

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS  
DEPARTAMENTO DE ESTRUTURAS

LIGAÇÃO DE PEÇAS ESTRUTURAIS DE MADEIRA POR PARAFUSOS

ENG<sup>o</sup> CARLOS ROBERTO LISBÔA

DEPARTAMENTO DE ESTRUTURAS  
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Estruturas.

SÃO CARLOS, DEZEMBRO DE 1991

A meus pais Bertoldo Lisboa (in memoriam) e  
Angela Garcia Lisboa

Abgahil P. Souza Avelino

A minha irmã Sandra, seu esposo Sergio e família pelo incentivo e carinho.

E ao MSc Eng<sup>o</sup> Julio Cesar Moran Hassan

## AGRADECIMENTOS

Ao Senhor do Universo.

Ao Prof. Dr. João Cesar Hellmeister, com profunda admiração, e quem incansavelmente sempre me incentivou para realização deste trabalho.

Aos Prof. Dr. Francisco Antonio Rocco Lahr e Carlito Calil Jr. pela amizade e colaboração.

Ao Eng<sup>o</sup> Julio Cesar Moran Hassan, quem muito me apoiou durante o tempo de mestrado, um amigo.

Aos funcionários e colegas do Laboratório de Madeira e de Estruturas de Madeira, (LaMEM) do Departamento de Estruturas da EESC-USP pela amizade e colaboração: Cláudio Ortiz, Luiz Eduardo Bragato, José Francisco N. F<sup>o</sup>, Marivaldo Soares Monteiro, Arnaldo F. de Souza, Aparecido Galindo, Jaime Galindo, Roberto Galindo, Silvana Ap. Araújo Celestini, Tânia Maria Ferreira, Carlos Galindo, Carlos E. Oliveira, Silvio A. Ferro, Antonio M. Piovesan.

À Maria Regina Ferreira pela cuidadosa digitação deste trabalho.

À bibliotecária Helena pela Revisão Bibliográfica.

À CAPES e ao LaMEM pelo apoio financeiro.

## RESUMO

Trazer alguma contribuição para o cálculo da ligação de peças madeira estrutural por parafusos é a finalidade deste trabalho.

O espaçamento entre os parafusos não foi tomado em consideração a despeito das indicações da Norma Brasileira de Cálculo e Execução de Estruturas de Madeira, NBR-7190/82. A relação  $b/d$  entre a espessura da madeira e o diâmetro do parafuso foi, de alguma maneira, tomada em consideração através da equação da linha elástica na flexão. O deslocamento máximo  $l/360$  da Norma Brasileira de Projeto e Execução de Estrutura de aço de Edifício, NBR-8800/86, admitido para o parafuso é muito pequeno e deu uma boa aproximação para se aceitar a carga linearmente distribuída da madeira no parafuso e a equação final  $F = b \cdot d \cdot \sigma_c$ , no qual  $F$  é a carga suportada pelo parafuso e  $\sigma_c$  a resistência da madeira em compressão paralela às fibras.

A comparação entre a carga necessária para a flecha máxima do parafuso e a resistência da ligação tornou-se bem adequada para o cálculo da mesma.

## ABSTRACT

To bring some contribution on the design of structural wood and screw joints is the aim of this work. Spacing of the screws was not taken in account on the tests, in spite of the indications of Brazilian Standard of Cálculo e Execução de Estruturas de Madeira, NBR-7190/82. The relation  $b/\delta$ , between the wood thickness and screw diameter was, in a given way, taken in account through the equation of the elastic line in bending. The maximum displacement  $l/360$  of the Brazilian Standart, of Projeto e Execução de Estrutura de Aço de Edifício NBR-8800-86 admitted for the screw is very small and gave a good approach to accept the linearly distributed load of the wood on the screw, and the final equation  $F = b \cdot \delta \cdot \sigma_c$ , where  $F$  é the load carried by the screw, and  $\sigma_c$  the stress of the wood in compression paralel to the grain.

The compairison between the load necessary for the maximum displacement of the screw and the strength of the joint became very adequate for the design of the joint.

## SUMÁRIO

|  |     |
|--|-----|
| CAPÍTULO 1 :- Introdução e Objetivo.....         | 01  |
| CAPÍTULO 2 :- Revisão Teórica e Bibliográfica... | 03  |
| CAPÍTULO 3 :- Materiais.....                     | 35  |
| CAPÍTULO 4 :- Métodos.....                       | 43  |
| CAPÍTULO 5 :- Resultados Obtidos.....            | 46  |
| CAPÍTULO 6 :- Análise dos Resultados.....        | 70  |
| CAPÍTULO 7 :- Conclusões.....                    | 81  |
| CAPÍTULO 8 :- Bibliografia.....                  | 103 |

## CAP1 - INTRODUÇÃO

A utilização de madeiras em estruturas tem sido muito limitada no Brasil, embora a excelente situação de desenvolvimento da tecnologia da madeira no mundo e a invejável disponibilidade de madeiras nativas e de reflorestamento no país, associada a uma industrialização, ainda limitada, mas promissora, tem se efetuado.

Considerada esta situação e a possibilidade de manejo florestal bem conduzido, o país tem condições de manter e de ampliar a utilização da madeira, sem perder de vista, ainda, o atendimento da demanda internacional de madeiras e materiais derivados.

O manejo florestal para utilização da madeira, sem destruição do meio ambiente, é um problema sério no Brasil, mas tende a se resolver, inclusive por pressão internacional, através do uso racional das nossas reservas florestais nativas e do reflorestamento de áreas desgastadas por agricultura intensiva.

Entre os problemas tecnológicos para a melhor utilização da madeira em estruturas, no Brasil, destaca-se o da ligação entre peças estruturais.

Dentre os vários tipos de ligações mecânicas usadas em estruturas de madeira: (cavilhas, pregos, pinos, tarugos, parafusos e adesivos), a ligação parafusada tem sido a mais usada em estruturas de grande porte, nas quais atuam grandes esforços como por exemplo em telhados com grandes vãos, em pontes de madeira e outras.

A Norma Brasileira NBR-7190, no item 40, estabelece cuidados a serem tomados durante o projeto de ligação, no que se refere ao espaçamento entre os conectores.

A partir do item 66 na NBR-7190, são considerados os esforços admissíveis nas ligações. No item 67 é apresentado o cálculo das ligações com parafusos de aço. As indicações aí encontradas são relativamente complexas,

pouco esclarecedoras e estimulam o interesse por uma revisão teórica, bibliográfica e experimental da ligação de peças estruturais de madeira por parafusos.

No estudo experimental, feito neste trabalho, não foram adotados os espaçamentos da norma, pois a idéia era ensaiar corpos de prova semelhantes, mas com utilização de parafusos de diâmetros diferentes, em que se objetivava a coleta de dados para a análise das ligações, numa tentativa de obter-se a resistência máxima da ligação, este estudo acabou ficando para uma etapa posterior.

Os espaçamentos entre os parafusos, neste trabalho, foram adotados como consequência da utilização de 6 parafusos de 1,91 cm de diâmetro (3/4"), 9 parafusos de 1,27 cm de diâmetro (1/2") e 18 parafusos de 0,64 cm de diâmetro (1/4"), em corpos de prova geometricamente idênticos, feitos de Peroba Rosa (*Aspidosperma polyneuron*).

## OBJETIVO

É finalidade deste trabalho fazer uma análise dos conceitos mais divulgados para o cálculo da ligação de peças estruturais de madeira com parafusos.

A resistência da ligação parafusada, calculada seguindo-se as exigências da norma, será comparada com a resistência determinada através de ensaios.



## CAP2- REVISÃO TEÓRICA E BIBLIOGRÁFICA

Análises feitas através dos tempos, confirmam as qualidades físicas, de resistência e de elasticidade, da madeira como material estrutural. Devido à sua baixa densidade, pode-se obter estruturas leves. É trabalhável, apresenta custos diminutos, com grande campo de aplicação, além de ser um material amplamente renovável.

Com a necessidade de um conhecimento mais profundo sobre o comportamento das ligações em peças estruturais de madeira, surgiu a idéia deste trabalho.

A resistência, a estabilidade e a vida de uma estrutura são dependentes em grande parte da resistência, rigidez e durabilidade das ligações.

Com a apresentação deste trabalho espera-se melhorar a conceituação relativa ao comportamento de uma ligação parafusada em Peroba Rosa.

Alguns trabalhos internacionais são examinados a seguir.

O trabalho de Trayer (1932) formou bases para critério de projetos de ligações parafusadas de madeira.

Trayer contornou o procedimento de um projeto empírico, para esforços paralelos e perpendiculares às fibras, usando as condições das cargas admissíveis, definidas a partir dos resultados de ensaios, e apresentadas na forma de tabelas. Recomendações com respeito às distâncias e aos espaços previstos em seus ensaios, foram observados em experiências com ligações de componentes de madeira para aeronaves.

Muitos anos mais tarde, F. Leonhart e E. Mönning (1977) descrevem, no seu trabalho, as solicitações esperadas como: peso próprio, ação do vento, terremotos e vibrações, denominadas CARGAS DE UTILIZAÇÃO.

Além destas influências externas, existem ainda solicitações às quais as estruturas estão sujeitas através de esforços internos, originados devido a um impedimento à

sua livre deformação, em decorrência de ações externas. Dentre estes devem ser distinguidos :

- Esforços de coação internos em elementos da estrutura, que provocam reações de apoio, e esforços solicitantes que dependem da rigidez da estrutura.
- Esforços de coação internos em elementos da estrutura, que não provocam reações externas, mas somente tensões próprias. Estas tensões próprias exercem influência sobre a capacidade portante da estrutura.

A construção deve resistir às solicitações, o que faz supor a existência de limites para o tipos de solicitações que devem ser calculadas para poder garantir a segurança exigida contra uma ruína.

Os Estados Limites podem ser agrupados em: Estados-Limites de Ruptura e em Estados-Limites de Utilização.

A cada Estado Limite corresponde uma Carga-Limite ou Carga-de-Ruptura, ou Carga Crítica.

Nos Estados-Limites de Ruptura, a ruína da estrutura é atribuída à ruptura em um ponto crítico (seção transversal crítica, seção de ruptura); pode ser causa de desabamento no caso de vigas simplesmente apoiadas.

A ruína da estrutura pode ser provocada por grandes deformações localizadas em vários pontos críticos (deformação de rótulas plásticas ). Esta é a causa do colapso de estruturas hiperestáticas, ocasião em que se forma um mecanismo de ruptura ou uma cadeia cinemática.

Os Estados-Limites de Utilização podem ser caracterizados pelas: deformações excessivas, especialmente flechas, por vibrações intoleráveis, ataques de fungos, variação de umidade, etc.

As solitações resultantes das cargas de utilização devem ter suficiente margem de segurança abaixo dos Estados-Limites da estrutura. A "segurança suficiente" é garantida por meio de coeficiente de segurança, através do qual a carga de utilização é multiplicada para se obter a Carga de Ruptura ou a Carga-Limite exigida.

No Processo das Tensões Admissíveis, as Cargas de Utilização correspondem à soma de todos os valores máximos dos diversos casos de carga.

As tensões  $\sigma$  são calculadas nas seções mais solicitadas.

Deve-se ter então:

$$\sigma_{\max} \leq \sigma_{\text{adm}} = \frac{\text{Resistência } \beta}{\text{Coeficiente de Segurança } \nu}$$

Para  $\nu \cdot \sigma_{\text{adm}} \leq \beta$ , a segurança está relegionada à resistência dos materiais e não à capacidade de carga dos elementos estruturais ou das estruturas.

O procedimento com  $\sigma_{\text{adm}}$  é válido se, em todos os tipos de solicitações e de estruturas, a tensão  $\sigma$  crescer linearmente com a carga, até a ruptura.

O programa experimental de Trayer (1932) volta a ter aplicação, pois o desenvolvimento da curva característica das ligações no gráfico das Cargas contra os Deslocamentos é de grande importância para determinação de três valores básicos para posterior análise dos resultados.

O Limite de Proporcionalidade de Carga é a carga de deformação, a partir da qual o deslizamento nas ligações não é mais diretamente proporcional à carga aplicada.

A carga de deformação é definida como a carga de interseção da tangente linear e a porção não linear da curva.

A carga última é definida como a carga para a qual os deslizamentos são iguais ou menores do que 1,5mm, segundo Trayer (1932).

Algumas das conclusões apresentadas por Trayer são as seguintes:

- . A taxa  $b/\delta$  é o parâmetro resistente principal, sendo  $b$  a espessura do elemento principal da ligação e  $\delta$  o diâmetro do parafuso;
- . A carga total admissível para uma ligação com mais de um parafuso é igual a soma da carga admissível de cada parafuso;

- . As ligações com chapas de aço alcançam 20% a mais da capacidade das ligações de madeira, tanto para cargas paralelas às fibras, como para cargas perpendiculares às fibras;
- . Ligações com chapas de aço e ligações com elementos em madeira com carga perpendiculares às fibras têm as mesmas capacidades;
- . As cargas repetitivas, acima do limite de proporcionalidade da carga, "podem ser perigosas", diz Trayer (1932).

Johansen (1949), mais conhecido pela apresentação da Teoria das Charneiras Plásticas, é o autor de um trabalho relativo à ligação de peças de madeira por parafusos de aço.

No Brasil, a antiga Norma Brasileira NB-11 (1951), transcrita pela atual NBR-7190 (1982) com ligeiras alterações, ainda é o melhor repositório brasileiro de orientação básica para o projeto e para a execução de estruturas de madeira.

Evidentemente, a Norma para Cálculo e Execução de Estruturas de Madeira, NBR-7190 (1982), deverá ser atualizada e, para tanto, deverão ser desenvolvidas pesquisas. Neste sentido, este trabalho pretende dar a sua parcela de colaboração.

Entretanto, são muito trabalhosos os estudos, principalmente diante de uma demanda nacional relativamente diminuta de estruturas de madeira de grande porte e o reduzido número de laboratórios efetivamente interessados no assunto.

O primeiro item da norma referente às ligações, item 40a, estabelece a necessidade de serem empregados no mínimo 2 parafusos, aos nós das treliças.

De acordo com o item 40b, é proibido levar em conta o atrito entre as superfícies de contato das peças parafusadas.

No item 40c, é indicada a distribuição simétrica de pinos e parafusos em relação ao eixo da peça.

O espaçamento mínimo, entre os centros dos para-

fusos, é indicado nos itens 42a, 42b, e figura correspondente, reproduzida na figura 1, apresentada a seguir :

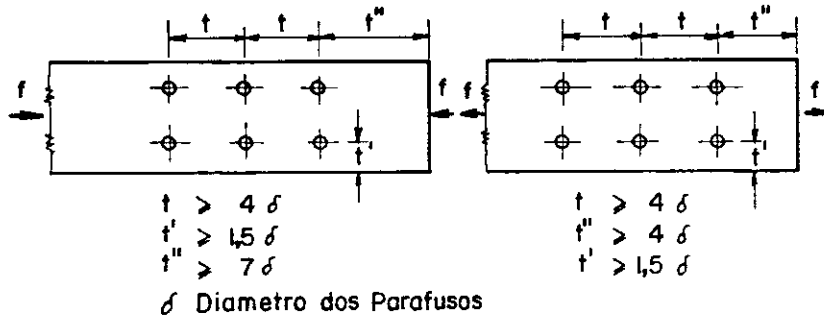


Figura 1- Espaçamento entre os parafusos.

A NBR-7190 (1982) considera relevante os deslocamentos em uma estrutura de madeira e recomenda, em seu item 45, a necessidade da inclusão dos deslocamentos das ligações no cálculo da contraflecha de pontes, ou de quaisquer treliças com mais de 10m de vão livre.

Apesar da existência desta recomendação, não se tem conhecimento de estudos teóricos ou experimentais capazes de satisfazer a esta exigência, aplicável à maioria das estruturas de madeira.

Além disto, algumas simplificações de cálculo são feitas. O cálculo convencional é aplicado sem distinção, para qualquer tipo de material, forma geométrica, tipo e continuidade das estruturas de barras. O cálculo é sempre feito em duas etapas independentes: inicialmente, a parte

relativa à estrutura principal e, a seguir, as ligações.

Ocorre, entretanto, que o comportamento das estruturas depende das ligações, pois estas formam um conjunto único e inseparável.

Na parte referente a esforços admissíveis nas ligações, item 66a, a NBR-7190 indica a utilização de resultados de ensaios realizados em laboratórios idôneos, adotando o menor dos seguintes valores:

- 50% do limite de proporcionalidade;
- 20% do limite de resistência;
- Esforço correspondente ao deslocamento relativo de 1,5mm entre as peças ligadas.

Os ensaios realizados com uma determinada espécie de madeira (item 66b) poderão ser estendidos a outras madeiras, admitindo-se a proporcionalidade existente entre os limites de resistência das madeiras, principalmente na compressão paralela às fibras.

Na falta de experiência com madeiras brasileiras, item 67a, a NBR-7190(1982) permite calcular os esforços admissíveis em ligações com parafusos de aço como segue :

- Tensão básica de compressão na madeira, paralela às fibras, sobre a área projetada do parafuso:

$$\bar{\sigma}_p = 0.18 \bar{\sigma}_c$$

sendo  $\bar{\sigma}_c = 0.2 \sigma_C$ , tensão admissível  
NBR-7190/82, item 51

$$e \quad \sigma_C = \frac{\sum_{i=1}^N \sigma_{ci}}{N} \quad \text{tensão média experimental}$$

- Tensão básica de compressão na madeira normal às fibras, sobre a área projetada do parafuso;

$$\bar{\sigma}_N = 0.045 \bar{\sigma}_C = 0.25 \bar{\sigma}_P \quad \text{item 67.a)-II da NBR-7190/82}$$

- Limite de Escoamento mínimo especificado para o aço do parafuso :

$$\sigma_e = \quad \text{item 67.a) III da NBR-7190/82}$$

De acordo com o item 67b, sub-item I, a força admissível, por parafuso, de uma peça principal de madeira, interligada por duas peças laterais metálicas, será calculada de acordo com as fórmulas que seguem :

Força admissível paralela às fibras:

$$F_p = \bar{\sigma}_p w b \delta \quad [\text{Kgf}]$$

sendo : b = a espessura da peça principal de madeira, medida na direção do eixo do parafuso, em cm;

$\delta$  = o diâmetro do parafuso em cm;

$$w' = 59 \frac{\sigma_e \delta^2}{\bar{\sigma}_p b^2}$$

Para  $w' \leq 33.3$

$$w = \frac{22.6 + 0.63 w' + 0.00575 w'^2}{100}$$

Para  $w' > 33.3$

$$w = \frac{25.0 + 0.75 w'}{100} \leq 1$$

Força admissível normal às fibras:

$$\bar{F}_N = \bar{\sigma}_N w' \eta b \delta \text{ [Kgf]}$$

sendo:  $w' = 26,2 \frac{\sigma_e \delta^2}{\bar{\sigma}_N b^2}$

$\eta$  - coeficiente conforme Tabela I

TABELA I- Valores de  $\eta$

|                                   | Diâmetros em centímetros |      |      |      |      |      |
|-----------------------------------|--------------------------|------|------|------|------|------|
| Diâmetro do parafuso ( $\delta$ ) | 0.62                     | 0.95 | 1.25 | 1.60 | 1.90 | 2.20 |
| Coeficiente $\eta$                | 2.50                     | 1.95 | 1.68 | 1.52 | 1.41 | 1.33 |
| Diâmetro do parafuso ( $\delta$ ) | 2.50                     | 3.10 | 3.80 | 4.40 | 5.00 | 7.50 |
| Coeficiente $\eta$                | 1.27                     | 1.19 | 1.14 | 1.10 | 1.07 | 1.00 |

De acordo ainda com o item 67b, sub-item II, na ligação de uma peça principal de madeira, através de duas peças laterais, também de madeira, tem-se:

- Força admissível paralela às fibras igual a 80% da força calculada de acordo com o item I, visto anteriormente, se considerando, no entanto, valores de b superiores ao dobro da largura das peças laterais.
- Força admissível, normal às fibras, igual à força calculada de acordo com I (2), não se considerando, no entanto, valores de b, superiores ao dobro da largura da peça lateral menos espessa.



