	5,81	7,28	5,24	6,10
2,90	6,13	5,61	9,09	4,61	5,88	7,42	5,32	6,20
2,95	6,20	5,71	9,21	4,68	5,98	7,52	5,41	6,25
3,00	6,30	5,78	9,36	4,73	6,08	7,64	5,44	6,32
3,05	6,37	5,86	9,53	4,80	6,17	7,77	5,49	6,42
3,10	6,47	5,95	9,63	4,85	6,22	7,86	5,56	6,49
3,15	6,59	6,03	9,78	4,92	6,30	8,01	5,64	6,59

Flecha (mm)	CARGA(N)							
	D1A	D1AM	D1M	D1P	D1PL	D1AL	D1PM	D1L
3,20	6,66	6,10	9,92	4,97	6,37	8,11	5,71	6,69
3,25	6,76	6,17	10,05	5,05	6,44	8,26	5,78	6,76
3,30	6,86	6,25	10,19	5,10	6,52	8,40	5,88	6,84
3,35	6,96	6,32	10,31	5,19	6,59	8,48	5,93	6,86
3,40	7,03	6,39	10,44	5,24	6,71	8,58	6,00	6,93
3,45	7,08	6,47	10,58	5,29	6,79	8,72	6,08	6,98
3,50	7,20	6,57	10,71	5,37	6,86	8,82	6,15	7,08
3,55	7,25	6,62	10,80	5,41	6,93	8,94	6,22	7,18
3,60	7,37	6,69	10,93	5,49	7,01	9,04	6,32	7,20
3,65	7,47	6,76	11,07	5,54	7,06	9,16	6,37	7,33
3,70	7,55	6,86	11,17	5,64	7,15	9,24	6,44	7,40
3,75	7,64	6,91	11,27	5,71	7,20	9,36	6,49	7,50
3,80	7,72	7,01	11,44	5,76	7,30	9,48	6,57	7,57
3,85	7,82	7,06	11,54	5,81	7,40	9,58	6,64	7,64
3,90	7,89	7,13	11,66	5,86	7,45	9,68	6,69	7,77
3,95	7,96	7,20	11,81	5,95	7,50	9,78	6,79	7,82
4,00	8,06	7,30	11,91	6,00	7,60	9,87	6,86	7,86

Flecha (mm)	Carga (N)							
	D2A	D2AM	D2AL	D2P	D2PM	D2PL	D2M	D2L
0,00	0,56	0,59	0,64	0,64	0,51	0,59	0,56	0,54
0,05	0,69	0,66	0,76	0,78	0,56	0,71	0,61	0,64
0,10	0,78	0,76	0,88	0,88	0,61	0,88	0,66	0,74
0,15	0,88	0,83	0,96	1,00	0,69	1,05	0,76	0,81
0,20	0,98	0,91	1,05	1,10	0,76	1,20	0,81	0,93
0,25	1,05	0,98	1,15	1,20	0,81	1,40	0,86	0,98
0,30	1,18	1,05	1,23	1,35	0,88	1,57	0,93	1,10
0,35	1,25	1,13	1,32	1,45	0,93	1,72	0,96	1,18
0,40	1,35	1,23	1,42	1,54	1,00	1,89	1,03	1,27
0,45	1,42	1,30	1,52	1,59	1,05	2,01	1,10	1,37
0,50	1,52	1,37	1,59	1,69	1,08	2,13	1,13	1,45
0,55	1,62	1,42	1,67	1,81	1,13	2,30	1,20	1,54
0,60	1,72	1,49	1,76	1,91	1,23	2,43	1,25	1,62
0,65	1,84	1,57	1,89	2,01	1,27	2,57	1,30	1,72
0,70	1,91	1,62	1,96	2,13	1,35	2,72	1,40	1,81
0,75	2,03	1,72	2,03	2,23	1,37	2,89	1,45	1,91
0,80	2,08	1,74	2,08	2,38	1,45	3,01	1,52	1,98
0,85	2,18	1,81	2,21	2,43	1,52	3,16	1,57	2,06
0,90	2,28	1,89	2,28	2,55	1,54	3,31	1,62	2,16
0,95	2,35	1,96	2,38	2,65	1,64	3,48	1,67	2,25
1,00	2,43	2,03	2,47	2,74	1,69	3,63	1,76	2,33
1,05	2,52	2,08	2,52	2,84	1,74	3,72	1,81	2,40
1,10	2,65	2,16	2,62	2,94	1,79	3,87	1,89	2,50
1,15	2,70	2,23	2,72	3,06	1,84	3,99	1,94	2,57
1,20	2,82	2,25	2,82	3,16	1,91	4,14	1,98	2,62
1,25	2,92	2,35	2,92	3,26	1,98	4,29	2,03	2,72
1,30	2,99	2,40	2,99	3,36	2,01	4,43	2,13	2,79
1,35	3,11	2,47	3,06	3,48	2,08	4,61	2,16	2,92
1,40	3,16	2,55	3,16	3,55	2,16	4,73	2,23	2,99
1,45	3,26	2,60	3,21	3,65	2,23	4,90	2,28	3,06
1,50	3,36	2,67	3,28	3,77	2,28	5,00	2,35	3,14
1,55	3,45	2,74	3,38	3,82	2,33	5,15	2,40	3,23
1,60	3,53	2,79	3,45	3,94	2,40	5,27	2,47	3,33
1,65	3,63	2,87	3,53	4,04	2,45	5,39	2,52	3,41
1,70	3,70	2,92	3,58	4,12	2,50	5,51	2,57	3,48
1,75	3,77	2,96	3,70	4,24	2,55	5,64	2,62	3,58
1,80	3,87	3,01	3,75	4,31	2,62	5,78	2,70	3,65
1,85	3,92	3,09	3,82	4,41	2,67	5,88	2,74	3,72
1,90	3,99	3,14	3,92	4,51	2,74	6,00	2,77	3,80
1,95	4,09	3,26	4,02	4,61	2,79	6,13	2,82	3,90
2,00	4,19	3,31	4,09	4,70	2,87	6,27	2,87	3,94
2,05	4,26	3,38	4,19	4,78	2,92	6,39	2,92	4,04
2,10	4,34	3,43	4,26	4,90	2,96	6,52	2,99	4,09
2,15	4,41	3,48	4,34	4,97	3,04	6,64	3,04	4,19
2,20	4,51	3,53	4,41	5,07	3,09	6,79	3,09	4,29
2,25	4,56	3,58	4,46	5,19	3,14	6,88	3,16	4,36
2,30	4,63	3,63	4,53	5,24	3,21	7,01	3,21	4,46
2,35	4,73	3,70	4,63	5,37	3,28	7,13	3,28	4,51
2,40	4,80	3,75	4,70	5,46	3,33	7,20	3,33	4,58
2,45	4,88	3,80	4,78	5,56	3,38	7,33	3,38	4,68
2,50	4,97	3,85	4,85	5,66	3,45	7,42	3,41	4,73
2,55	5,05	3,92	4,90	5,71	3,53	7,55	3,45	4,83
2,60	5,12	3,72	5,00	5,83	3,58	7,69	3,53	4,92
2,65	5,22	4,07	5,05	5,88	3,63	7,79	3,58	5,00
2,70	5,27	4,12	5,15	5,98	3,68	7,91	3,63	5,10
2,75	5,34	4,12	5,19	6,10	3,75	8,04	3,70	5,15
2,80	5,41	4,19	5,27	6,15	3,80	8,13	3,75	5,22
2,85	5,49	4,24	5,34	6,20	3,85	8,26	3,80	5,32
2,90	5,54	4,26	5,41	6,32	3,94	8,38	3,85	5,39
2,95	5,61	4,31	5,46	6,42	3,99	8,45	3,87	5,46
3,00	5,73	4,36	5,59	6,47	4,02	8,58	3,92	5,54
3,05	5,78	4,43	5,64	6,54	4,07	8,70	3,97	5,61
3,10	5,86	4,48	5,73	6,64	4,14	8,82	4,02	5,68
3,15	5,90	4,53	5,78	6,74	4,19	8,89	4,07	5,73