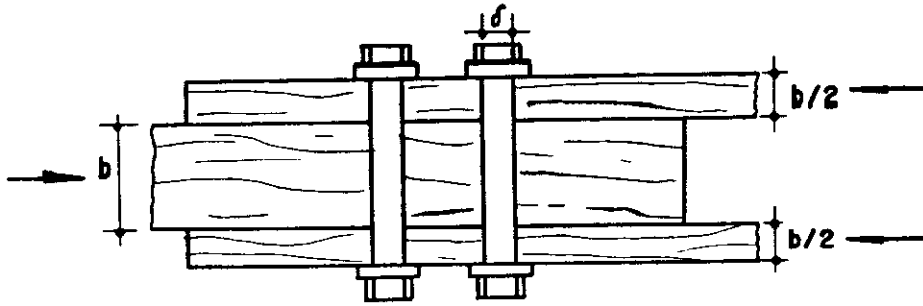
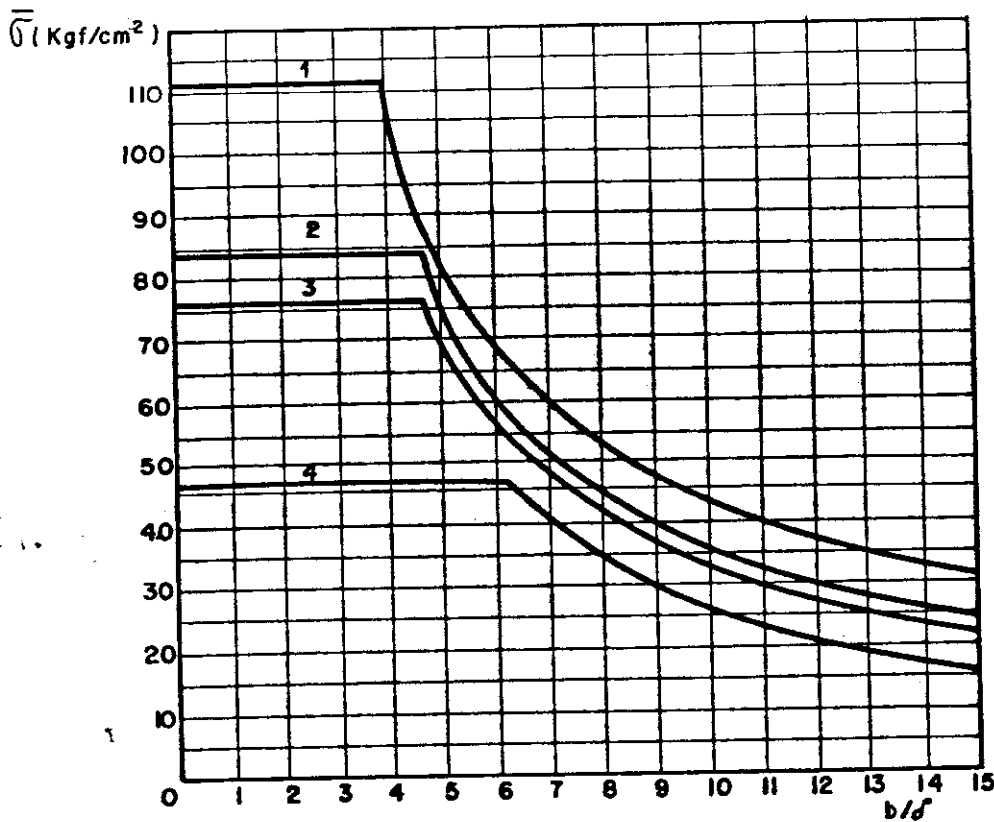
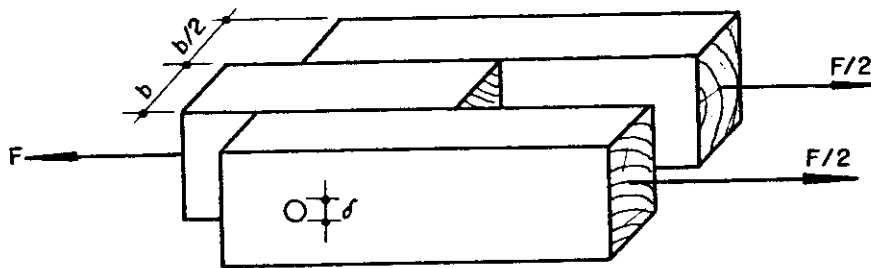


Figura 2- Ligação de uma peça principal de madeira com duas peças laterais também de madeira.



- 1- Ipê ou Ipê amarelo (*Tecoma eximia*)
- 2- Peroba de Campos ou Ipê Peroba (*Paratecoma perobal*)
- 3- Peroba Rosa (*Aspidosperma polyneuron*)
- 4- Pinho do Paraná (*Araucaria angustifolia*)

Figura 3- Tensões admissíveis x relação  $b/d$

A NBR-7190 (1982) apresenta ainda o diagrama, figura 3, no qual estão correlacionados os valores das tensões admissíveis para quatro madeiras brasileiras com os valores da relação  $b/\delta$ .

Leitner (1952) realizou uns dos primeiros trabalhos experimentais no Brasil, relativos à ligação de peças estruturais de madeira, estes feitos com pregos, e utilizando, para seu estudo, madeira de Pinho do Paraná. A ligação por pregos pode ser considerada equivalente à ligação por pinos metálicos.

Stamato & Luchese (1967) apresentaram resultados de revisão teórica, bibliográfica e experimental relativos ao estudo das "Ligações de Peças de Peroba Rosa com Parafusos de Aço".

Neste trabalho são destacadas as ligações por parafusos fortemente apertados, considerando-se o efeito do atrito entre as peças de madeira.

Entretanto, os autores preferiram avaliar o comportamento das ligações parafusadas, considerando a flexão do parafuso em comparação com as ligações semelhantes por pinos de aço.

No trabalho, os autores consideram a comparação entre as ligações com pinos e com parafusos da seguinte forma:

"Nesta fase ensaiaram-se 21 ligações com pinos e outro tanto com parafusos. Todas elas foram solicitadas paralelamente às fibras, fixando-se o diâmetro  $\delta = 3/8"$  e fazendo  $b$  assumir os sete valores que constam da Tab. II. Para cada valor de  $b$  ensaiaram-se três ligações com parafusos e três com pinos.

Nesta série inicial, todos os corpos de prova foram executados com madeira proveniente de uma única peça de Peroba Rosa, de  $6 \times 12 \times 600$ cm, de procedência diversa da tora única, utilizada em todas as séries restantes.

Com os resultados dos ensaios construíram-se curvas esforço  $\times$  deslocamento relativo, a partir das médias das três repetições da ligação com a mesma largura  $b$  (a Fig. 4 mostra exemplos de tais curvas).

Na Tab. II estão anotados, para ligações com pinos e com parafusos três valores particulares da carga (indicados pelo art. 66 da

NB-11 como elementos básicos na fixação do esforço admissível):

$F_{rup}$  = carga de ruptura;

$F_{prop}$  = limite de proporcionalidade;

$F_{1,5}$  = esforço correspondente ao deslocamento relativo de 1,5mm entre as peças ligadas.

As curvas esforço x deslocamento relativo prestaram-se à determinação de  $F_{prop}$  e  $F_{1,5}$ , se bem que tivesse sido difícil definir o limite de proporcionalidade. Em vista da variação gradual e contínua da inclinação da curva, optou-se pela definição convencional de  $F_{prop}$ , mostrada na Fig. 4, tendo em conta a existência de dois trechos quase retos, no início e no fim do carregamento. Pela interseção dessas retas, traçou-se uma paralela ao eixo dos F, até encontrar a curva em um ponto cuja ordenada se convencionou valer  $F_{prop}$ .

TABELA II- Comparação entre Ligações com Parafusos e com Pinos de Aço

|                  |        | b<br>cm | 2,0   | 4,0   | 5,0   | 6,0   | 7,5   | 9,0   | 10,0  |
|------------------|--------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                  |        | b/δ     | 2,1   | 4,2   | 5,3   | 6,3   | 7,9   | 9,5   | 10,5  |
| $F_{rup}$<br>kg  | paraf. |         | 1125  | 2555  | 3145  | 3775  | 3590  | 4825  | 4690  |
|                  | pino   |         | 995   | 1740  | 2040  | 2210  | 2660  | 2910  | 3120  |
|                  |        | %       | 113,0 | 146,8 | 154,2 | 170,8 | 135,0 | 165,8 | 150,3 |
| $F_{1,5}$<br>kg  | paraf. |         | 800   | 1140  | 1110  | 1200  | 1225  | 1210  | 1315  |
|                  | pino   |         | 750   | 1050  | 990   | 1030  | 1140  | 1275  | 1200  |
|                  |        | %       | 106,7 | 108,6 | 112,1 | 116,5 | 107,5 | 94,9  | 109,6 |
| $F_{prop}$<br>kg | paraf. |         | 660   | 1110  | 1150  | 1215  | 1300  | 1415  | 1385  |
|                  | pino   |         | 600   | 950   | 900   | 1050  | 1210  | 1305  | 1500  |
|                  |        | %       | 110,0 | 116,8 | 127,8 | 115,7 | 107,4 | 108,4 | 92,3  |

A Tab. II também contém, expressas em porcentagens, as relações entre o esforço na ligação com parafuso e o valor correspondente na ligação com pino.

Examinando a Tab. II, constata-se que as

porcas e arruelas pouco afetam os esforços  $F_{1,5}$  e  $F_{prop}$ . Tais esforços correspondem à fase em que os deslocamentos relativos são pequenos, só provocando reduzida tração no parafuso e, conseqüentemente, sem acarretar maiores forças de atrito. Nos valores de  $F_{rup}$ , medidos na fase final das grandes deformações, verifica-se acentuada superioridade do parafuso sobre o pino em decorrência das elevadas forças de atrito desenvolvidas."

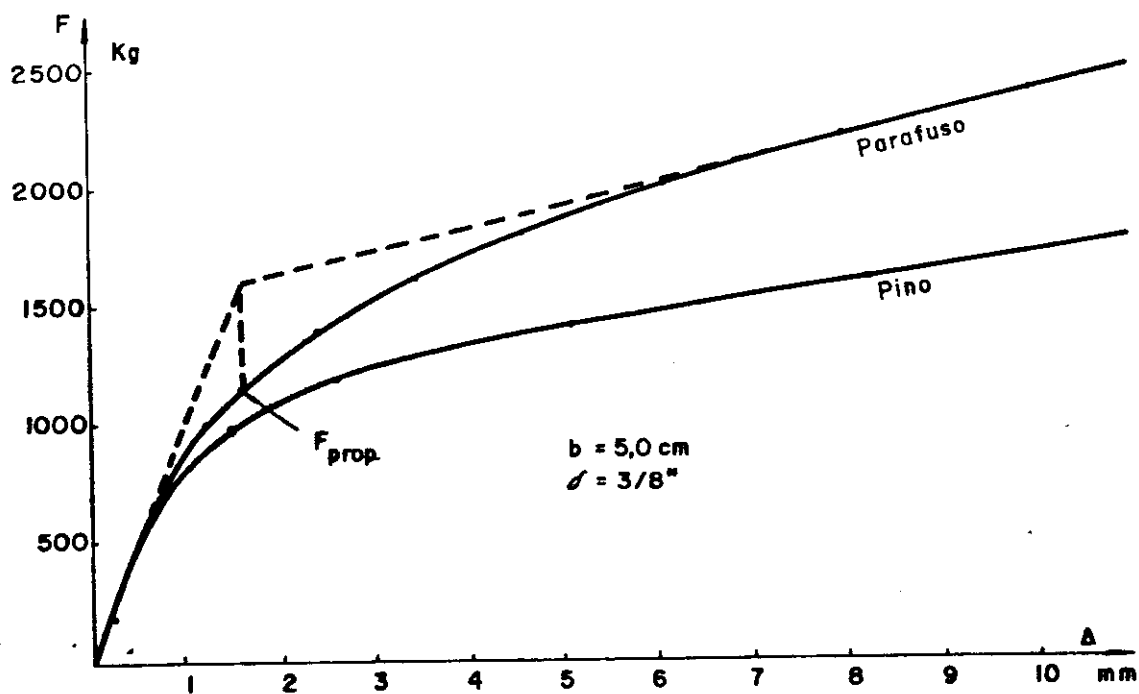


Figura 4- Diagrama de Carga x Deslocamento  
Stamato e Luchese - (1967)

Na figura 5 é apresentado o modelo de corpo-de-prova adotado pelos autores.

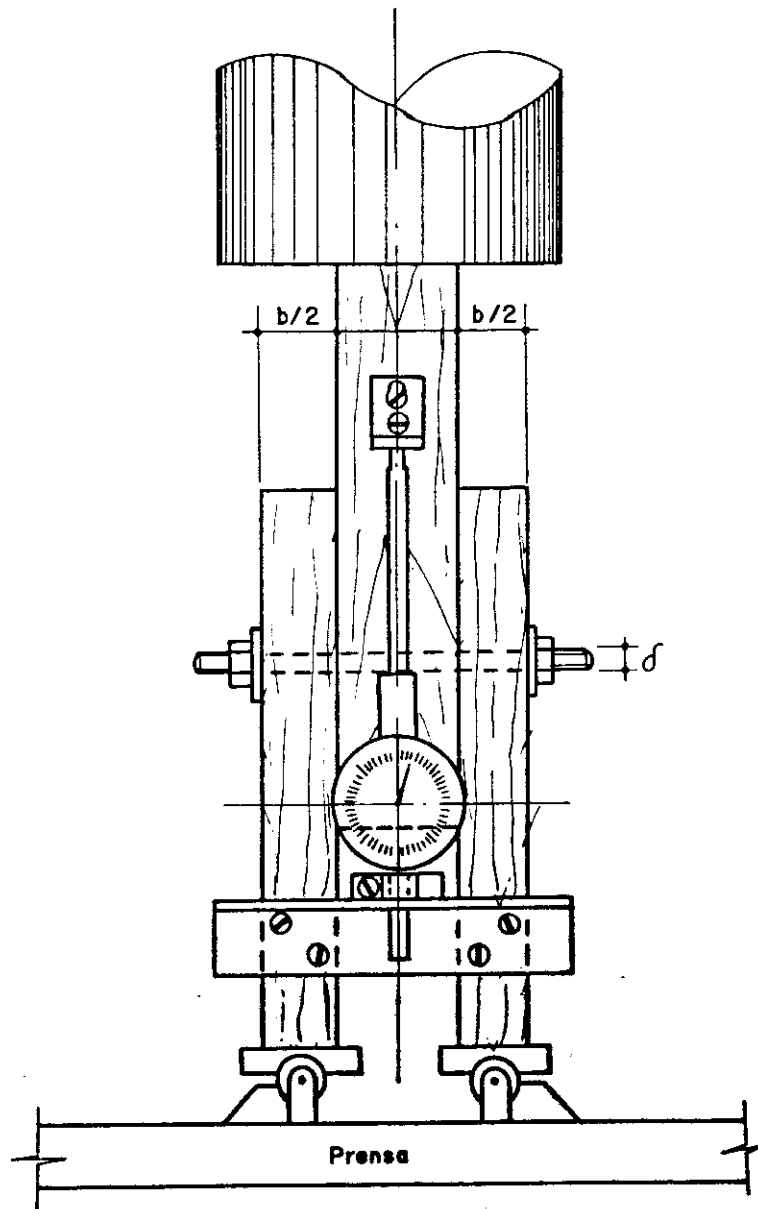


Figura 5- Esquema de montagem para ensaio segundo Stamato & Luchese (1967)

Na Tabela III são apresentados os resultados obtidos por Stamato & Luchese (1967). O primeiro número refere-se ao ensaio de compressão, paralelo às fibras, e o segundo (**negrito**), ao ensaio de compressão normal às fibras:

TABELA III- Resistência de Ligação de Peroba Rosa por  
Pinos e Parafusos - Stamato (1967)

|                                |    | Diâmetro do Parafuso $\phi$ (in) |            |            |              |              |              |              |              |              |
|--------------------------------|----|----------------------------------|------------|------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|                                |    | 1/4                              | 3/8        | 1/2        | 5/8          | 3/4          | 7/8          | 1            | 1 1/8        | 1 1/4        |
| Largura da Peça Central b (cm) | 2  | 95<br>117                        | 143<br>137 |            |              |              |              |              |              |              |
|                                | 3  | 143<br>176                       | 214<br>206 | 286<br>237 | 357<br>268   |              |              |              |              |              |
|                                | 4  | 181<br>235                       | 286<br>275 | 381<br>316 | 476<br>357   | 572<br>398   | 667<br>438   |              |              |              |
|                                | 5  | 181<br>272                       | 357<br>343 | 476<br>394 | 595<br>446   | 714<br>497   | 833<br>547   | 952<br>597   |              |              |
|                                | 6  | 181<br>272                       | 408<br>412 | 571<br>473 | 715<br>536   | 857<br>596   | 1000<br>656  | 1143<br>716  | 1286<br>780  | 1429<br>839  |
|                                | 8  | 181<br>272                       | 408<br>478 | 726<br>631 | 953<br>714   | 1143<br>795  | 1334<br>875  | 1524<br>955  | 1714<br>1040 | 1905<br>1118 |
|                                | 10 |                                  | 408<br>478 | 726<br>732 | 1134<br>893  | 1429<br>994  | 1667<br>1094 | 1905<br>1194 | 2143<br>1300 | 2381<br>1398 |
|                                | 12 |                                  | 408<br>478 | 726<br>732 | 1134<br>1034 | 1633<br>1193 | 2000<br>1313 | 2286<br>1433 | 2572<br>1560 | 2857<br>1678 |
|                                | 14 |                                  |            | 726<br>732 | 1134<br>1034 | 1633<br>1382 | 2223<br>1532 | 2667<br>1672 | 3000<br>1820 | 3333<br>1957 |
|                                | 16 |                                  |            | 726<br>732 | 1134<br>1034 | 1633<br>1382 | 2223<br>1750 | 2903<br>1910 | 3429<br>2080 | 3810<br>2237 |
|                                | 18 |                                  |            |            | 1134<br>1034 | 1633<br>1382 | 2223<br>1774 | 2903<br>2149 | 3674<br>2340 | 4286<br>2516 |
|                                | 20 |                                  |            |            | 1134<br>1034 | 1633<br>1382 | 2223<br>1774 | 2903<br>2212 | 3674<br>2600 | 4536<br>2796 |

$\bar{F}_p$  = nº superior

$\bar{F}_n$  = nº inferior

Tendo mantido o diâmetro dos parafusos constante, e adotado espessuras crescentes para as peças de madeira interligadas, constituindo os corpos de prova, os autores apresentaram a figura seguinte, na qual é destacada a deformação dos parafusos e dos pinos:

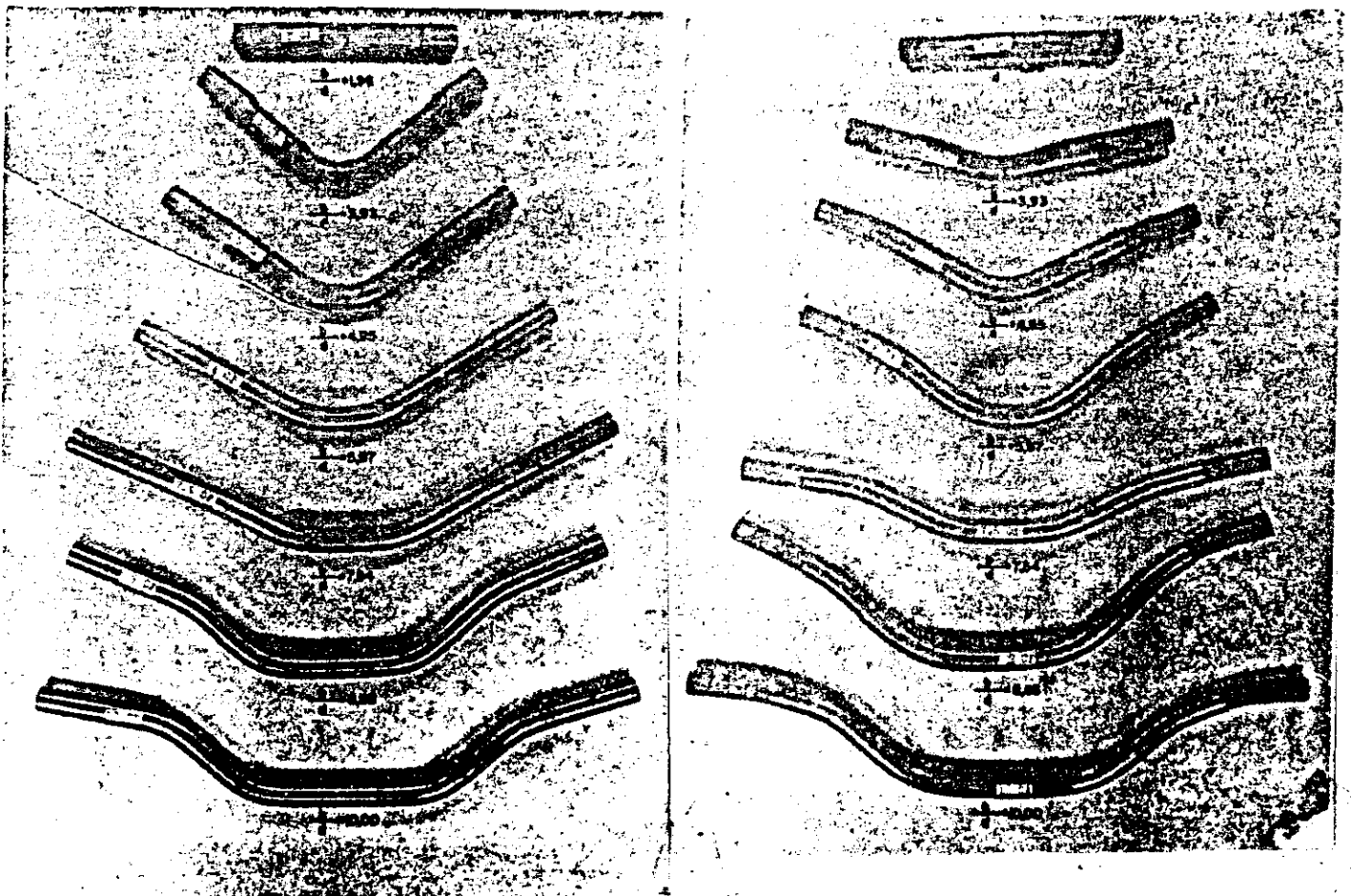


Figura 6- Parafusos e pinos deformados durante os ensaios.  
Stamato & Luchese (1967)

No trabalho seguinte, Stamato, Agostini & Catto (1971) desenvolveram estudo semelhante para Pinho do Paraná e para o Eucalipto Citriodora, tendo por base os ensaios realizados por Trayer (1932) e Scholten (1946).

Os autores adotaram, neste trabalho, parte do estudo de Johansen (1948), referente às deformações dos

parafusos, baseados nos princípios das rótulas plásticas.

Johansen (1949), autor da Teoria das Charneiras Plásticas, apresentou estudo teórico sobre ligações semelhantes às curvas 1,2,3.

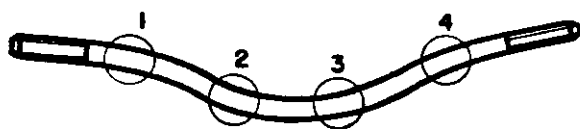
A curva da figura 6, corresponde à ruptura por escoamento uniforme da madeira.

A curva 2, da figura 6, é explicada pela formação de quatro rótulas plásticas nos parafusos, sendo duas centrais girando em um sentido e duas laterais girando em sentidos opostos.

A curva 3, da figura 6, relaciona-se com a formação de apenas duas rótulas, ambas girando no mesmo sentido (Às vezes, essas rótulas são muito próximas e dão a impressão de se confundirem em uma única).

Para as curvas 2 e 3, a madeira "escoa" nas regiões próximas ao contato da peça central, com cada uma das laterais, regiões nas quais as inclinações do parafuso, em relação à sua disposição inicial, são muito acentuadas (para peças de esbeltez média, a madeira do furo pode escoar na região próxima à face externa das peças laterais).

A figura 6 mostra os aspectos dos parafusos deformados para várias relações  $b/\delta$  que traduzem bem as conclusões de Johansen. Do ponto de vista prático e normativo, a curva 3 pode ser substituída pelos prolongamentos das curvas 1 e 2, sem afetar, sensivelmente os resultados, dizem os autores.



- 1- rótulas externas → 1 e 4
- 2- rótulas internas → 2 e 3

Figura 7- Parafuso Deformado



Heilmeister & Takahashi (1972) desenvolveram um dos primeiros trabalhos do LaMEM com respeito à ligação de peças de madeira. Foram estudadas 9 ligações pregadas com madeira de Pinho do Paraná e de Peroba Rosa. No gráfico, a seguir, é mostrado o resultado dos ensaios.

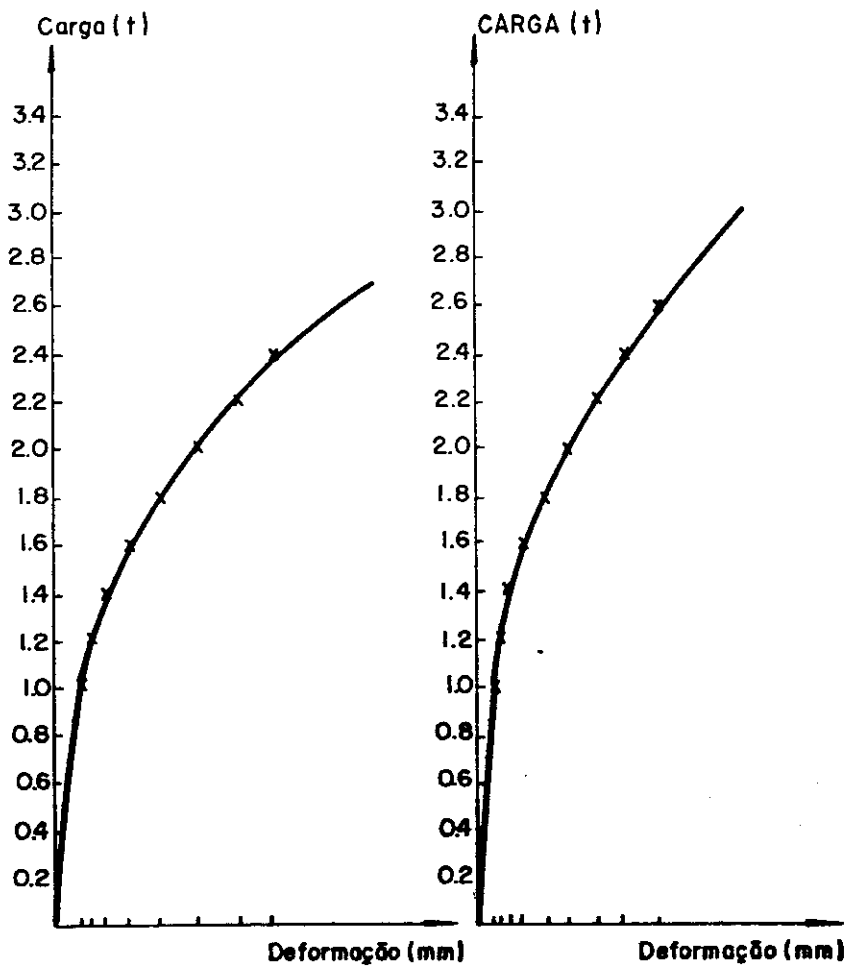


Figura 8- Carga x Deformação segundo Takahashi

Stamato & Piedade (1976) ensaiaram ligações parafusadas usando a Peroba Rosa e parafusos de 1/4", 3/8", 1/2" e 5/8".

Na figura 9 é apresentado o resultado destes ensaios:

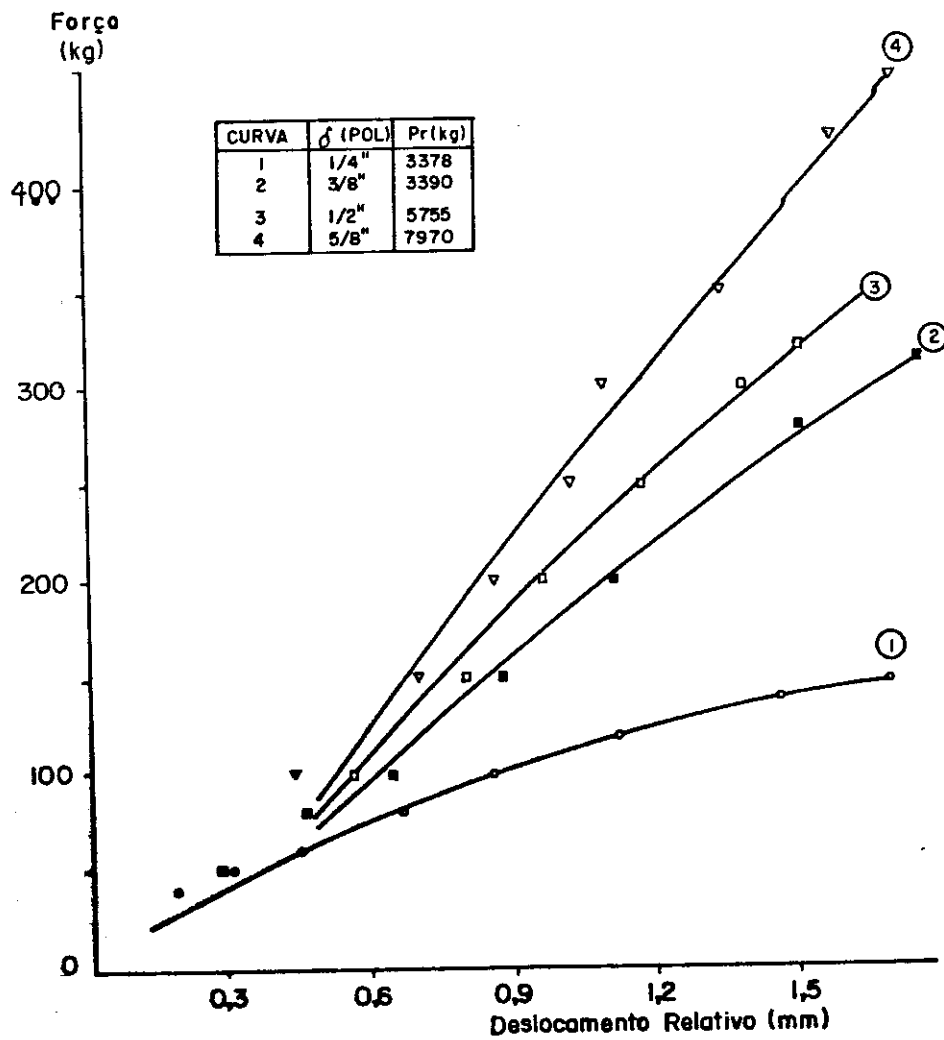


Figura 9- Esforços e deslocamentos relativos em ligações de peças de Peroba Rosa com o Parafuso de Aço Stamato & Piedade - (1976)

A ligação entre peças de madeira de mesmas dimensões, variando o número de parafusos de 3/8" de diâmetro, apresentou os resultados da figura 10.

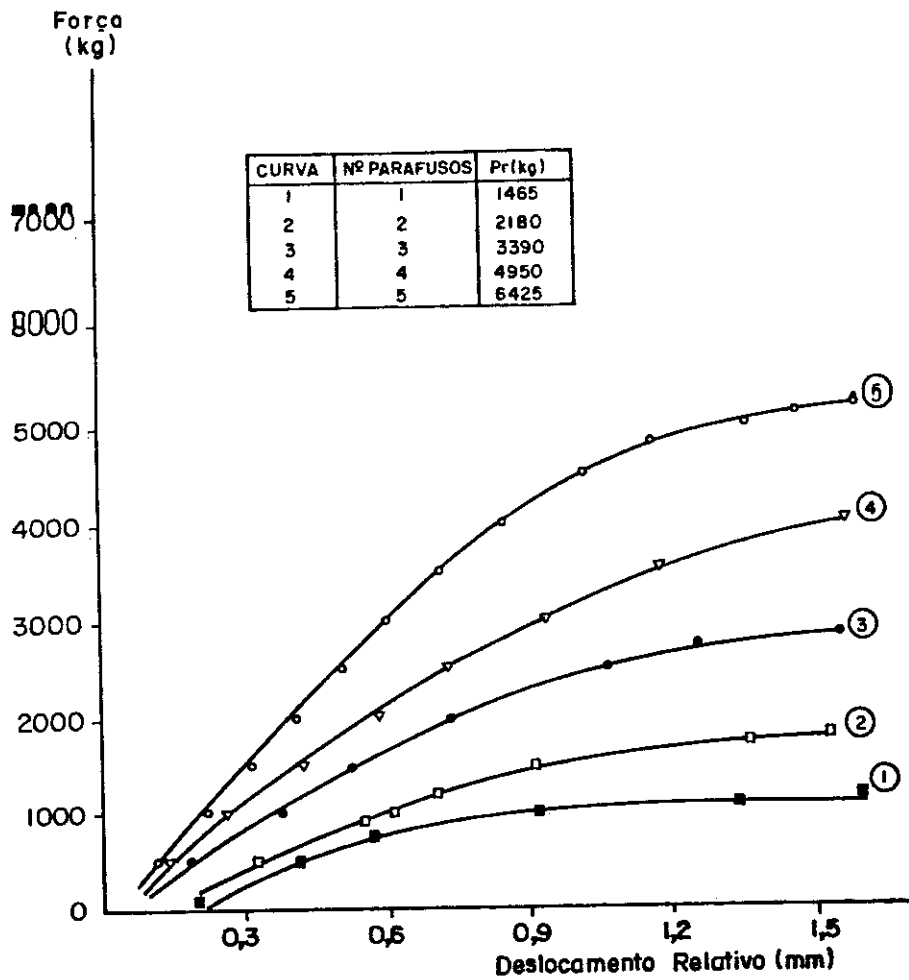


Figura 10- Esforços x deslocamentos, Peroba Rosa e Parafusos de 3/8" Stamato & Piedade (1976)

Outro autor, Thomas (1982), baseou a sua pesquisa, referente às ligações parafusadas, no trabalho de Trayer (1932), e propôs uma fórmula básica para ligações parafusadas com carregamento paralelo às fibras :

$$P = 0.8 K_1 f l d / 2000$$

onde:

- P é a carga cisalhante básica (kN);
- d é o diâmetro do parafuso (mm);
- f é tensão resistente, paralela às fibras da madeira;
- $K_1$  é um fator de correção da tensão resistente paralela às fibras, dependente da razão l/d;
- l é duas vezes a espessura do membro lateral considerado, em (mm).

McLain & Thangjitham (1983) afirmam que um dos maiores problemas na execução de um projeto de madeira é a falta de informação sobre a resistência mecânica da ligação. Enquanto se fazem grandes estudos relativos ao material com propriedades incertas, como é o caso da madeira, esquece-se de focalizar o maior componente estrutural: a ligação.

Os projetos atuais são baseados na extrapolação dos já existentes, resultando projetos tipicamente conservativos com carga de serviço muito abaixo do limite de proporcionalidade da ligação. Esta proximidade tem, geralmente, sucesso quando comparada com a falta de segurança da ligação.

Segundo os autores, o modelo da ligação, com carga admissível, descrito por Larsen (1932) considera a ligação resistente a uma carga externa. Dois efeitos podem ocorrer:

- 1- Efeito do momento fletor no pino;
- 2- Efeito do cisalhamento nos membros de madeira.

Usando várias hipóteses simplificadoras, Larsen (1932) tem mostrado que os diagramas de corpo-livre podem ser feitos com o pino, e o elemento de madeira podendo ser tiradas as seguintes conclusões :

- Os Pinos: aço homogêneos, isotrópicos, são considerados materiais elastoplásticos;

- Os elementos de madeira são homogêneos ortotrópicos e tem elastoplasticidade na direção paralela às fibras;
- O efeito do cisalhamento e do estado de tensão no desenvolvimento dos momentos de plastificação dos pinos são abandonados;
- As tensões sob os pinos são consideradas uniformemente distribuídas, e os pinos devem ser convenientemente justos nos furos;
- A fricção (atrito) entre os elementos de madeira é ignorada;
- A hipótese da elastoplasticidade na madeira é válida para a posição paralela às fibras;
- Finalmente, os pinos são livres para sofrerem quaisquer giros.

Cada curva Carga vs Deslocamentos, para um conjunto de pinos, pode ser identificada como um único dos quatro tipos indicados na figura 12 (McLain - 1983) e são fortes indicações dos mecanismos de ruptura da ligação, figura 11.

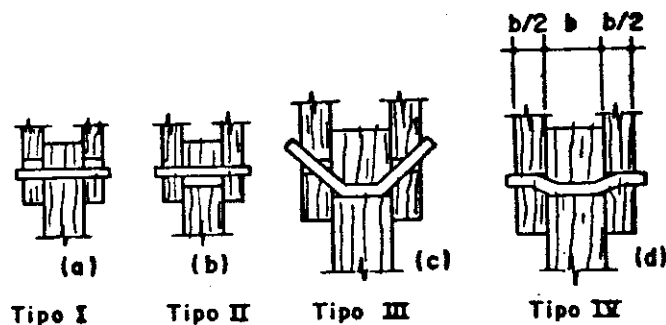


Figura 11- Curvas típicas - Carga x Deslocamento  
McLain (1983)

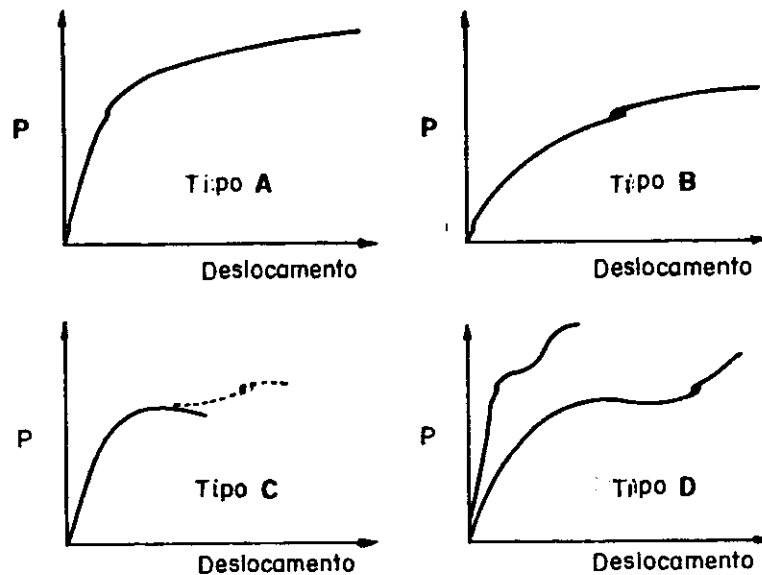


Figura 12- Ruptura de ligações com cisalhamento duplo.  
McLain (1983)

As curvas do tipo A contêm duas grandes regiões, uma linear abaixo do limite de proporcionalidade e uma acima de um ponto pronunciado de inflexão e algumas vezes linear. Às vezes, a curva do tipo A apresentará um máximo de resistência após substancial deformação da ligação e ruptura do tipo III. Um aumento na carga, após esta deformação, pode ser atribuído a um aumento no atrito entre as peças de madeira. Os parafusos começam a funcionar como molas e acarretam um aumento das forças de compressão entre as peças.

A curva do tipo B é uma curva típica de cisalhamento simples, não apresentando linearidade nem inflexão. Na continuação, a carga máxima corresponde a uma grande deformação.

A curva do tipo C indica ruptura da madeira, uma região linear e um ponto máximo. A ruptura é similar a uma ruptura dúctil da madeira na compressão.

A curva D é um híbrido dos três tipos e pode ter

ou não um trecho linear ou um ponto de máximo. É caracterizada por vários pontos de inflexão, indicando claramente o escorregamento do pino, o crescimento do atrito e a fixação das pontas do parafuso.

Em outra pesquisa, de Aune & Patton-Mallory (1986), a carga lateral última de uma ligação pregada de madeira, com dois elementos, pode ser derivada do uso da teoria da deformação, na qual se assume a plasticidade da madeira e dos pinos.

Esta teoria, existente desde 1940, é comumente usada na Europa, através de um conjunto de critérios para projetos de ligações pregadas.

A validade do método vem sendo confirmada por investigação experimental, por Aune (1986), Meyer (1957), Möeller (1950), Siimes e outros (1954).

Em vários países Europeus (CIB 1983), os valores codificados para a capacidade de carga são baseados na teoria da deformação.

O uso da Teoria da Deformação, por escritores de normas e pesquisadores, na América do Norte, promove adoção internacional de um método consistente e uniforme para análise das ligações que contêm pregos e parafusos ou pinos.

Embora o uso de pregos seja relatado, na história antiga, somente após o desenvolvimento das indústrias de pregos, nos últimos 100 anos, estes começaram a tornar-se o elemento mais comum na construção da casa de madeira, nas construções estruturais de madeira, e nas ligações de madeira de todos os tipos.

Métodos avançados de projetos de engenharia mostraram a necessidade de pesquisa relacionada ao comportamento das ligações e dos projetos de ligação.

Os testes, sobre ligações pregadas, foram investigados por Wilkinson (1917) no Forest Products Laboratory, Madison, Wisconsin, USA.

Desde 1941, a Teoria da Deformação, originada no trabalho do cientista Danish K. W. Johansen, foi utilizada pelo mesmo para analisar as ligações apropriadas para ma-

deira (Johansen, 1941).

Oito anos mais tarde, Johansen publicou várias versões dos seus trabalhos originais, em inglês (Johansen, 1949).

Algumas de suas pesquisas, relativas às ligações pregadas, não foram terminadas e, por vários anos, os resultados pesquisados não foram publicados; eventualmente Larsen (1977) tinha completada e publicado esses trabalhos.

Referindo-se aos estudos das ligações parafusadas, Johansen concluiu que o comportamento da ligação é composto por dois "efeitos" :

- 1- O "efeito do fuste" do parafuso, o qual depende da resistência do parafuso à flexão, e da resistência da madeira ao esmagamento;
- 2- O "efeito da tração", no parafuso, o qual depende da resistência deste parafuso à tração e da presença do atrito em elementos da ligação.