Flecha (mm)	Carga (N)							
	D2A	D2AM	D2AL	D2P	D2PM	D2PL	D2M	D2L
3,20	5,98	4,58	5,88	6,84	4,21	8,97	4,12	5,81
3,25	6,10	4,63	5,90	6,91	4,29	9,11	4,17	5,88
3,30	6,13	4,68	6,00	6,98	4,31	9,21	4,21	5,95
3,35	6,20	4,73	6,08	7,06	4,36	9,33	4,29	6,00
3,40	6,27	4,80	6,13	7,11	4,43	9,41	4,31	6,10
3,45	6,32	4,83	6,22	7,18	4,48	9,53	4,39	6,17
3,50	6,39	4,88	6,27	7,28	4,53	9,60	4,41	6,22
3,55	6,47	4,92	6,32	7,37	4,58	9,70	4,46	6,30
3,60	6,52	4,92	6,39	7,42	4,63	9,82	4,53	6,37
3,65	6,59	4,97	6,47	7,52	4,43	9,92	4,56	6,42
3,70	6,69	5,02	6,54	7,60	4,73	10,00	4,61	6,49
3,75	6,74	5,10	6,62	7,67	4,78	10,07	4,66	6,57
3,80	6,79	5,15	6,66	7,77	4,83	10,17	4,70	6,62
3,85	6,86	5,19	6,74	7,84	4,85	10,27	4,78	6,71
3,90	6,93	5,24	6,79	7,91	4,92	10,39	4,83	6,79
3,95	6,98	5,27	6,88	7,99	4,95	10,49	4,90	6,86
4,00	6,98	5,27	6,88	7,99	4,95	10,49	4,90	6,86

Flecha (mm)	Carga (N)							
	D3L	D3A	D3AM	D3AL	D3P	D3PM	D3PL	D3M
0,00	0,56	0,47	0,56	0,59	0,56	0,51	0,59	0,56
0,05	0,71	0,51	0,66	0,71	0,64	0,59	0,69	0,69
0,10	0,81	0,59	0,74	0,86	0,76	0,66	0,83	0,76
0,15	0,96	0,66	0,81	0,98	0,86	0,69	0,93	0,88
0,20	1,10	0,69	0,88	1,10	0,93	0,76	1,05	0,98
0,25	1,23	0,76	0,98	1,23	1,05	0,83	1,15	1,08
0,30	1,35	0,81	1,05	1,37	1,15	0,91	1,23	1,15
0,35	1,47	0,88	1,13	1,47	1,25	0,96	1,35	1,25
0,40	1,59	0,98	1,20	1,62	1,35	1,00	1,49	1,35
0,45	1,69	1,00	1,27	1,74	1,45	1,08	1,59	1,45
0,50	1,81	1,08	1,35	1,86	1,54	1,15	1,72	1,54
0,55	1,94	1,13	1,42	1,96	1,67	1,23	1,81	1,64
0,60	2,06	1,20	1,49	2,13	1,76	1,27	1,94	1,74
0,65	2,21	1,27	1,57	2,21	1,86	1,32	2,06	1,86
0,70	2,33	1,32	1,67	2,28	1,96	1,37	2,18	1,94
0,75	2,40	1,37	1,74	2,43	2,08	1,42	2,25	2,06
0,80	2,55	1,45	1,81	2,55	2,18	1,47	2,38	2,16
0,85	2,67	1,52	1,89	2,67	2,25	1,54	2,47	2,25
0,90	2,79	1,54	1,96	2,79	2,38	1,62	2,55	2,33
0,95	2,96	1,59	2,06	2,89	2,47	1,69	2,70	2,43
1,00	3,06	1,67	2,13	3,04	2,60	1,74	2,82	2,55
1,05	3,16	1,74	2,23	3,16	2,70	1,79	2,92	2,65
1,10	3,28	1,79	2,30	3,31	2,79	1,86	3,04	2,74
1,15	3,38	1,84	2,38	3,43	2,89	1,91	3,14	2,84
1,20	3,53	1,91	2,43	3,53	2,99	1,98	3,23	2,92
1,25	3,65	1,98	2,52	3,63	3,09	2,01	3,33	3,01
1,30	3,75	2,03	2,60	3,72	3,19	2,06	3,45	3,11
1,35	3,92	2,11	2,65	3,85	3,26	2,13	3,55	3,21
1,40	4,02	2,18	2,74	3,94	3,36	2,18	3,68	3,31
1,45	4,14	2,23	2,79	4,04	3,45	2,21	3,80	3,41
1,50	4,26	2,28	2,92	4,14	3,55	2,28	3,87	3,50
1,55	4,41	2,35	2,96	4,26	3,65	2,33	3,94	3,60
1,60	4,51	2,43	3,04	4,39	3,77	2,38	4,04	3,70
1,65	4,61	2,45	3,09	4,51	3,87	2,43	4,17	3,77
1,70	4,73	2,52	3,19	4,61	3,99	2,47	4,29	3,85
1,75	4,85	2,60	3,26	4,70	4,09	2,52	4,41	3,97
1,80	4,95	2,65	3,33	4,85	4,19	2,60	4,51	4,07
1,85	5,07	2,70	3,43	4,97	4,29	2,67	4,61	4,14
1,90	5,19	2,74	3,48	5,07	4,39	2,74	4,70	4,21
1,95	5,32	2,82	3,55	5,19	4,48	2,79	4,80	4,31
2,00	5,46	2,89	3,63	5,29	4,61	2,87	4,88	4,41
2,05	5,56	2,96	3,70	5,39	4,68	2,92	5,00	4,51
2,10	5,66	3,01	3,80	5,51	4,78	2,96	5,10	4,58
2,15	5,81	3,09	3,85	5,64	4,85	3,01	5,17	4,68
2,20	5,93	3,14	3,92	5,76	4,97	3,06	5,27	4,78
2,25	6,03	3,16	3,99	5,88	5,07	3,09	5,37	4,85
2,30	6,15	3,26	4,07	5,98	5,19	3,16	5,49	4,90
2,35	6,25	3,28	4,14	6,08	5,27	3,21	5,59	5,00
2,40	6,42	3,36	4,19	6,15	5,37	3,28	5,68	5,07
2,45	6,52	3,41	4,29	6,27	5,49	3,33	5,78	5,17
2,50	6,66	3,48	4,34	6,39	5,59	3,38	6,03	5,29
2,55	6,76	3,53	4,43	6,52	5,68	3,43	5,95	5,37
2,60	6,84	3,60	4,51	6,62	5,76	3,50	6,05	5,49
2,65	6,96	3,65	4,58	6,71	5,86	3,53	6,20	5,56
2,70	7,08	3,70	4,63	6,81	5,95	3,60	6,27	5,64
2,75	7,18	3,75	4,73	6,93	6,03	3,63	6,37	5,76
2,80	7,28	3,85	4,80	7,03	6,15	3,70	6,42	5,83
2,85	7,42	3,87	4,88	7,18	6,27	3,75	6,54	5,90
2,90	7,52	3,94	4,92	7,28	6,32	3,82	6,64	5,98
2,95	7,64	3,99	5,00	7,40	6,44	3,90	6,74	6,13
3,00	7,77	4,04	5,07	7,50	6,54	3,94	6,84	6,20
3,05	7,86	4,09	5,15	7,60	6,62	3,99	6,93	6,27
3,10	8,01	4,17	5,24	7,72	6,71	4,04	7,03	6,39
3,15	8,11	4,21	5,29	7,79	6,81	4,12	7,13	6,47