Johansen analisou, detalhadamente, as ligações cavilhadas e admitiu a existência de uma força axial no pino, e a não contribuição do atrito, na capacidade de carga lateral. Ele admitiu também a relação tensão-deflexão na cavilha flexionada e também o embutimento (embedding) na madeira, como sendo todos idealmente plásticos.

Baseado nesta experiência, Johansen obteve a capacidade de carga de esmagamento para o cisalhamento simples e duplo das ligações.

As expressões são mais simples, e cada uma está relacionada para um modo particular de ruptura. Ele verificou as hipóteses e as fórmulas a partir de ensaios.

Möeller (1950) aplicou a Teoria Básica da Deformação às ligações pregadas ao cisalhamento simples e duplo de Johansen. Mais tarde, Siimes et alii (1954), Mark (1960) e Aune (1966), verificaram experimentalmente a Teoria da Deformação para ligações pregadas. Meyer (1957) discutiu o efeito do atrito; a contribuição do atrito não é usualmente considerada no projeto da ligação.

Larsen e Reestrup (1969) investigaram a ligação



com parafusos auto-atarrachantes (lag screws). Eles encontraram condições no carregamento lateral de uma ligação com parafusos auto-atarrachantes diferentes de uma ligação com parafusos sextavados. Esta diferença está nos diferentes valores de embutimento ao longo dos parafusos.

Norén (1974) sumarizou as fórmulas para diferentes tipos de ligações em madeira que foram desenvolvidas até então. Larsen (1973) ofereceu suporte racional para o uso da Teoria da Deformação em normas escandinavas.

Later (1979) relatou os antecedentes teóricos e as aproximações para as ligações pregadas apresentadas para o CIB - Structural Timber Design Code (1983).

Mais recentemente, McLain e Thangjitham (1983) revisaram a teoria da deformação quanto a sua aplicação às ligações, segundo as práticas americanas de construção. Nas suas análises incluem um modelo modificado com a finalidade de ensaiar ligações parafusadas.

O segundo objetivo da pesquisa de Aune & Patton-Mallory (1986) foi comparar, através de ensaios, as disposições da American Society for Testing and Materials (ASTM D1761) com os da Nordtest Method.

Relataram as observações sobre a rigidez e a resistência das ligações com dois elementos (ASTM D1761), e três elementos (Nordtest) (1981).

A Teoria da Deformação dá origem a um método de análise de ligações pregadas, usando a contribuição da ciência dos materiais.

As propriedades requeridas para uma análise são: a resistência de embutimento da madeira e o momento de deformação do prego.

O Nordtest (1981) especifica que a resistência de embutimento é determinada a partir de um ensaio, no qual o embutimento do prego é de no mínimo 0.1 de polegada até a profundidade do diâmetro do prego.

A tensão de embutimento, na madeira sólida, é, aproximadamente constante acima de uma certa deflexão.

Assim sendo, a adoção da plasticidade para madeira sólida parece apropriada, segundo Aune & Patton-Mallory (1986).

Em 1986 em Florença, houve um encontro relativo às ligações, o CIB-W18/IVFRO - Wood Engineering Group. Os artigos abrangentes apresentados descreviam os resultados de uma investigação conduzida pelo TRADA, visando as ligações pregadas e parafusadas, as aplicações dos dados obtidos e a dedução das equações de projetos, para o Eurocode 5.

Foram analisados mais de 400 ensaios de ligações, realizados pelo TRADA, apresentados como comprovantes da precisão das propostas.

Outro trabalho de Soltis e Wilkinson (1987). Nele, o parâmetro básico de resistência da madeira, que determina a capacidade de carga da ligação com pregos, parafusos, pinos, ou qualquer outro tipo de elemento de ligação, é a resistência de embutimento.

A resistência e a rigidez de uma ligação, com um só parafuso, dependem, fisicamente, das propriedades geométricas dos elementos de madeira e do parafuso. As propriedades dos elementos que incluem as mesmas, são: a espessura dos elementos, tipo dos elementos laterais, espécie da madeira, umidade contida e direção da aplicação das cargas em relação à direção das fibras.

As propriedades dos parafusos incluem o diâmetro e a tensão de deformação do aço. As propriedades geométricas incluem a tolerância de fabricação para os pinos do parafuso, espaçamento, distância das bordas e das extremidades da ligação.

Além deste, a rigidez de uma ligação, com vários parafusos, depende do número de parafusos numa mesma linha, do espaçamento, da distância das bordas e das extremidades das filas, da simetria ou assimetria. Os outros fatores que afetam as ligações com um só parafuso ou com vários parafusos são sua duração e velocidade de carga, ou o tratamento preservativo contra fogo.

Durante os últimos 60 anos, vários estudos sobre

ligações parafusadas têm sido concluídos. Em cada estudo tendo sido pesquisada uma ou várias propriedades que afetam o comportamento das ligações.

A comparação destas pesquisas é difícil, pois os estudos abrangem propriedades diferentes.

O único modelo que descreve a resistência de uma ligação com um parafuso é a Teoria Européia da Deformação, criada por Johansen (1949).

McLain e Thangjitham (1983) examinaram esta teoria, usando ligações parafusadas com cargas paralelas às fibras, e encontraram concordância entre os valores previstos e os valores observados. Soltis e outros (1986) encontraram concordância entre os valores previstos e os observados para cargas paralelas e perpendiculares às fibras.

Três tipos de análises têm sido usadas nas pesquisas relativas às ligações com parafusos: Mecânica Básica, Elementos Finitos e Análise da Ruptura Mecânica.

Às vezes, os Elementos Finitos e a Análise da Ruptura Mecânica são combinados.

Os métodos da Mecânica Básica sugerem que se usem um fator de mudança para a distribuição da carga entre os parafusos de uma mesma fila.

Isyumov (1967) modelou elementos ligados e ligações parafusadas de madeira, como uma série de molas lineares e não lineares, e usou uma matriz de flexibilidade para fazer sua análise.

Isyumov avaliou sua análise testando parafusos em combinação com conectores e placas cisalhantes.

Cramer (1986) desenvolveu uma Análise Mecânica baseada na rigidez elástica das partes utilizadas, a distribuição não uniforme de tensões nos elementos conectados, e o módulo de deslocamento das ligações. Ele incluiu, na sua análise, a deformação causada pela flexão do parafuso.

Lantos (1969) desenvolveu sua pesquisa a respeito e assumiu que a distribuição das tensões é uniforme nos

elementos. Este trabalho não foi feito experimentalmente.

Hirai e Sawada (1) (1982) estudaram a influência dos espaçamentos e a influência das distâncias laterais dos parafusos.

Para Hirai e Sawada (2) (1982), a teoria de viga apoiada em base elástica é aplicável aos parafusos das ligações em madeira.

Tsujino e Hirai (1983) também desenvolveram pesquisas de ligações parafusadas com cobrejuntas metálicas, usando o método dos elementos finitos. Obtiveram uma equação de rigidez, considerando o parafuso como uma viga apoiada em base elástica. Para verificar a validade da expressão proposta, as curvas carga-deformação foram comparadas com resultados experimentais, concluindo-se serem compatíveis os valores teóricos e os experimentais. (Figura 13)

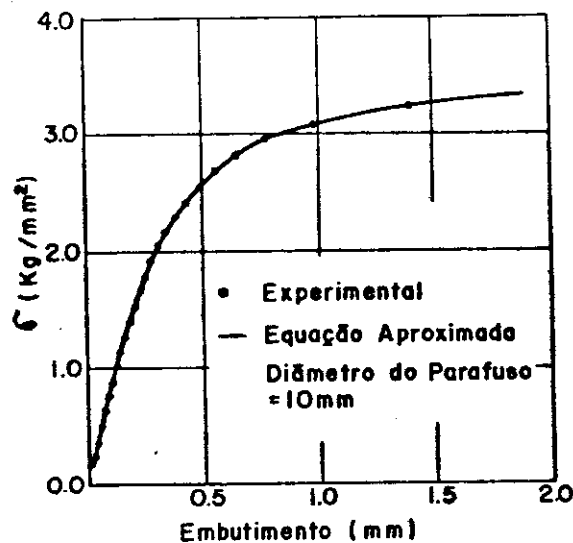


Figura 13- Resultados teóricos e experimentais  
Tsujino & Hirai (1983)

Jemmer e Lessner (1989), fizeram uma análise das normas internacionais e uma proposta, valendo-se da

capacidade de carga das ligações para peças de madeira de acordo com o método do estado limite último.

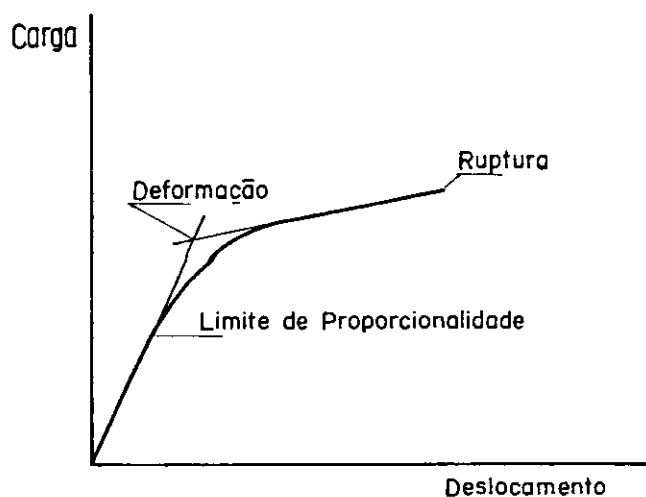


Figura 14- Curva esquemática da carga resistente da ligação de 3 elementos portantes

Também publicaram trabalhos, nesta área, os autores Laurence A. Soltis, Finnk Hubbard, Thomas L. Wilkinson (1986).

A curva mostrada na figura 14, foi obtida para cada um dos 195 ensaios paralelos às fibras. Para cada par "carga deslocamento" o limite proporcional de resistência e deslocamento, bem como a deformação e a resistência de ruptura, foram determinadas.

O limite de proporcionalidade é definido como um ponto onde a curva da carga vs deslocamento tornam-se não lineares. A resistência suporte de deformação é definida como uma carga na interseção das tangentes das partes: linear e não linear da curva.

A última curva de suporte é definida como uma carga de deformação de 0,6 polegadas (15,2mm) ou a ruptura, onde ocorrer primeiro, diz Soltis, Hubbard e Wilkinson (1986).

Em outro trabalho, nesta linha de pesquisa, o autor Almeida (1987), faz referência à relação entre a resistência ao esmagamento local, devido à pressão lateral do prego sobre a parede do furo, e a resistência à compressão paralela às fibras da madeira.

A resistência ao esmagamento local da madeira pela haste do prego foi designada por Mack (1960) como resistência de embutimento, e calculada em função da Carga Última por unidade de comprimento do prego. Mack (1960) chegou à conclusão de que o diâmetro do prego, e a espessura das peças de madeira que compõem a ligação têm influência na rigidez e na resistência última da ligação.

Call & Bjorhovde (1990) relatam, em suas pesquisas, que a madeira, embora usada há muito como material estrutural, ainda apresenta problemas relativos ao comportamento e à resistência da estrutura, e seus componentes estão ainda por ser resolvidos. Por exemplo, rupturas de ligações com pinos (pregos ou parafusos) de grande diâmetro, têm sido estudadas por Soltis e Wilkinson (1987).

Almeida (1990) desenvolveu um projeto das uniões (ligações) baseado em critérios que consideram o comportamento elasto-plástico das uniões pregadas e parafusadas, conforme figura 15 :

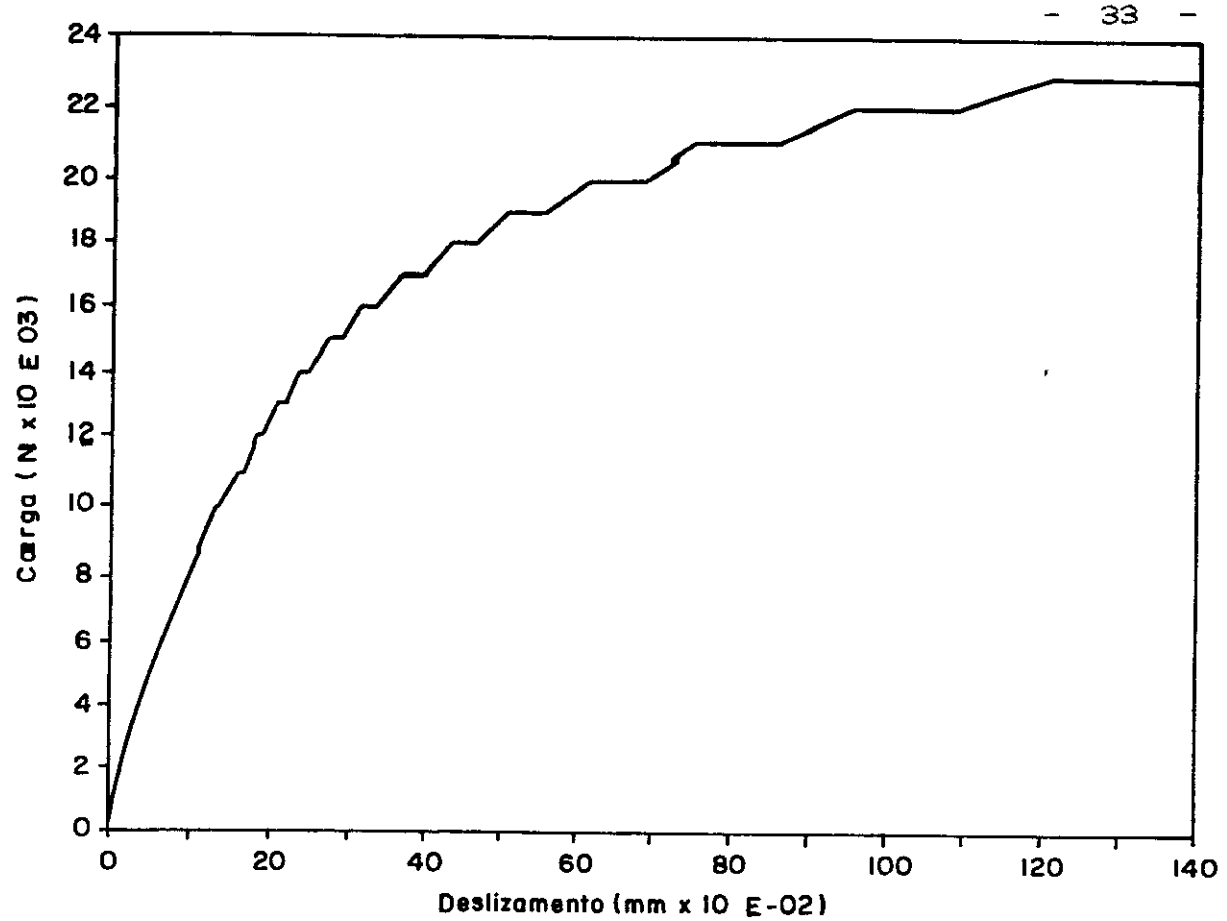


Figura 15- Carga x deslizamento

- Almeida (1990) definiu vários tipos de ruptura:
- Ruptura por Plastificação dos Pinos;
  - Ruptura por Embutimento do Pino na Madeira;
  - Ruptura por Cisalhamento;
  - Ruptura por Fendilhamento.

Almeida (1990) fez referência aos modos de ruptura considerados pelo Eurocode 5, que são baseados no trabalho de Johansen (1949), sobre a teoria de ruptura das ligações de peças de madeira.

- Esse autor considera ainda dois estados limites:
- Estados Limites de Utilização ;
  - Estados Limites Últimos.

No item 6.4, de seu trabalho, Almeida (1990) definiu a Resistência de Embutimento, como sendo a pressão de contato aplicada pelo pino à parede do furo da peça de madeira, causando um estado múltiplo de tensões, na região entorno do furo, que tende a embutir o pino na madeira.

No item 6.4.3, do mesmo trabalho, Almeida (1990)

salientou que como o estudo sistemático da resistência das ligações à tração normal é recente, não se dispendo de resultados suficientes para uma análise mais ampla, determina-se o valor limite, em função da razão entre a resistência de embutimento e a resistência à compressão, ambas na mesma direção, em relação às fibras.

O método usado pelo Eurocode 5, (1988) para cálculo de verificação da resistência das ligações pregadas e parafusadas é baseado na resistência de embutimento. Para isso, foram aceitos os trabalhos de Johansen, 1949, Whale & Smith, (1986), nos quais a resistência de embutimento foi relacionada com a densidade média das madeiras.

Almeida (1990) descreveu os esforços atuantes na madeira e nos pinos de uma ligação estrutural.



### CAP3- MATERIAIS

A madeira pode ser analisada, em primeira aproximação, pelas suas características gerais, ficando, para estudo posterior, a avaliação das características peculiares às várias espécies de madeira.

Da árvore à madeira.

A árvore se compõe de raiz, caule e folhas. O caule de muitas árvores apresenta características peculiares, altamente interessantes para sua utilização na construção em geral.

O crescimento do caule se processa através de camadas concêntricas e sucessivas, ao longo de sua existência.

O corte transversal de um tronco de árvore permite avaliar sua estrutura macroscópica, figura 16.

#### Legenda da Figura 16

- A- Câmbio: camada microscópica, formada pelas células de madeira e pela casca;
- B- Floema: parte interna da casca, condutora de seiva elaborada das folhas até as raízes;
- C- Carga externa: formada por tecidos mortos; protege o tronco de injúrias externas
- D- Alburno: parte externa do lenho; conduz a seiva bruta das raízes para as folhas. Apresenta madeira mais clara, menos densa, mais permeável, menos resistente;
- E- Cerne: parte interna do lenho, é formado por mudança gradual do alburno; dá sustentação para a copa. É madeira mais escura, mais densa, menos permeável, mais resistente;
- F- Medula: tecido leve em torno do qual se formam as camadas sucessivas de crescimento da madeira;
- G- Raios medulares: interligam as camadas de crescimento da casca até a medula, para condução e armazenamento de seiva elaborada;

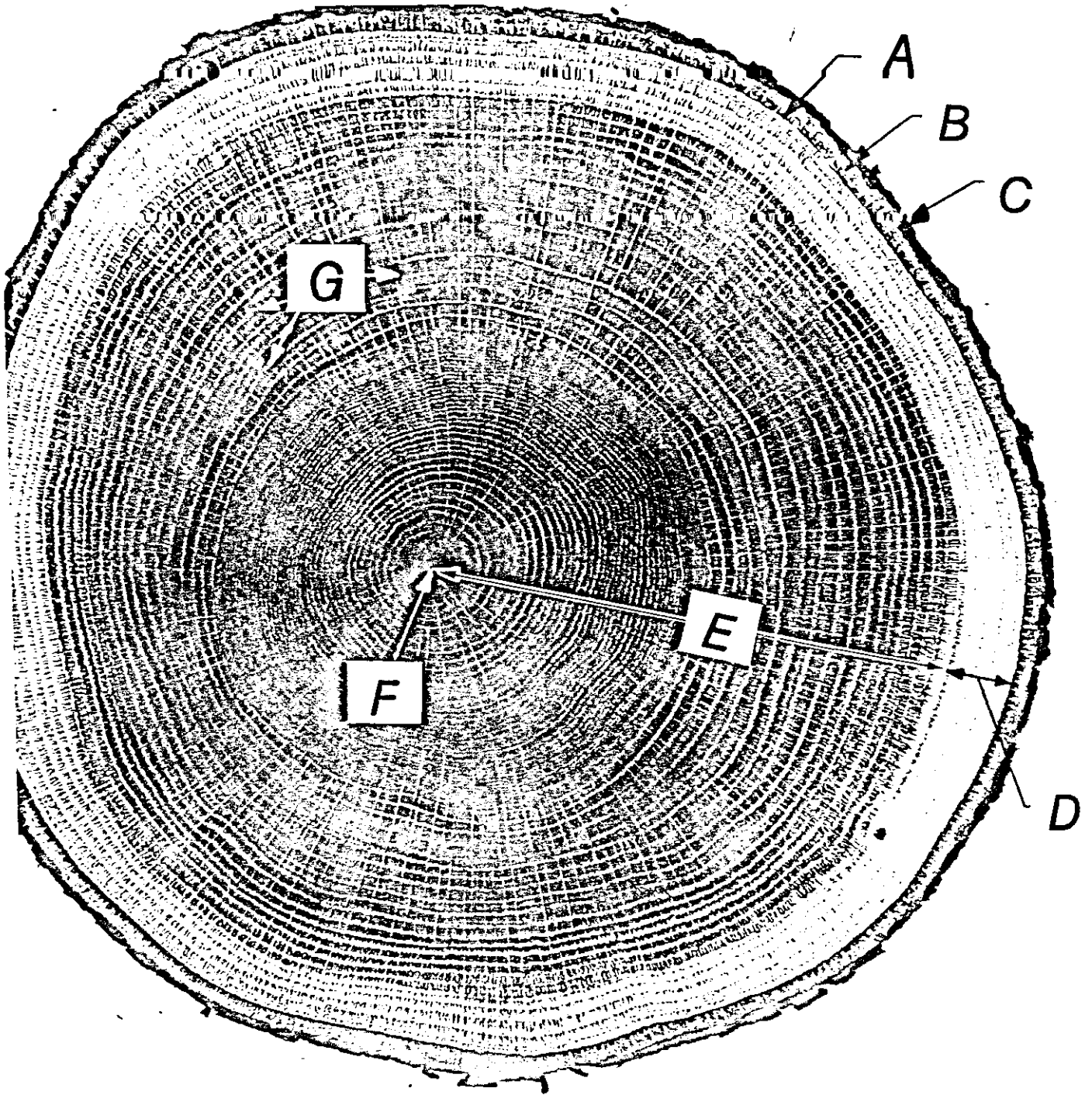
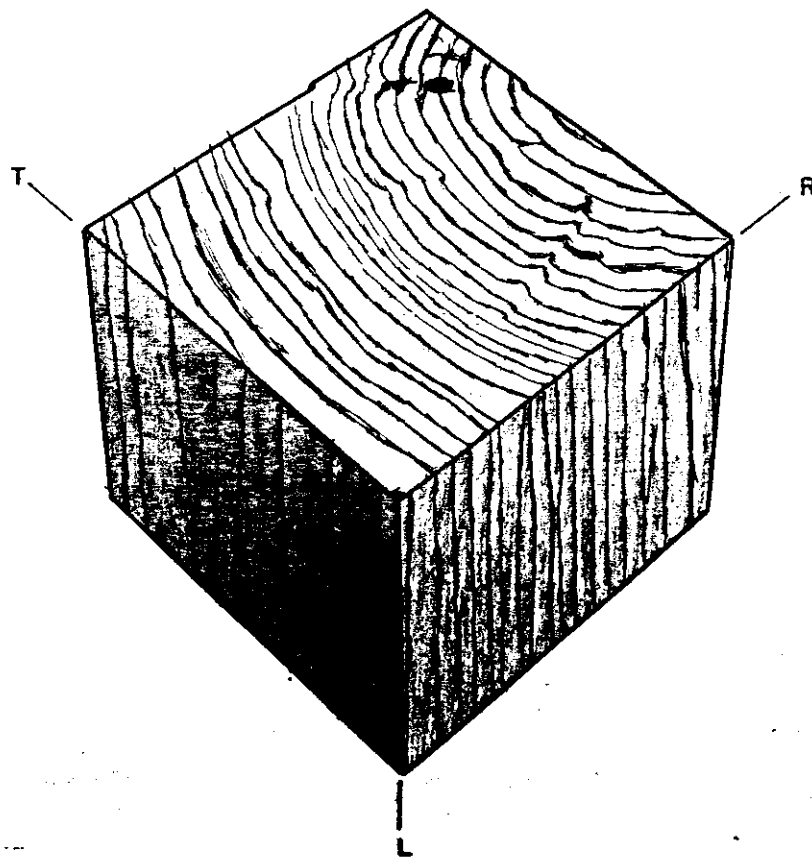


Figure 10 - Corte Transversal de una arvore.