Flecha (mm)	Carga (N)							
	D3L	D3A	D3AM	D3AL	D3P	D3PM	D3PL	D3M
3,20	8,26	4,26	5,37	7,89	6,88	4,17	7,25	6,57
3,25	8,40	4,34	5,46	7,99	6,98	4,19	7,30	6,62
3,30	8,48	4,39	5,51	8,06	7,06	4,26	7,40	6,76
3,35	8,58	4,46	5,59	8,16	7,15	4,31	7,50	6,84
3,40	8,72	4,51	5,66	8,26	7,23	4,36	7,55	6,91
3,45	8,82	4,56	5,73	8,35	7,33	4,41	7,64	6,96
3,50	8,94	4,63	5,81	8,45	7,42	4,46	7,74	7,06
3,55	9,04	4,66	5,86	8,58	7,50	4,51	7,84	7,13
3,60	9,16	4,70	5,93	8,65	7,60	4,58	7,94	7,23
3,65	9,24	4,78	5,95	8,75	7,69	4,63	8,13	7,30
3,70	9,36	4,88	6,08	8,84	7,79	4,70	8,09	7,40
3,75	9,48	4,90	6,13	8,92	7,86	4,75	8,18	7,50
3,80	9,58	5,00	6,20	9,04	7,94	4,78	8,23	7,57
3,85	9,68	5,05	6,25	9,09	8,01	4,83	8,33	7,64
3,90	9,78	5,10	6,32	9,19	8,09	4,90	8,40	7,74
3,95	9,87	5,15	6,37	9,31	8,16	4,95	8,48	7,84
4,00	9,87	5,15	6,37	9,31	8,16	4,95	8,48	7,84

Flecha (mm)	Carga(N)							
	E1A	E1AM	E1M	E1P	E1PL	E1AL	E1PM	E1L
0,00	0,49	0,54	0,49	0,51	0,64	0,49	0,49	0,49
0,05	0,56	0,64	0,59	0,64	0,78	0,61	0,61	0,59
0,10	0,64	0,76	0,69	0,74	0,88	0,74	0,71	0,66
0,15	0,71	0,86	0,76	0,86	0,98	0,86	0,78	0,71
0,20	0,78	0,93	0,83	0,93	1,10	0,98	0,83	0,76
0,25	0,88	1,03	0,91	1,08	1,18	1,15	0,93	0,83
0,30	0,98	1,15	1,00	1,15	1,32	1,25	0,98	0,91
0,35	1,05	1,27	1,05	1,25	1,40	1,40	1,05	0,96
0,40	1,10	1,35	1,13	1,32	1,49	1,54	1,10	1,00
0,45	1,18	1,42	1,20	1,42	1,62	1,62	1,20	1,08
0,50	1,25	1,54	1,27	1,52	1,72	1,79	1,23	1,15
0,55	1,32	1,62	1,37	1,62	1,81	1,91	1,32	1,23
0,60	1,37	1,74	1,42	1,69	1,94	2,01	1,40	1,30
0,65	1,45	1,84	1,52	1,79	2,03	2,11	1,47	1,35
0,70	1,54	1,91	1,57	1,89	2,16	2,28	1,54	1,42
0,75	1,62	2,01	1,62	1,98	2,25	2,40	1,62	1,47
0,80	1,69	2,11	1,72	2,08	2,33	2,52	1,67	1,52
0,85	1,74	2,16	1,79	2,18	2,43	2,65	1,72	1,54
0,90	1,81	2,28	1,86	2,28	2,52	2,74	1,84	1,62
0,95	1,86	2,35	1,94	2,38	2,62	2,87	1,89	1,69
1,00	2,01	2,45	2,01	2,45	2,70	2,96	1,96	1,74
1,05	2,11	2,57	2,08	2,55	2,82	3,14	2,01	1,81
1,10	2,16	2,67	2,16	2,62	2,94	3,23	2,11	1,89
1,15	2,21	2,72	2,25	2,72	3,01	3,33	2,18	1,94
1,20	2,30	2,82	2,33	2,79	3,11	3,48	2,23	1,98
1,25	2,35	2,92	2,40	2,89	3,19	3,58	2,30	2,03
1,30	2,43	2,99	2,47	3,01	3,28	3,72	2,38	2,13
1,35	2,50	3,09	2,55	3,09	3,41	3,85	2,45	2,16
1,40	2,57	3,19	2,62	3,16	3,50	3,92	2,50	2,23
1,45	2,65	3,28	2,70	3,26	3,60	4,07	2,60	2,28
1,50	2,74	3,36	2,77	3,33	3,70	4,17	2,67	2,35
1,55	2,82	3,43	2,84	3,43	3,77	4,26	2,72	2,40
1,60	2,87	3,50	2,89	3,50	3,87	4,39	2,79	2,47
1,65	2,96	3,63	2,96	3,60	3,97	4,48	2,84	2,52
1,70	3,04	3,70	3,06	3,70	4,07	4,63	2,89	2,60
1,75	3,09	3,77	3,11	3,75	4,14	4,73	2,99	2,62
1,80	3,19	3,85	3,19	3,85	4,24	4,83	3,06	2,70
1,85	3,23	3,94	3,23	3,92	4,36	4,95	3,14	2,74
1,90	3,31	4,02	3,33	4,02	4,43	5,05	3,19	2,82
1,95	3,38	4,12	3,36	4,12	4,53	5,17	3,23	2,87
2,00	3,43	4,21	3,43	4,17	4,63	5,27	3,31	2,89
2,05	3,48	4,29	3,53	4,26	4,73	5,39	3,38	2,94
2,10	3,58	4,36	3,58	4,36	4,83	5,51	3,45	3,01
2,15	3,63	4,43	3,65	4,46	4,90	5,59	3,48	3,06
2,20	3,72	4,53	3,70	4,51	5,00	5,68	3,55	3,11
2,25	3,77	4,61	3,75	4,61	5,10	5,78	3,63	3,19
2,30	3,82	4,68	3,80	4,70	5,17	5,86	3,70	3,23
2,35	3,90	4,78	3,87	4,75	5,27	6,00	3,75	3,28
2,40	3,97	4,85	3,94	4,85	5,37	6,08	3,82	3,33
2,45	4,02	4,92	3,99	4,92	5,46	6,20	3,87	3,38
2,50	4,09	4,97	4,07	5,02	5,54	6,30	3,94	3,45
2,55	4,14	5,10	4,12	5,12	5,66	6,42	4,02	3,48
2,60	4,21	5,17	4,21	5,22	5,76	6,52	4,07	3,53
2,65	4,31	5,24	4,26	5,29	5,86	6,59	4,12	3,60
2,70	4,36	5,34	4,31	5,37	5,93	6,69	4,19	3,63
2,75	4,41	5,39	4,36	5,44	6,03	6,76	4,26	3,70
2,80	4,48	5,49	4,43	5,54	6,13	6,86	4,31	3,72
2,85	4,56	5,56	4,51	5,64	6,22	6,93	4,39	3,77
2,90	4,63	5,66	4,56	5,71	6,30	7,03	4,43	3,85
2,95	4,68	5,73	4,61	5,78	6,39	7,15	4,48	3,90
3,00	4,75	5,81	4,66	5,88	6,47	7,25	4,56	3,94
3,05	4,83	5,88	4,70	5,95	6,59	7,33	4,61	3,99
3,10	4,90	5,93	4,78	6,05	6,69	7,45	4,66	4,07
3,15	4,97	6,00	4,83	6,13	6,76	7,52	4,75	4,12