A formação típica do lenho traz como resultado a natureza anisotrópica peculiar da madeira.

Apesar da forma circular das camadas do tronco, uma peça de madeira apresenta três planos de simetria perpendiculares entre si, permitindo a Hearmon (1948) definir o comportamento ortotrópico da madeira.



Direções:

- R- radial
- T- tangencial
- L- Axial ou Longitudinal

Figura 17- Cortes Transversal e Longitudinal da Madeira

A direção tangencial é tangente às camadas de crescimento normal dos raios medulares.

A direção axial é paralela à direção das fibras da madeira.

A direção tangencial é normal às camadas de crescimento.

Para a realização dos ensaios, optou-se pela utilização de peroba rosa (*Aspidosperma polynneuron*) em peças de dimensão nominal 6 x 12 (cm) disponíveis no Laboratório de Madeiras e de Estruturas de Madeira (LaMEM).

Foram escolhidas 5 (cinco) vigas de madeira de densidades diferentes de 0,58 a 0,75g/cm<sup>3</sup>, secas, ao ar livre, e com umidade em torno de 12%, como foi determinada nos ensaios.

De cada viga, foram retirados 3 (três) corpos-de-prova para os ensaios de ligação. Utilizaram-se para isso, parafusos de 1/4" (0,63cm), de 1/2" (0,127cm) e de 3/4" (1,90cm).

Os corpos-de-prova foram cortados de acordo com o esquema apresentado a seguir na figura 18:

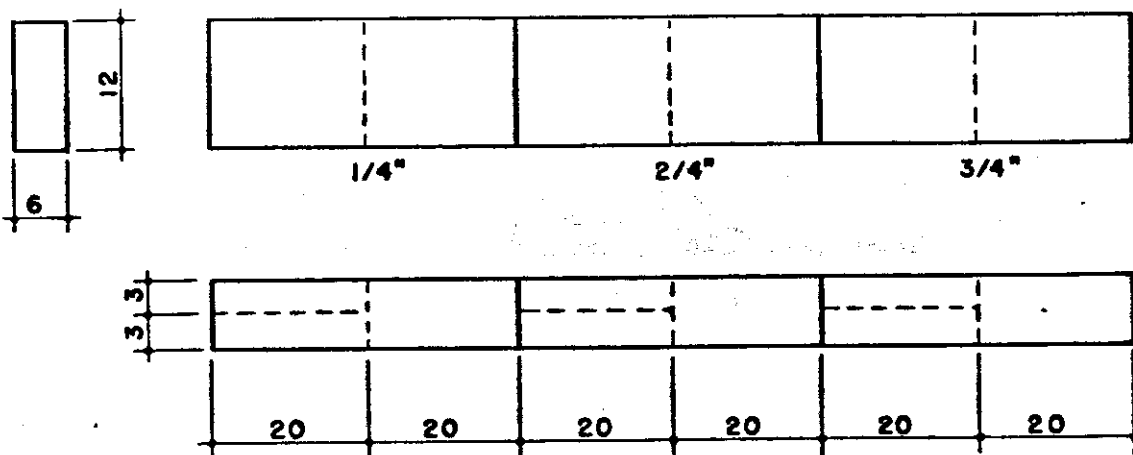


Figura 18- Detalhe da retirada dos corpos-de-prova

Os corpos-de-prova, assim cortados, foram aparelhados e furados com brocas de diâmetro igual ao dos parafusos, e montados conforme representação a seguir nas figuras :

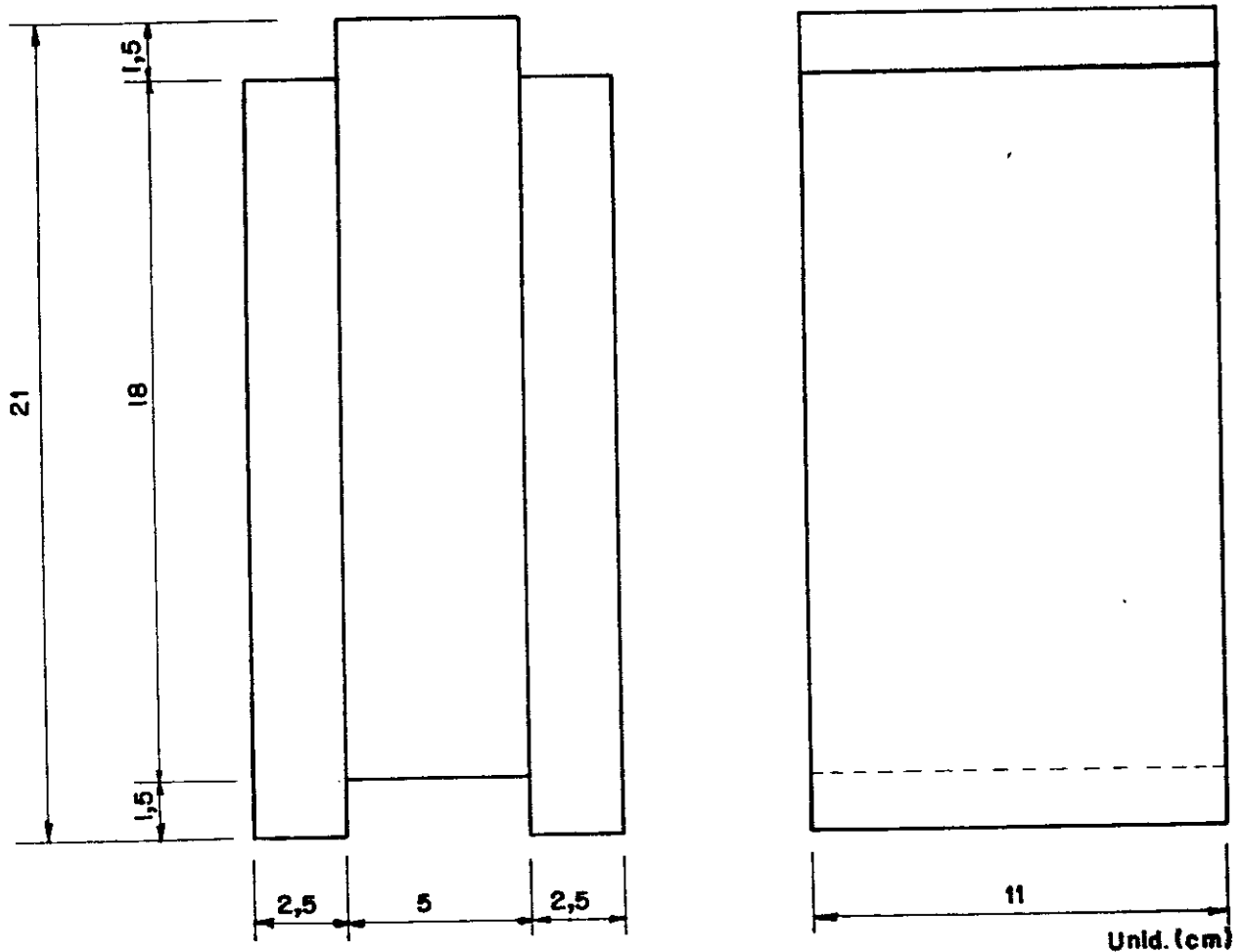


Figura 19- Modelo do corpo-de-prova

Para se obter capacidade de carga semelhante, a ligação das peças de madeira foi feita utilizando-se 18 parafusos de 1/4", 9 parafusos de 1/2" e 6 parafusos de 3/4".

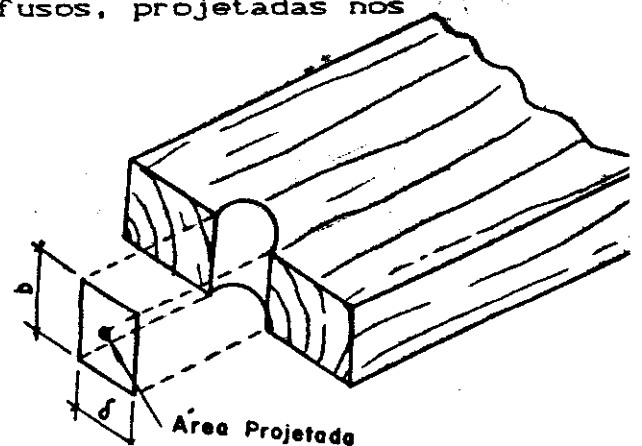
As áreas de contato dos parafusos, projetadas nos três casos são equivalentes.

De fato:

$$18 \times 0,635 \times 5 = 57,15 \text{ cm}^2$$

$$9 \times 1,27 \times 5 = 57,15 \text{ cm}^2$$

$$6 \times 1,90 \times 5 = 57,15 \text{ cm}^2$$



Os espaçamentos dos parafusos deveriam atender aos limites apresentados pela NBR-7190/82.

Para os ensaios, aqui programados, os resultados foram os elementos constantes da figura seguinte:

1º Corpo-de-prova

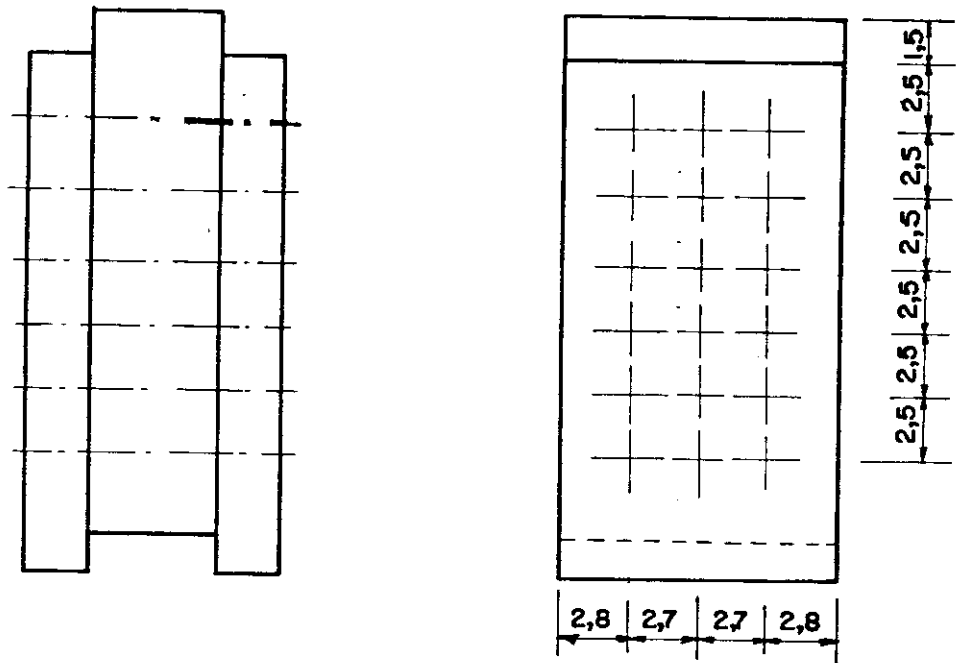


Figura 20- Modelo do corpo-de-prova com 18 parafusos de 1/4"

2º Corpo-de-prova

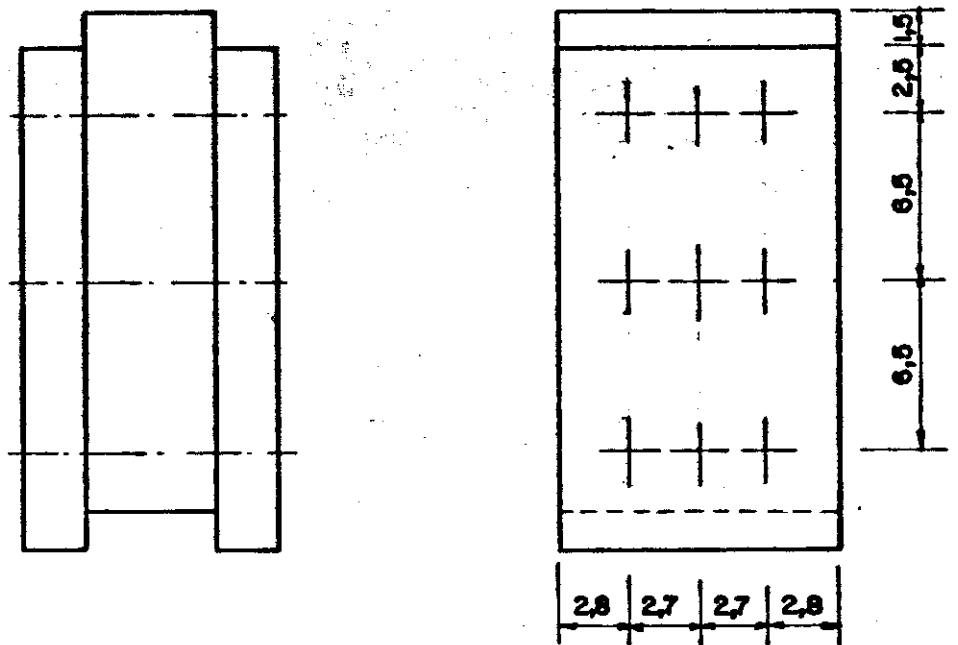


Figura 21- Modelo do corpo-de-prova com 9 parafusos de 1/2"

### 3º Corpo-de-prova

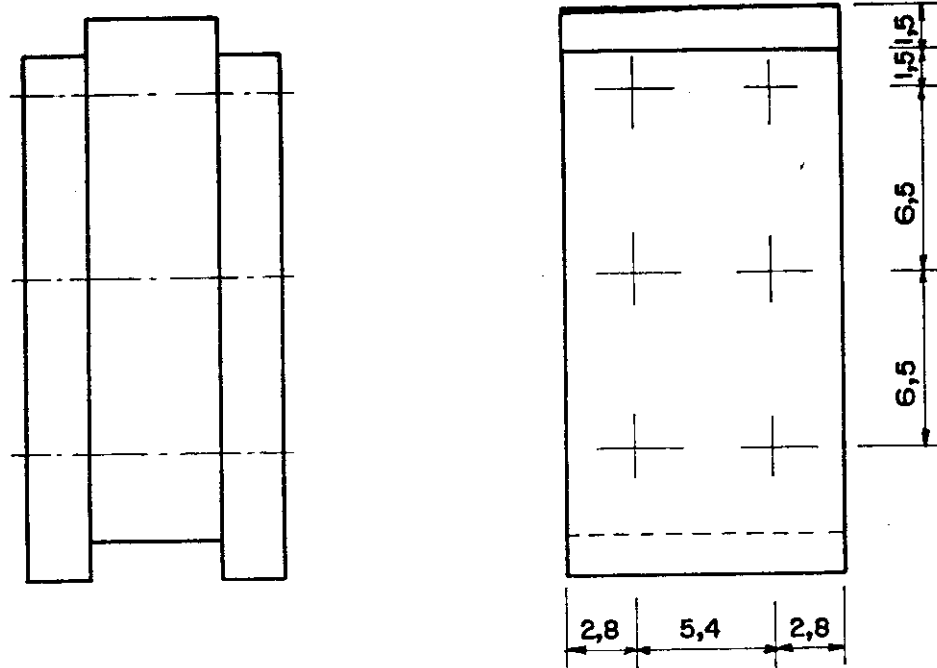


Figura 21- Modelo do corpo-de-prova com 6 parafusos de 3/4"

Foram utilizados parafusos torneados no LaMEM, com aço comum SAE 1020, CA50; arruelas e porcas sextavadas, com aço comum SAE 1020, existentes no comércio.

A figura 23 mostra os tipos de parafusos.

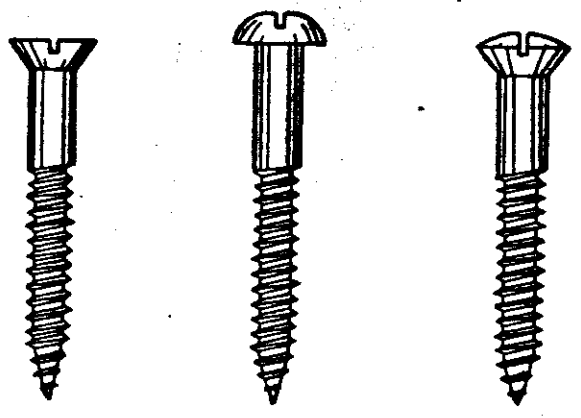
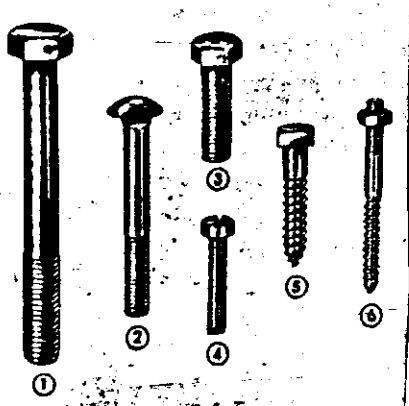
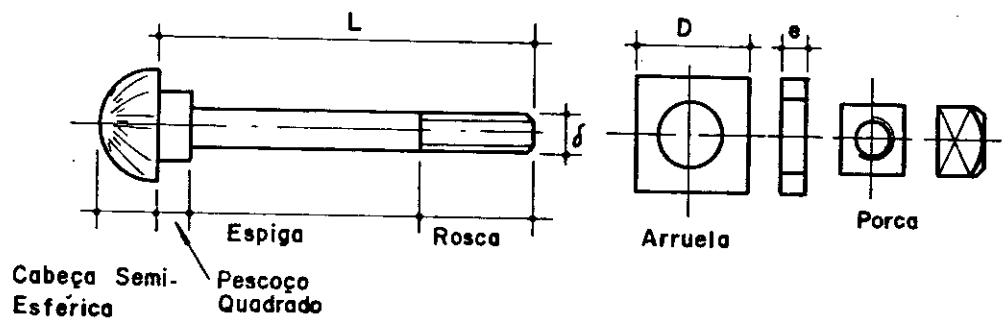
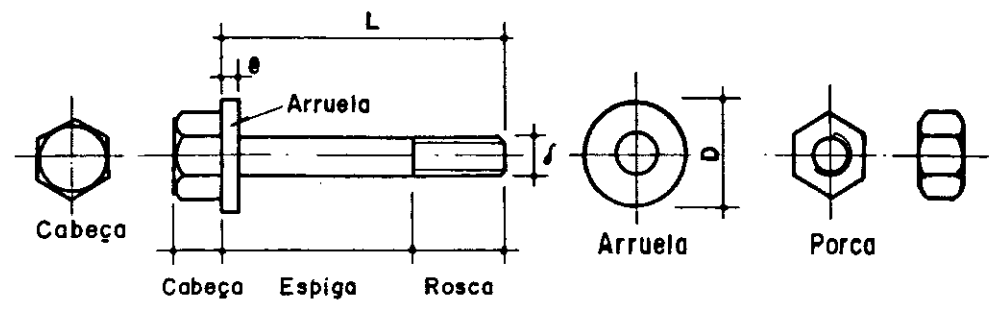


Figura 23 - Modelos de Parafusos.