Flecha (mm)	Carga (N)							
	E1A	E1AM	E1M	E1P	E1PL	E1AL	E1PM	E1L
3,20	5,02	6,08	4,90	6,20	6,86	7,62	4,80	4,14
3,25	5,07	6,15	4,92	6,30	6,93	7,69	4,85	4,19
3,30	5,12	6,22	5,00	6,39	7,03	7,77	4,92	4,26
3,35	5,19	6,35	5,05	6,47	7,13	7,86	4,97	4,31
3,40	5,27	6,39	5,12	6,57	7,20	7,96	5,02	4,39
3,45	5,34	6,47	5,15	6,62	7,30	8,06	5,10	4,43
3,50	5,39	6,54	5,22	6,69	7,40	8,13	5,15	4,51
3,55	5,46	6,62	5,27	6,76	7,47	8,23	5,22	4,56
3,60	5,54	6,69	5,29	6,86	7,57	8,33	5,27	4,61
3,65	5,59	6,74	5,34	6,98	7,67	8,38	5,32	4,66
3,70	5,64	6,84	5,41	7,03	7,77	8,45	5,37	4,73
3,75	5,71	6,88	5,46	7,11	7,84	8,55	5,41	4,78
3,80	5,78	6,98	5,54	7,18	7,94	8,65	5,49	4,83
3,85	5,83	7,06	5,61	7,28	8,01	8,70	5,56	4,85
3,90	5,88	7,13	5,66	7,35	8,11	8,77	5,59	4,92
3,95	5,93	7,18	5,73	7,42	8,16	8,87	5,66	4,97
4,00	6,00	7,25	5,81	7,50	8,26	8,94	5,71	5,02