CAP4- MÉTODOS

No ensaio foram utilizados, para as medidas de deslocamento, 2 relógios comparadores de precisão ,0,01mm de leitura, instalados conforme indicação apresentada na figura 24.

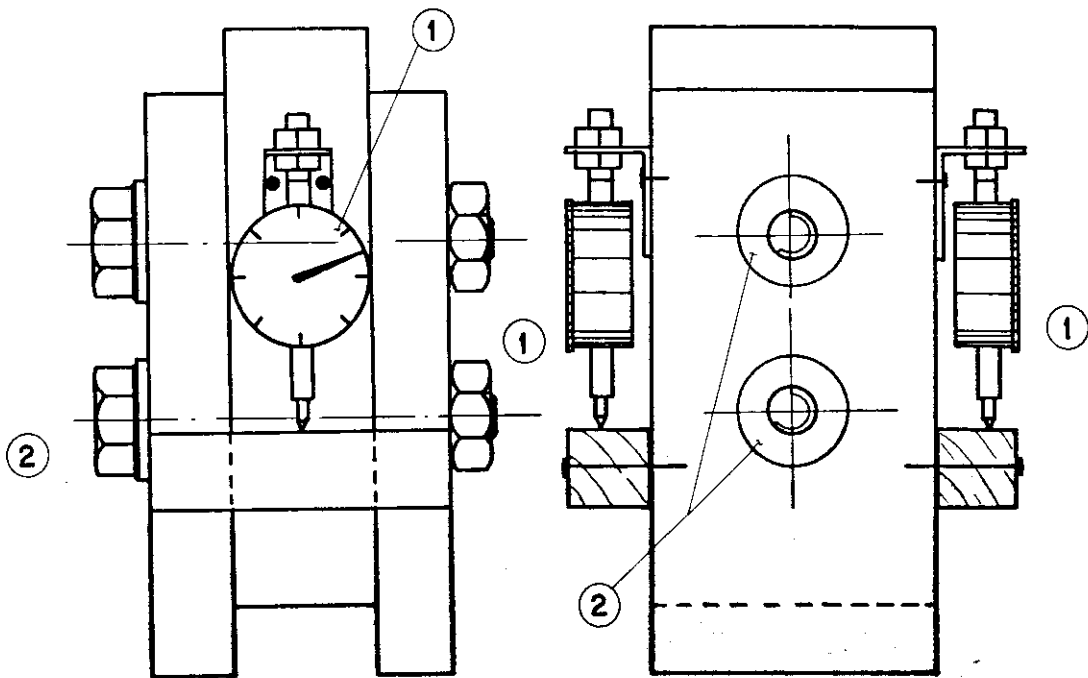


Figura 24- Detalhe dos relógios comparadores

1- Relógios Comparadores

2- Parafusos com arruelas e porcas.

Os ensaios foram realizados na Máquina Universal Amsler existente no LaMEM, para 25 toneladas. Para os corpos-de-prova de maior resistência, foi utilizada a Máquina Amsler existente no LaMEM para compressão até 100 toneladas, figura 25.

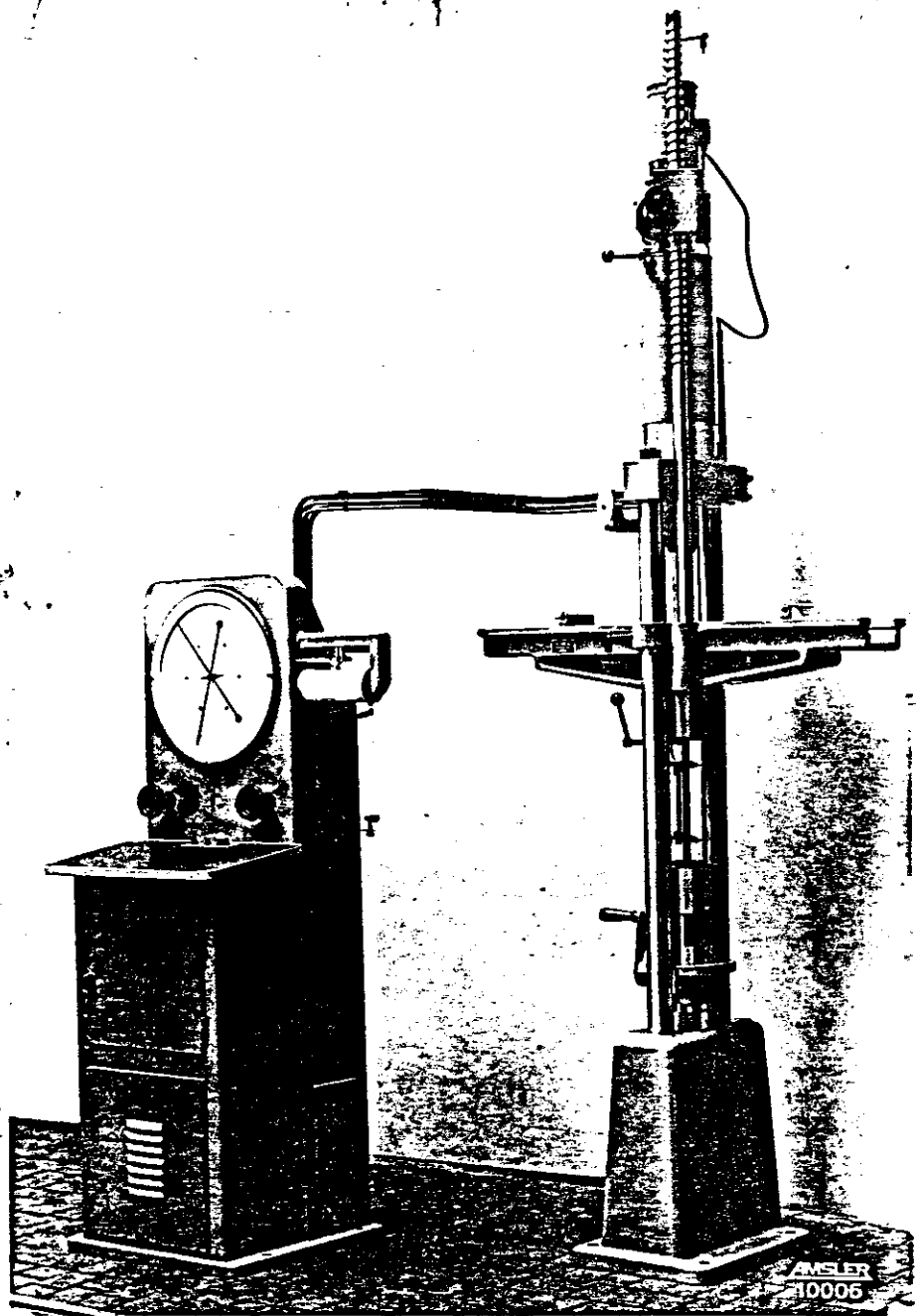


Figura 25- Máquina de Ensaio AMSLER

A aplicação da carga foi gradativa, fazendo-se 4

carregamentos, sendo que os três primeiros obedecem até o limite de proporcionalidade, traçando-se os diagramas cargas x deslocamentos e final, até a ruptura.

Os limites de proporcionalidade foram estabelecidos considerando-se a proporcionalidade entre cargas e deslocamentos.

Para a perfeita caracterização da madeira utilizada, retirou-se de cada peça de madeira ensaiada um corpo-de-prova de 2cm x 2cm x 6 cm , com o qual se fez as determinações da tensão de ruptura à compressão paralela às fibras, umidade e densidade.

CAP5- RESULTADOS OBTIDOS

Os diagramas Carga-Deformação dos corpos-de-prova com 18 parafusos de 1/4" são apresentados com o diagrama de andamento médio dos ensaios, nas figuras 26, 27, 28, 29, 30 e 31.

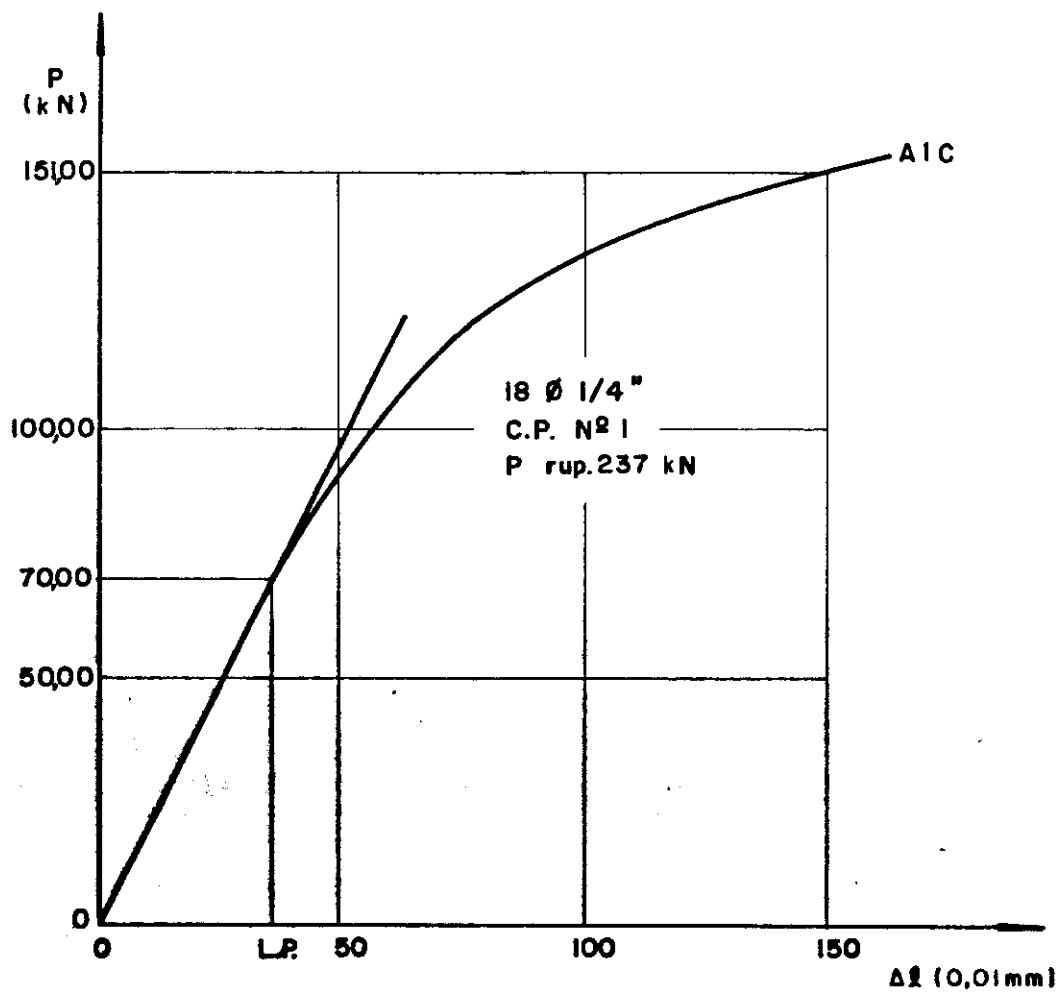


Figura 26 - L.P. - Limite de Proporcionalidade  
Prup. - Carga de Ruptura (kN)  
Δl - Deslocamento  
C.P. - Corpo de Prova  
P. - Carga (kN)

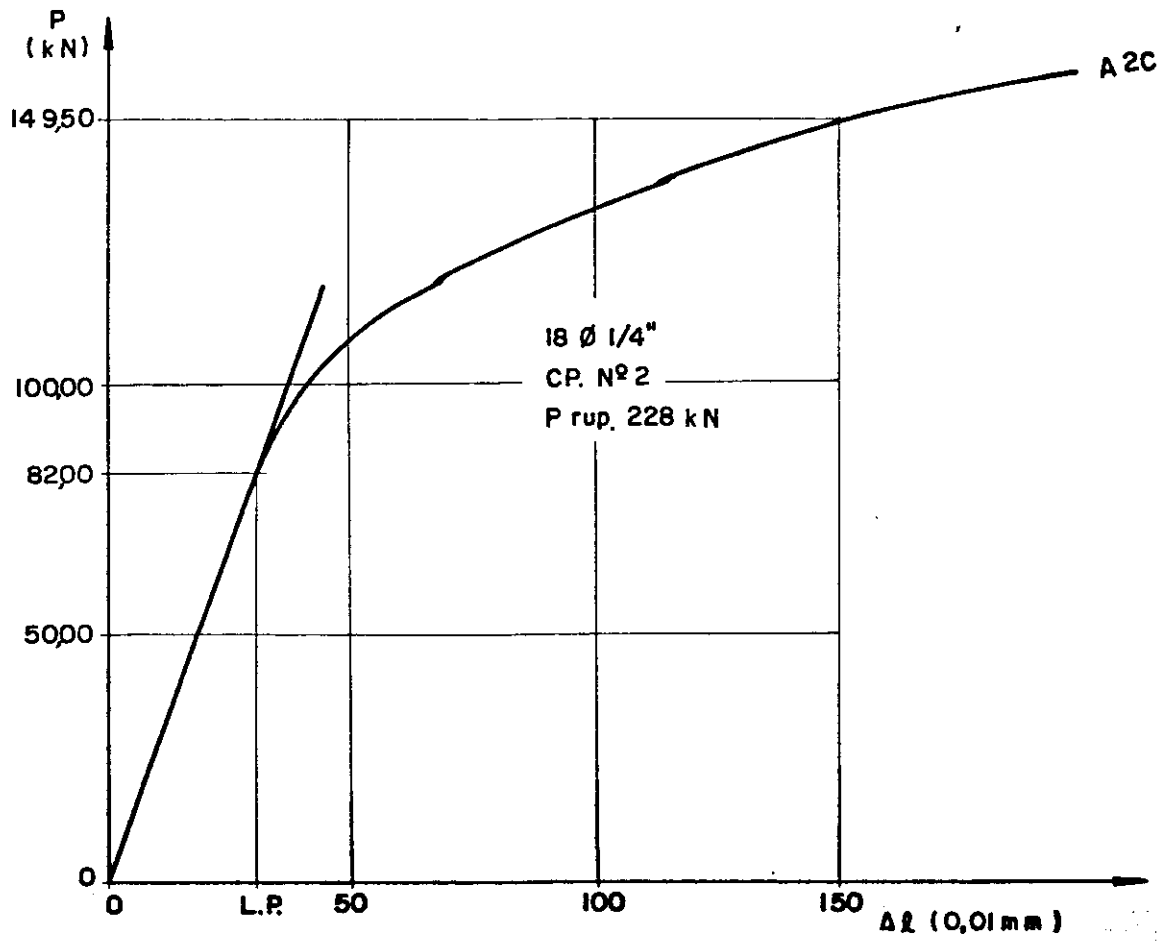


Figura 27- L.P. - Limite de Proporcionalidade  
Prup. - Carga de Ruptura (kN)  
 $\Delta l$  - Deslocamento  
C.P. - Corpo de Prova  
P. - Carga (kN)

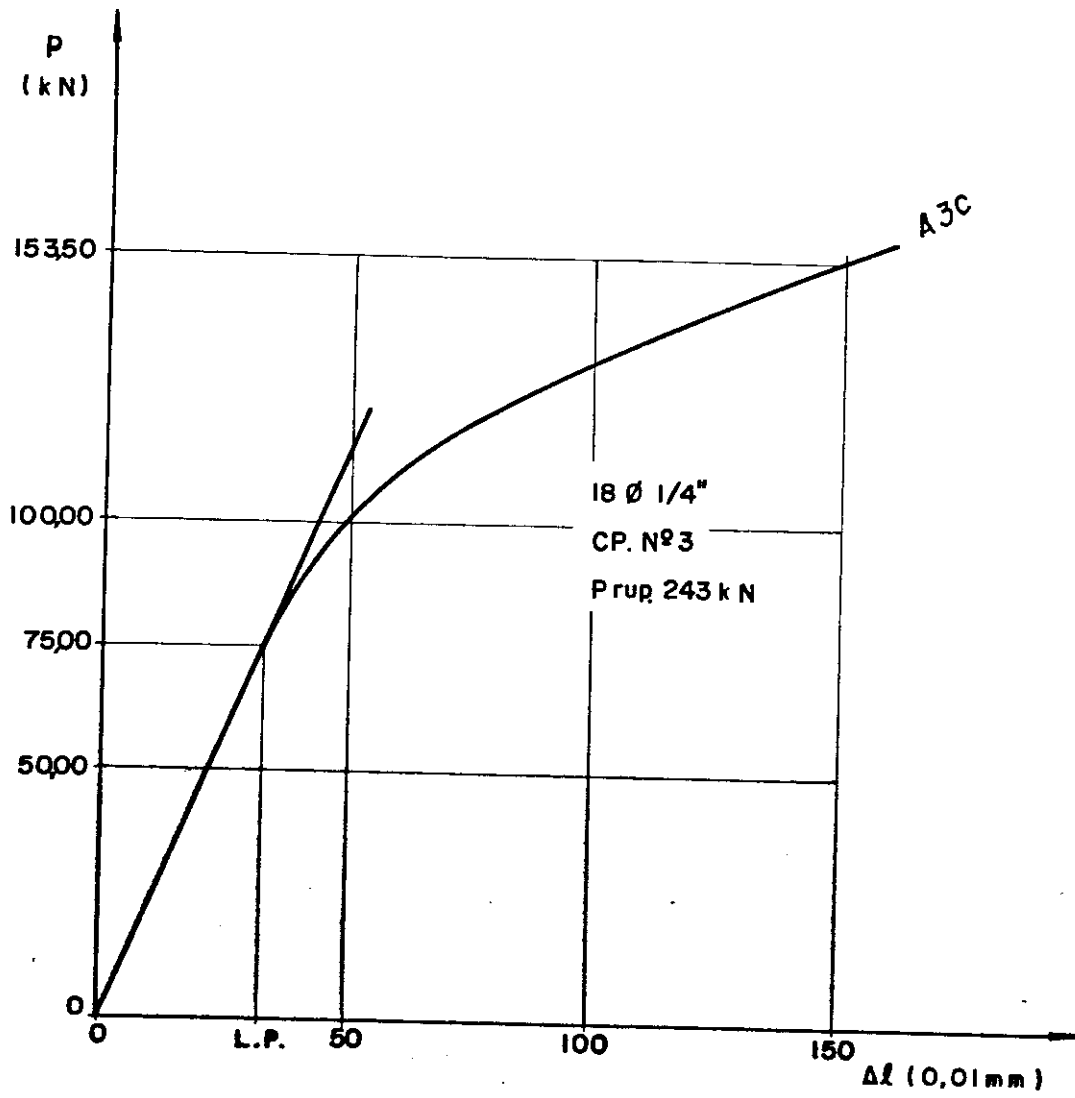


Figura 28- L.P. - Limite de Proporcionalidade  
Prup. - Carga de Ruptura (kN)  
 $\Delta l$  - Deslocamento  
C.P. - Corpo de Prova  
P. - Carga (kN)