Flecha (mm)	Carga (N)							
	E2A	E2AM	E2AL	E2P	E2PM	E2PL	E2M	E2L
0,00	0,49	0,47	0,51	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49
0,05	0,59	0,56	0,59	0,61	0,64	0,61	0,59	0,61
0,10	0,71	0,64	0,69	0,66	0,74	0,66	0,64	0,66
0,15	0,78	0,69	0,76	0,78	0,86	0,71	0,69	0,76
0,20	0,86	0,76	0,83	0,86	0,96	0,76	0,74	0,81
0,25	0,98	0,83	0,88	0,93	1,10	0,81	0,78	0,86
0,30	1,05	0,91	0,98	1,00	1,23	0,86	0,83	0,91
0,35	1,15	0,98	1,08	1,10	1,35	0,96	0,91	0,96
0,40	1,25	1,05	1,13	1,18	1,47	1,00	0,93	1,00
0,45	1,32	1,10	1,18	1,25	1,59	1,05	1,00	1,05
0,50	1,40	1,18	1,27	1,35	1,69	1,08	1,05	1,08
0,55	1,49	1,23	1,35	1,42	1,84	1,13	1,10	1,10
0,60	1,57	1,27	1,40	1,49	1,94	1,18	1,15	1,13
0,65	1,67	1,35	1,45	1,54	2,06	1,23	1,20	1,18
0,70	1,76	1,42	1,52	1,62	2,18	1,27	1,27	1,25
0,75	1,84	1,49	1,59	1,67	2,30	1,30	1,30	1,30
0,80	1,94	1,54	1,67	1,76	2,43	1,35	1,35	1,32
0,85	2,01	1,62	1,74	1,84	2,55	1,40	1,40	1,37
0,90	2,11	1,67	1,81	1,89	2,67	1,47	1,45	1,42
0,95	2,16	1,72	1,86	1,96	2,77	1,52	1,49	1,49
1,00	2,23	1,81	1,91	2,03	2,87	1,57	1,54	1,54
1,05	2,30	1,86	1,98	2,11	3,04	1,62	1,62	1,59
1,10	2,40	1,94	2,06	2,18	3,14	1,67	1,64	1,64
1,15	2,47	2,01	2,13	2,23	3,23	1,72	1,69	1,69
1,20	2,55	2,06	2,18	2,33	3,33	1,76	1,74	1,74
1,25	2,67	2,11	2,28	2,38	3,45	1,81	1,79	1,79
1,30	2,74	2,18	2,33	2,45	3,58	1,86	1,86	1,81
1,35	2,82	2,23	2,40	2,52	3,72	1,91	1,91	1,86
1,40	2,92	2,30	2,47	2,60	3,85	1,96	1,96	1,89
1,45	2,99	2,38	2,55	2,67	3,94	1,98	2,01	1,94
1,50	3,06	2,43	2,57	2,74	4,07	2,06	2,06	1,98
1,55	3,11	2,47	2,67	2,82	4,17	2,11	2,11	2,03
1,60	3,23	2,55	2,74	2,89	4,26	2,13	2,16	2,08
1,65	3,28	2,60	2,79	2,94	4,39	2,18	2,21	2,13
1,70	3,38	2,67	2,87	3,01	4,51	2,23	2,28	2,18
1,75	3,43	2,74	2,92	3,09	4,63	2,28	2,08	2,21
1,80	3,53	2,79	2,99	3,16	4,73	2,33	2,38	2,25
1,85	3,58	2,87	3,04	3,23	4,85	2,38	2,40	2,30
1,90	3,65	3,04	3,14	3,28	4,97	2,43	2,45	2,35
1,95	3,75	3,09	3,16	3,41	5,05	2,47	2,50	2,40
2,00	3,80	3,09	3,23	3,43	5,19	2,52	2,52	2,43
2,05	3,87	3,11	3,31	3,50	5,29	2,57	2,60	2,47
2,10	3,97	3,19	3,38	3,55	5,39	2,60	2,65	2,52
2,15	4,04	3,23	3,43	3,63	5,51	2,65	2,70	2,57
2,20	4,12	3,31	3,50	3,70	5,66	2,70	2,72	2,60
2,25	4,17	3,36	3,55	3,80	5,76	2,74	2,77	2,67
2,30	4,24	3,38	3,60	3,85	5,86	2,82	2,82	2,70
2,35	4,31	3,45	3,70	3,94	5,98	2,87	2,84	2,74
2,40	4,39	3,50	3,77	3,99	6,08	2,92	2,92	2,79
2,45	4,46	3,58	3,82	4,07	6,20	2,94	2,96	2,82
2,50	4,51	3,63	3,87	4,12	6,27	2,99	3,01	2,87
2,55	4,58	3,68	3,94	4,19	6,39	3,06	3,04	2,94
2,60	4,63	3,72	3,99	4,24	6,47	3,09	3,09	2,99
2,65	4,70	3,77	4,07	4,31	6,59	3,16	3,14	3,04
2,70	4,78	3,85	4,12	4,39	6,69	3,19	3,19	3,09
2,75	4,83	3,87	4,19	4,43	6,76	3,23	3,21	3,14
2,80	4,90	3,94	4,24	4,51	6,86	3,26	3,28	3,16
2,85	4,95	3,99	4,29	4,56	6,96	3,28	3,33	3,19
2,90	5,05	4,04	4,36	4,61	7,08	3,33	3,38	3,23
2,95	5,10	4,09	4,41	4,68	7,20	3,38	3,43	3,28
3,00	5,12	4,17	4,48	4,73	7,30	3,43	3,45	3,33
3,05	5,19	4,26	4,56	4,80	7,37	3,48	3,50	3,36
3,10	5,27	4,29	4,61	4,85	7,47	3,55	3,55	3,41
3,15	5,34	4,36	4,66	4,92	7,55	3,58	3,58	3,43

Flecha (mm)	Carga (N)							
	E2A	E2AM	E2AL	E2P	E2PM	E2PL	E2M	E2L
3,20	5,41	4,41	4,73	4,97	7,69	3,60	3,65	3,50
3,25	5,46	4,51	4,78	5,05	7,79	3,65	3,68	3,53
3,30	5,51	4,56	4,83	5,10	7,91	3,70	3,72	3,58
3,35	5,56	4,61	4,88	5,19	8,01	3,72	3,75	3,60
3,40	5,61	4,66	4,95	5,24	8,11	3,77	3,82	3,63
3,45	5,66	4,70	5,00	5,29	8,21	3,82	3,87	3,65
3,50	5,73	4,78	5,05	5,37	8,31	3,87	3,90	3,70
3,55	5,78	4,83	5,10	5,41	8,38	3,94	3,94	3,72
3,60	5,83	4,88	5,17	5,49	8,43	3,97	3,99	3,77
3,65	5,90	4,92	5,24	5,54	8,55	4,02	4,02	3,80
3,70	5,98	5,00	5,27	5,64	8,67	4,07	4,07	3,85
3,75	6,00	5,07	5,34	5,71	8,77	4,12	4,09	3,90
3,80	6,05	5,12	5,41	5,76	8,87	4,14	4,17	3,94
3,85	6,13	5,17	5,46	5,81	8,94	4,19	4,19	3,97
3,90	6,15	5,24	5,56	5,86	9,04	4,24	4,24	3,99
3,95	6,22	5,27	5,61	5,95	9,14	4,26	4,26	4,02
4,00	6,27	5,34	5,66	6,00	9,21	4,31	4,31	4,07

Flecha (mm)	Carga (N)							
	E3L	E3A	E3AM	E3AL	E3P	E3PM	E3PL	E3M
0,00	0,49	0,49	0,49	0,49	0,51	0,49	0,51	0,51
0,05	0,59	0,61	0,64	0,61	0,61	0,64	0,61	0,59
0,10	0,71	0,78	0,74	0,71	0,69	0,74	0,71	0,64
0,15	0,83	0,91	0,86	0,78	0,76	0,81	0,76	0,69
0,20	0,91	1,03	0,91	0,88	0,81	0,91	0,86	0,71
0,25	1,00	1,13	0,98	0,96	0,86	0,98	0,91	0,78
0,30	1,10	1,23	1,10	1,05	0,96	1,08	0,96	0,86
0,35	1,23	1,35	1,20	1,10	0,98	1,18	1,03	0,93
0,40	1,30	1,45	1,32	1,20	1,05	1,27	1,10	0,98
0,45	1,37	1,54	1,40	1,27	1,15	1,32	1,20	1,00
0,50	1,47	1,67	1,49	1,35	1,20	1,45	1,23	1,05
0,55	1,57	1,76	1,59	1,47	1,25	1,49	1,30	1,08
0,60	1,67	1,91	1,69	1,54	1,30	1,62	1,37	1,13
0,65	1,74	2,01	1,76	1,64	1,35	1,69	1,42	1,20
0,70	1,86	2,11	1,86	1,74	1,42	1,81	1,49	1,25
0,75	1,94	2,18	1,94	1,81	1,49	1,86	1,59	1,27
0,80	2,03	2,35	2,03	1,91	1,54	1,96	1,64	1,32
0,85	2,16	2,47	2,13	1,96	1,64	2,03	1,72	1,37
0,90	2,23	2,55	2,18	2,03	1,67	2,16	1,76	1,42
0,95	2,33	2,67	2,30	2,11	1,76	2,23	1,84	1,47
1,00	2,43	2,77	2,40	2,21	1,79	2,30	1,91	1,52
1,05	2,52	2,89	2,50	2,33	1,86	2,38	1,96	1,57
1,10	2,60	3,01	2,57	2,45	1,91	2,50	2,03	1,62
1,15	2,70	3,14	2,65	2,57	1,96	2,57	2,08	1,67
1,20	2,82	3,21	2,72	2,70	1,98	2,67	2,13	1,72
1,25	2,89	3,31	2,79	2,79	2,06	2,74	2,18	1,76
1,30	2,99	3,43	2,87	2,89	2,13	2,84	2,25	1,81
1,35	3,06	3,50	2,96	2,99	2,18	2,92	2,30	1,84
1,40	3,19	3,58	3,09	3,06	2,25	2,99	2,38	1,89
1,45	3,23	3,75	3,16	3,19	2,30	3,06	2,45	1,94
1,50	3,36	3,82	3,26	3,23	2,33	3,19	2,50	1,98
1,55	3,43	3,92	3,31	3,33	2,38	3,26	2,55	2,03
1,60	3,53	4,04	3,41	3,43	2,43	3,31	2,62	2,08
1,65	3,58	4,17	3,50	3,55	2,47	3,41	2,65	2,13
1,70	3,70	4,24	3,55	3,63	2,52	3,50	2,72	2,18
1,75	3,77	4,36	3,65	3,70	2,57	3,58	2,79	2,23
1,80	3,85	4,43	3,72	3,82	2,62	3,68	2,87	2,28
1,85	3,97	4,53	3,80	3,90	2,67	3,75	2,92	2,33
1,90	4,04	4,66	3,87	4,02	2,72	3,87	2,96	2,38
1,95	4,12	4,75	3,97	4,09	2,77	3,92	3,04	2,43
2,00	4,24	4,85	4,04	4,17	2,82	3,99	3,09	2,45
2,05	4,29	4,95	4,12	4,26	2,89	4,09	3,16	2,50
2,10	4,39	5,02	4,19	4,36	2,96	4,19	3,23	2,57
2,15	4,48	5,15	4,29	4,43	2,99	4,31	3,31	2,62
2,20	4,58	5,22	4,36	4,51	3,04	4,39	3,33	2,67
2,25	4,66	5,37	4,43	4,63	3,09	4,46	3,41	2,70
2,30	4,75	5,46	4,51	4,73	3,14	4,51	3,45	2,74
2,35	4,85	5,54	4,61	4,80	3,19	4,61	3,48	2,79
2,40	4,92	5,64	4,68	4,90	3,23	4,68	3,55	2,82
2,45	5,02	5,73	4,73	4,95	3,31	4,78	3,58	2,87
2,50	5,12	5,81	4,78	5,05	3,33	4,85	3,63	2,92
2,55	5,17	5,90	4,88	5,12	3,38	4,92	3,70	2,94
2,60	5,24	6,03	4,97	5,22	3,43	5,02	3,72	2,99
2,65	5,34	6,13	5,07	5,29	3,48	5,10	3,75	3,04
2,70	5,41	6,20	5,12	5,41	3,53	5,19	3,82	3,09
2,75	5,49	6,30	5,24	5,46	3,60	5,27	3,90	3,11
2,80	5,54	6,42	5,32	5,56	3,65	5,37	3,92	3,16
2,85	5,64	6,52	5,39	5,64	3,70	5,44	3,97	3,21
2,90	5,73	6,62	5,44	5,71	3,75	5,51	4,02	3,26
2,95	5,81	6,71	5,49	5,81	3,80	5,56	4,07	3,31
3,00	5,88	6,81	5,59	5,90	3,82	5,64	4,14	3,36
3,05	5,95	6,91	5,64	5,98	3,90	5,73	4,19	3,38
3,10	6,03	6,98	5,71	6,08	3,92	5,81	4,24	3,43
3,15	6,13	7,08	5,81	6,13	3,99	5,88	4,26	3,48