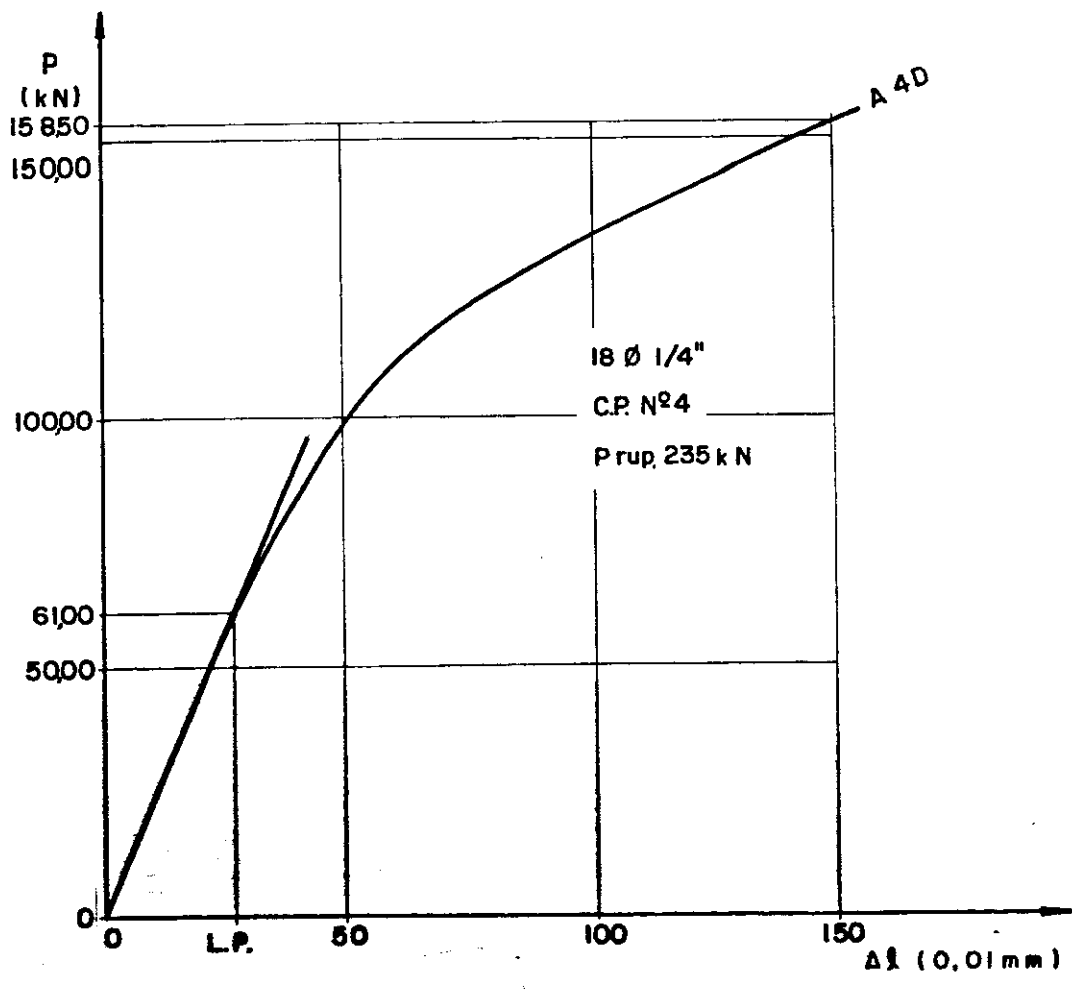


Figura 29- L.P. - Limite de Proporcionalidade  
Prup. - Carga de Ruptura (kN)  
 $\Delta l$  - Deslocamento  
C.P. - Corpo de Prova  
P. - Carga (kN)

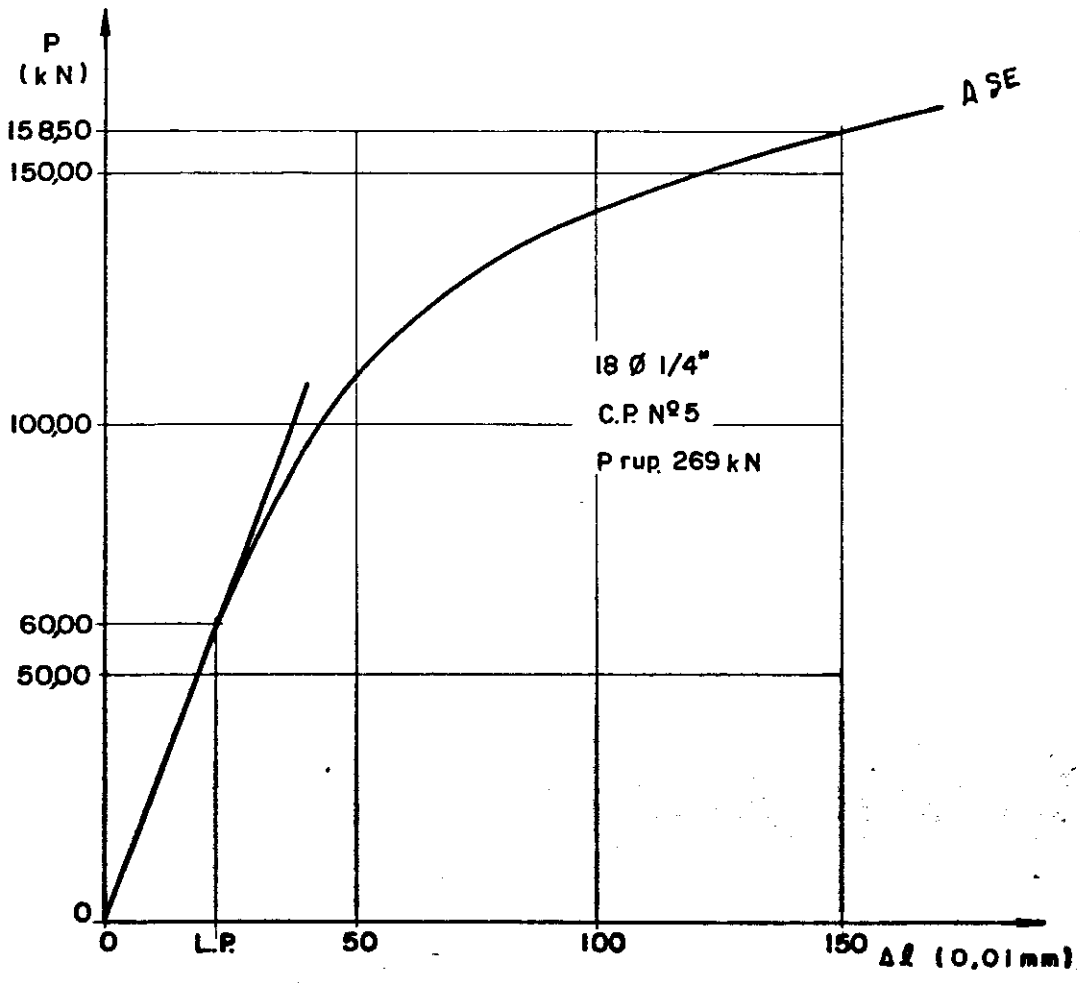


Figura 30- L.P. - Limite de Proporcionalidade  
Prup. - Carga de Ruptura (kN)  
 $\Delta l$  - Deslocamento  
C.P. - Corpo de Prova  
P. - Carga (kN)



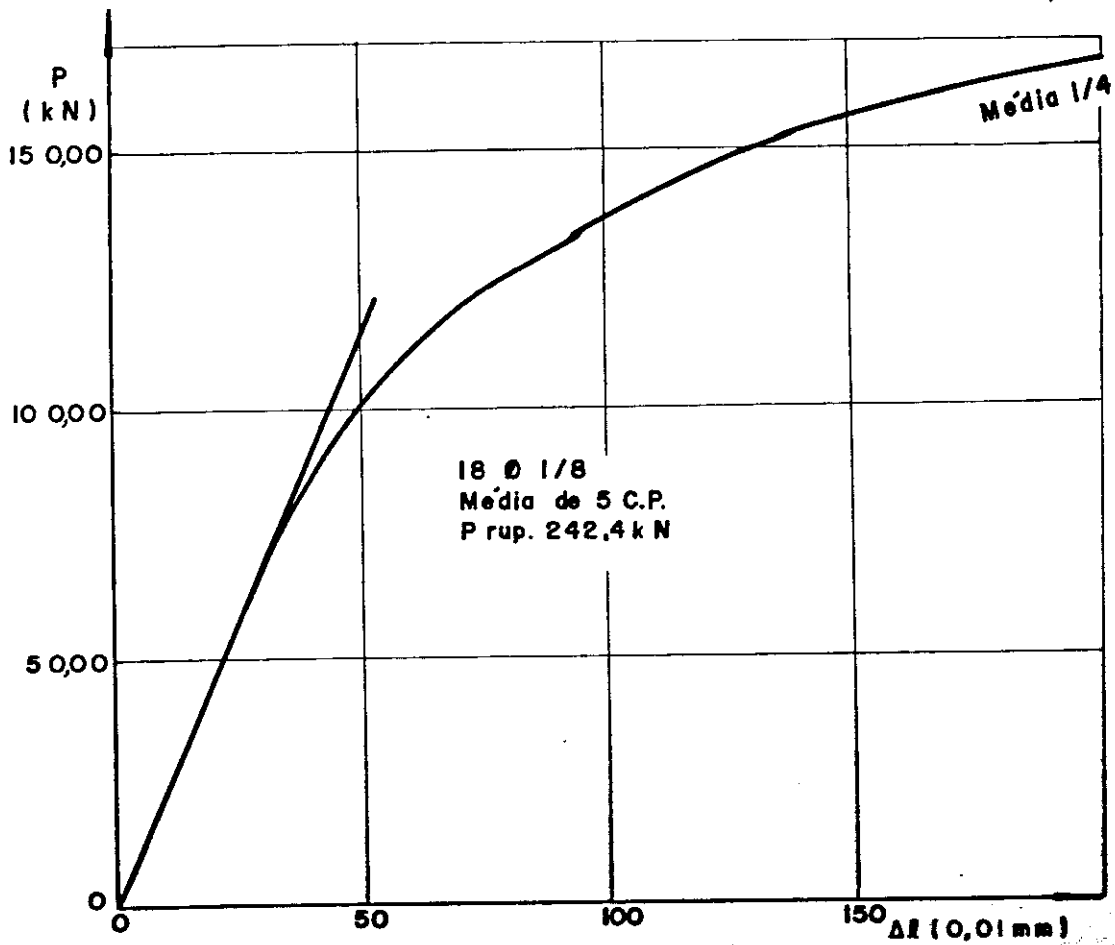


Figura 31- Média de 5 Corpos-de- Provas.

Prup. - Carga de Ruptura média (kN)

$\Delta L$  - Deslocamento

C.P. - Corpo de Prova

P. - Carga (kN)

Os diagramas Carga-Deformação dos corpos-de-prova

com 9 parafusos de 1/2" são apresentados com o diagrama de andamento médio dos ensaios, nas figuras 32, 33, 34, 35, 37.

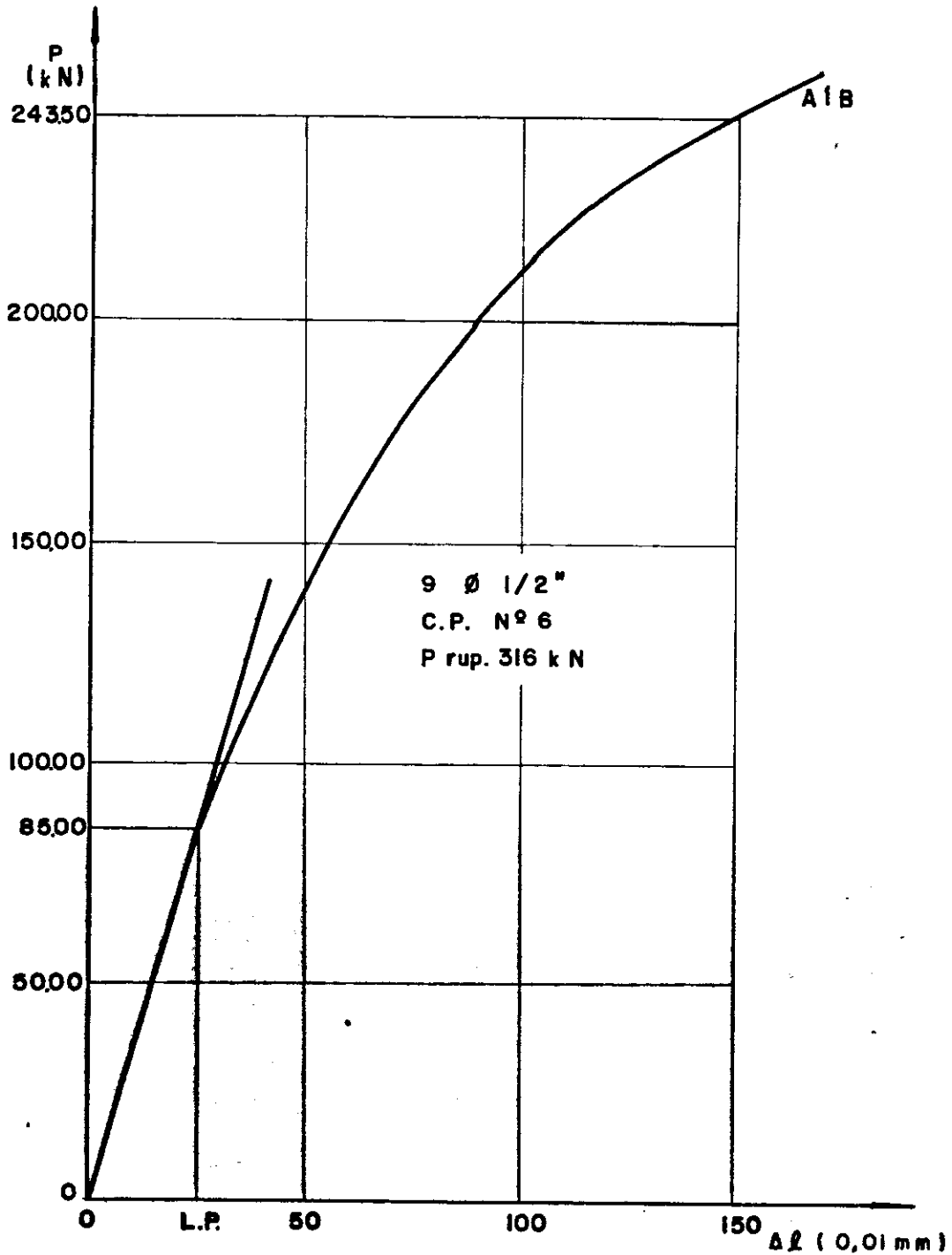


Figura 32- L.P. - Limite de Proporcionalidade  
Prup. - Carga de Ruptura (kN)  
 $\Delta l$  - Deslocamento  
C.P. - Corpo de Prova  
P. - Carga (kN)

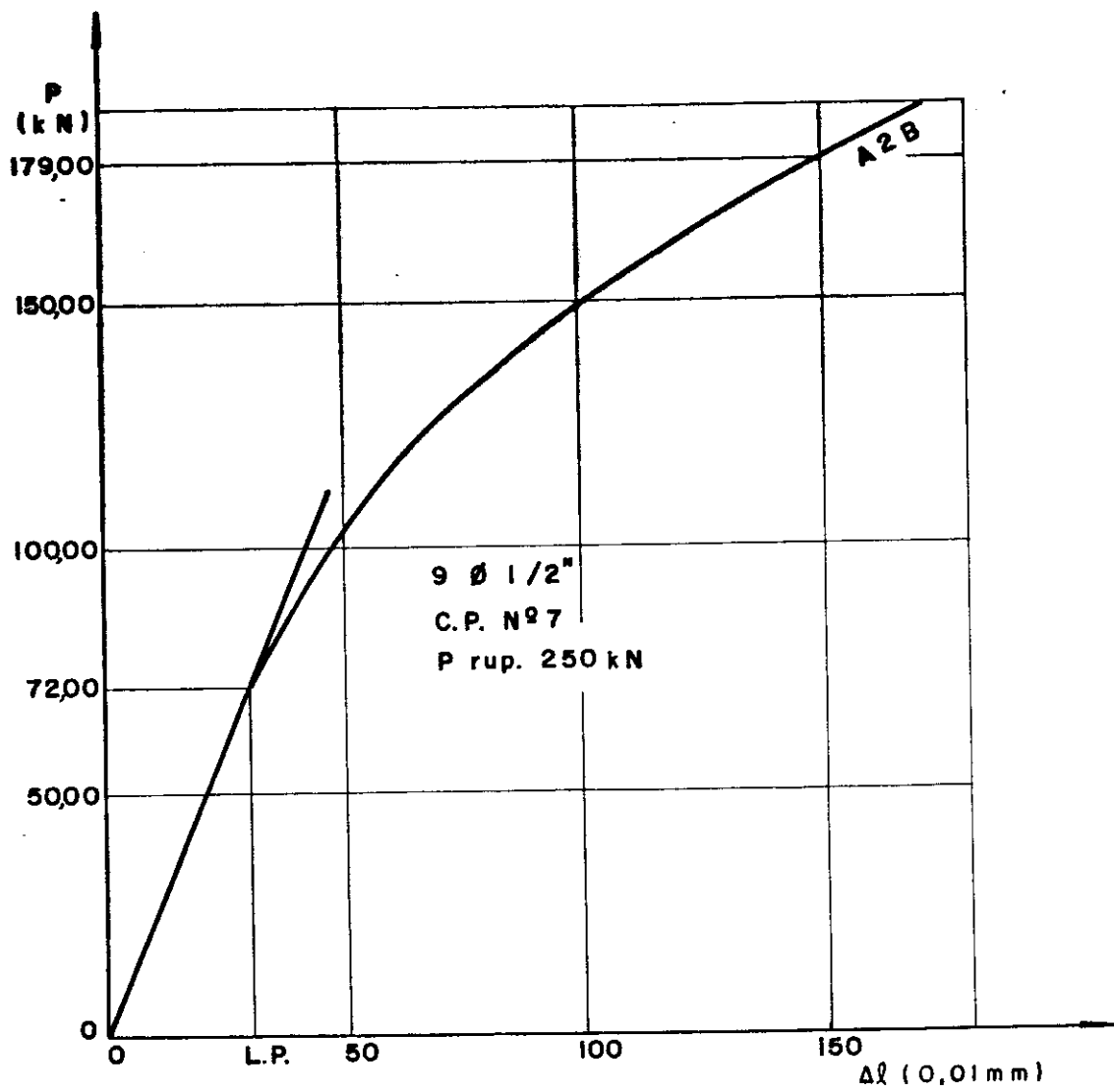


Figura 33- L.P. - Limite de Proporcionalidade

Prup. - Carga de Ruptura (kN)

$\Delta l$  - Deslocamento

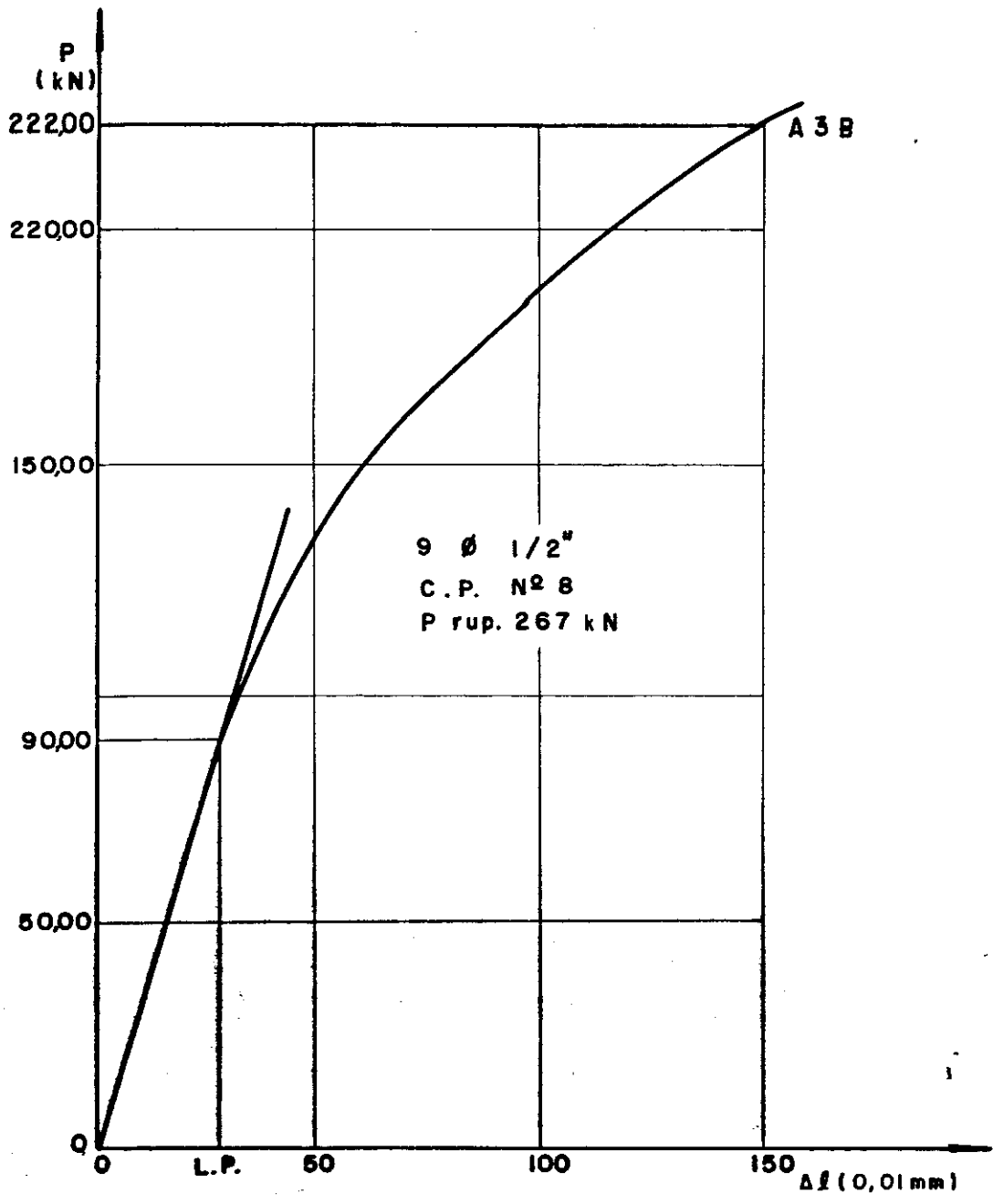


Figura 34- L.P. - Limite de Proporcionalidade  
Prup. - Carga de Ruptura (kN)  
Δl - Deslocamento  
C.P. - Corpo de Prova  
P. - Carga (kN)

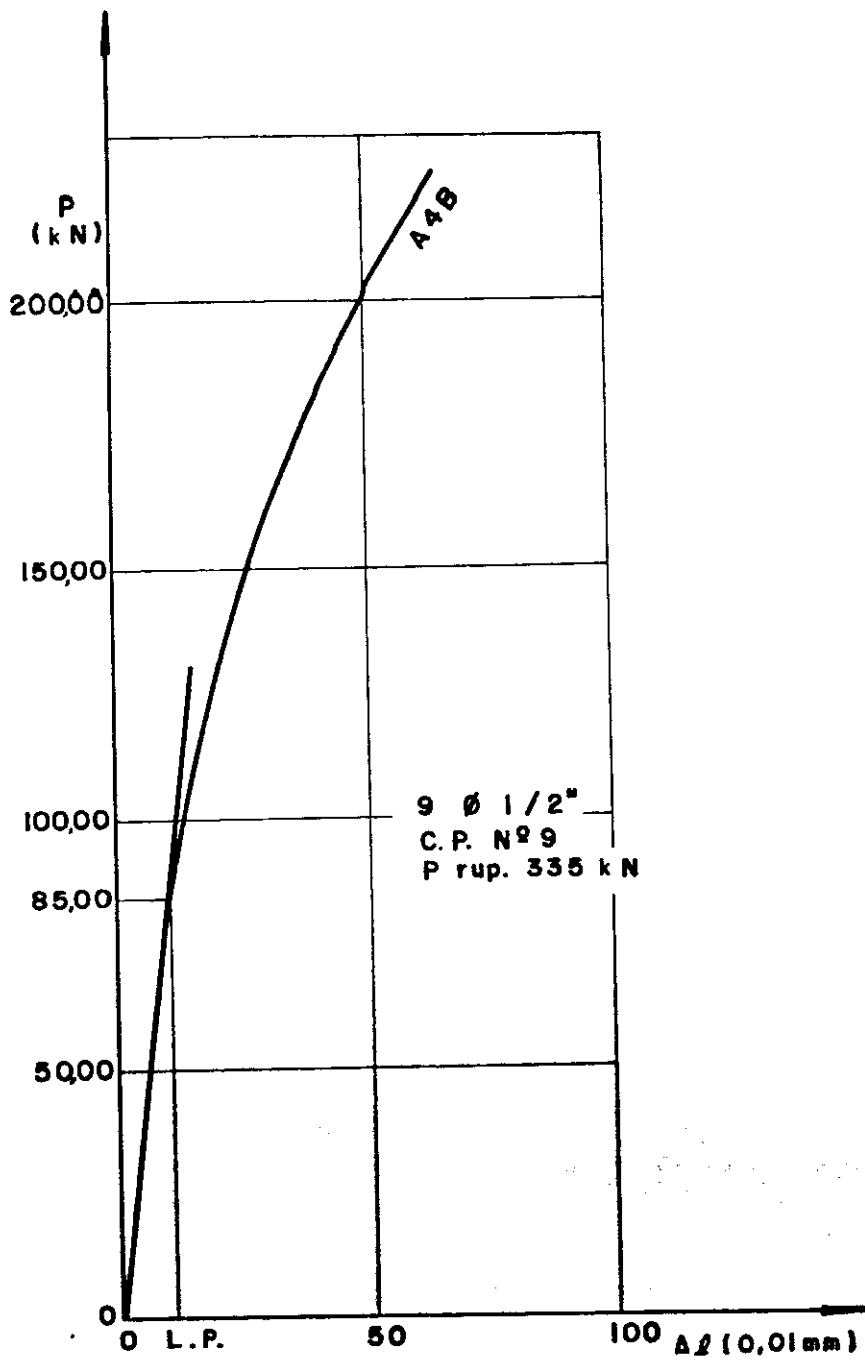


Figura 35- L.P. - Limite de Proporcionalidade  
Prup. - Carga de Ruptura (kN)  
Δl - Deslocamento  
C.P. - Corpo de Prova  
P. - Carga (kN)

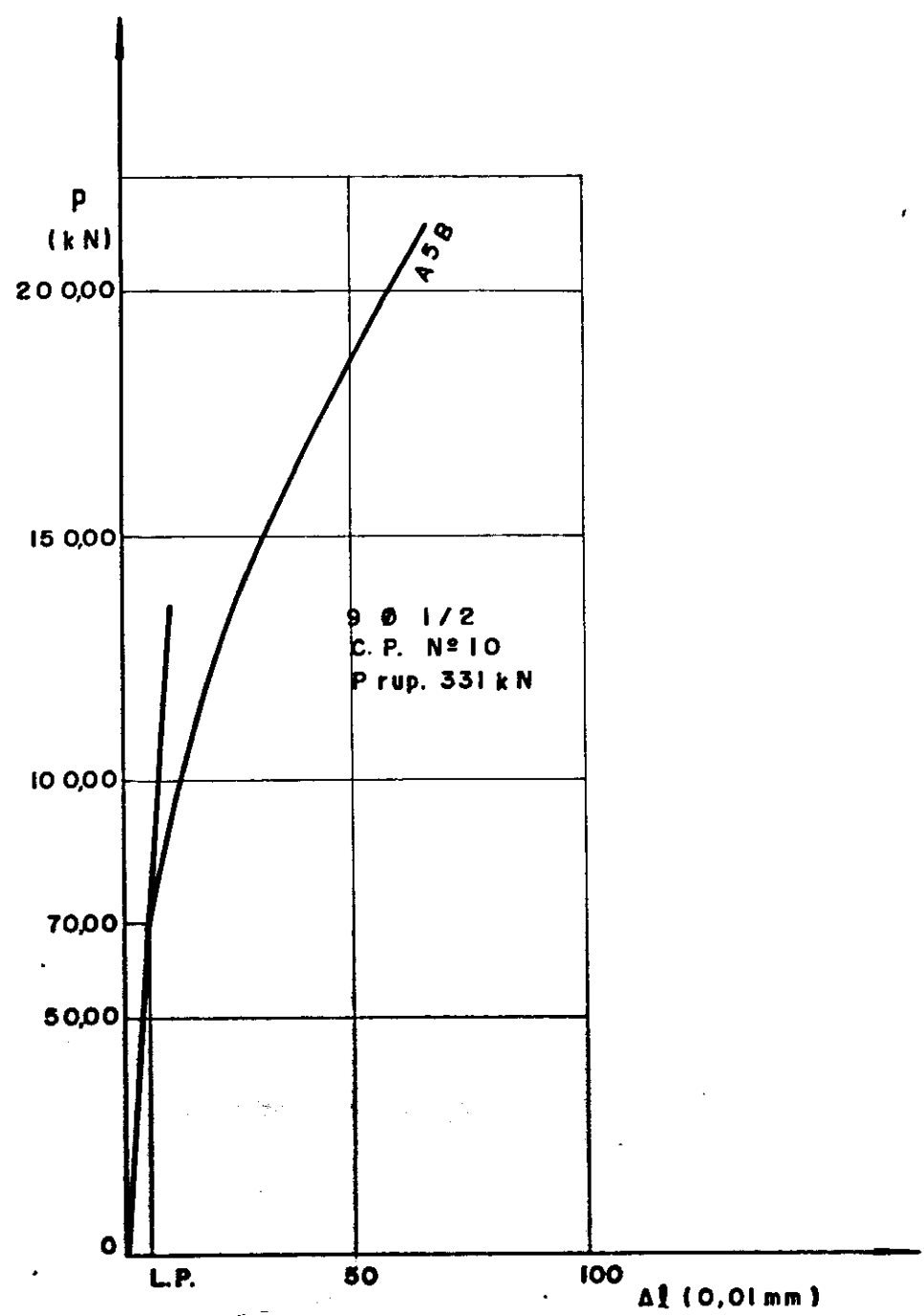


Figura 36- L.P. - Limite de Proporcionalidade  
Prup. - Carga de Ruptura (kN)  
 $\Delta l$  - Deslocamento  
C.P. - Corpo de Prova  
P. - Carga (kN)

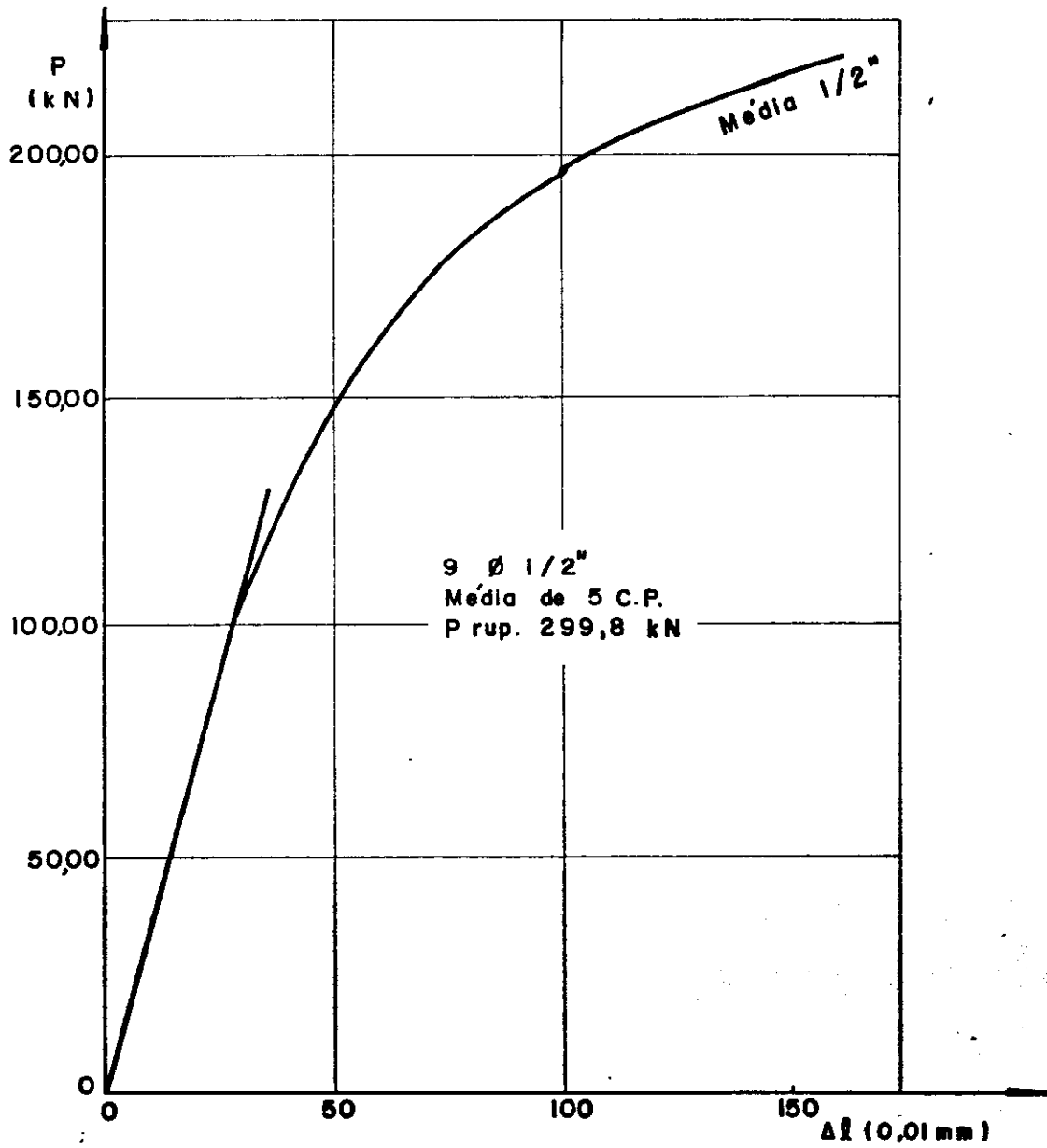


Figura 37- Média de 5 Corpos-de- Provas.

Prup. - Carga de Ruptura média(kN)

$\Delta l$  - Deslocamento

C.P. - Corpo de Prova

P. - Carga (kN)

Os diagramas Carga-Deformação dos corpos-de-prova

com 6 parafusos de 3/4" são apresentados com o diagrama de andamento médio dos ensaios, nas figuras 38, 39, 40, 41, 42 e 43.

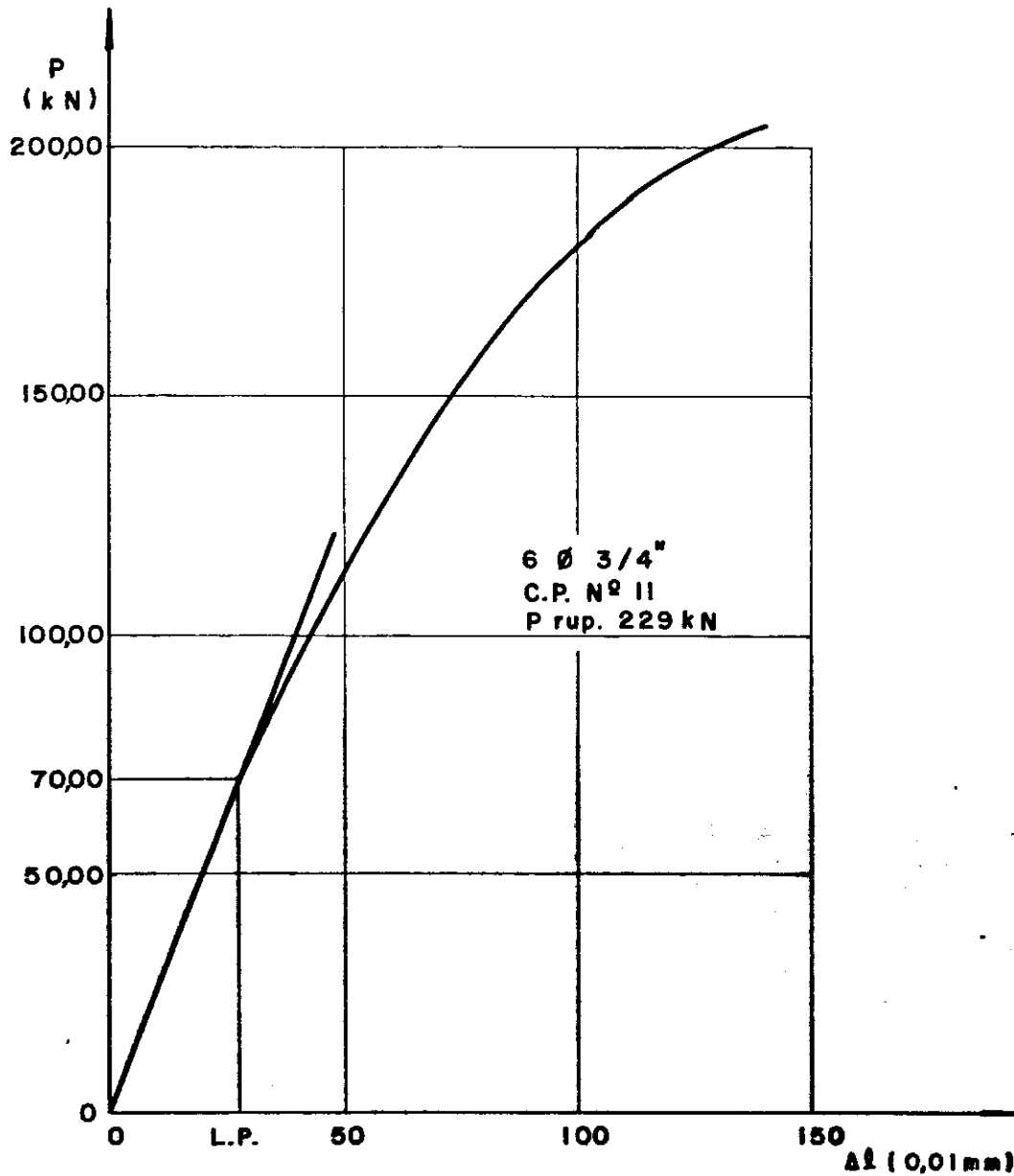


Figura 38- L.P. - Limite de Proporcionalidade  
Prup. - Carga de Ruptura (kN)  
Δl - Deslocamento  
C.P. - Corpo de Prova  
P. - Carga (kN)



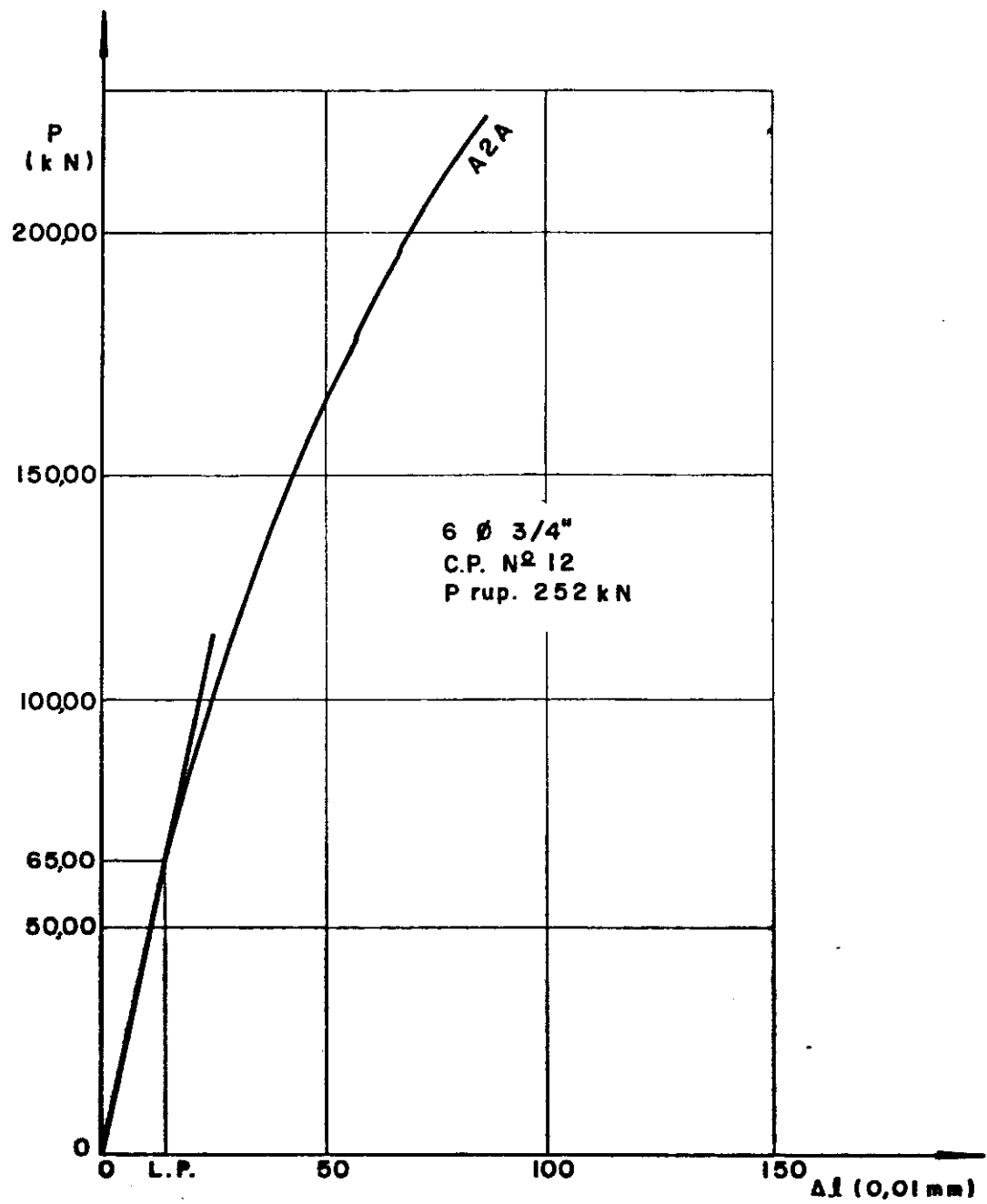


Figura 39- L.P. - Limite de Proporcionalidade  
Prup. - Carga de Ruptura (kN)  
 $\Delta l$  - Deslocamento  
C.P. - Corpo de Prova  
P. - Carga (kN)