Flecha (mm)	Carga (N)							
	E3L	E3A	E3AM	E3AL	E3P	E3PM	E3PL	E3M
3,20	6,20	7,15	5,88	6,22	4,02	5,95	4,31	3,53
3,25	6,27	7,25	5,93	6,32	4,09	6,03	4,36	3,55
3,30	6,35	7,33	6,00	6,42	4,14	6,10	4,41	3,58
3,35	6,42	7,42	6,08	6,47	4,19	6,17	4,51	3,63
3,40	6,49	7,50	6,15	6,54	4,26	6,25	4,58	3,68
3,45	6,57	7,60	6,22	6,64	4,31	6,35	4,61	3,72
3,50	6,66	7,69	6,30	6,74	4,36	6,39	4,66	3,77
3,55	6,71	7,82	6,35	6,79	4,39	6,47	4,68	3,82
3,60	6,81	7,84	6,42	6,86	4,41	6,52	4,73	3,87
3,65	6,86	7,96	6,47	6,93	4,48	6,59	4,75	3,92
3,70	6,96	8,04	6,57	7,03	4,53	6,66	4,83	3,94
3,75	7,01	8,11	6,62	7,11	4,56	6,71	4,85	3,97
3,80	7,08	8,21	6,69	7,23	4,58	6,84	4,90	3,99
3,85	7,15	8,26	6,74	7,33	4,61	6,88	4,95	4,02
3,90	7,23	8,38	6,79	7,40	4,63	6,98	5,00	4,04
3,95	7,33	8,45	6,88	7,47	4,68	7,06	5,05	4,09
4,00	7,35	8,55	6,91	7,55	4,73	7,11	5,07	4,12

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

ARRIVABENE, Vladimir. (1994). *Resistência dos Materiais*, São Paulo, Makron Books, p. 221 – 241.

ASTM, (1972). *Manual on fatigue testing*, Spec. Techn. Publication, no. 91.

BEER, F. P.; JOHNSTON, E. R. (1995). *Resistência dos Materiais*, 3. ed. , São Paulo, Makron Books, p. 80 – 81.

BRANCO, Carlos A. G. de Moura. (1980). *Mecânica dos Materiais*, Lisboa, Fundação Calouste Gulbenkian, p. 883 – 906.

BRANDÃO, Jairo. (1997). *Módulo de Elasticidade de ossos corticais: revisão e otimização da metodologia para ossos longos*. São Carlos e Ribeirão Preto: USP.(Mestrado)

CARTER, D. R. e HAYES, W. C. (1976). *Fatigue life of Compact Bone – I – Effects of stress amplitude, temperature and density*, J. Biomechanics, vol. 9, p 27-34.

CARTER, D. R. e HAYES, W. C. (1977). *Compact Bone Fatigue Damage - a microscopic examination*, Clinical Orthopaedics and Related Research. 127 p.265-274.

CARTER, D. R. e HAYES, W. C. (1977). *Fatigue life of Compact Bone - I. Residual Strength and Stiffness*, J. Biomechanics, vol. 10, p 325-337.

CARTER, D. R. e HAYES, W. C. (1981). *Uniaxial Fatigue of Human Cortical Bone. The influence of tissue physical characteristics*, J. Biomechanics, vol. 14, p. 461-470.

FREEMAN, M. A. R.; TODD, R. D. e PIRIE, C. J.(1974). *The role of fatigue I the pathogenesis of senile femoral neck fractures*, J Bone Joint Surg. 56B:698.

FORSYTH, P.J.E., (1969). *The physical basis of metal fatigue*, Editado por American Elsevier Publishing Co., EUA.

GUY, A. G. (1980). *Ciência dos Materiais*, Rio de Janeiro, Ao Livro Técnico e EDUSP, p.196 – 199.

MEBIE, H. H.; OCVIRK, F. W. (1967). *Mecanismos e dinâmica das máquinas*, Rio de Janeiro, Ao Livro Técnico e EDUSP, p.261 – 336.

SERENSEN, S. V.; GARF, M. E. e KUZ'MENKO, V. A. (1970). *The dynamics of a fatigue testing machine*, Keter Press, Jerusalem.

SOUZA, A. S. (1974). *Ensaio mecânicos de materiais metálicos*. 3. ed. São Paulo, Edgard Blücher, p. 172-199.

STEMMER, G. E. (1979). *Projeto e construção de máquinas: regras gerais de projeto, elementos de máquinas*. 2. ed. Porto Alegre, Ed. Globo.

TIMOSHENKO, S. P. (1976). *Resistência dos materiais*, vol. II, Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos.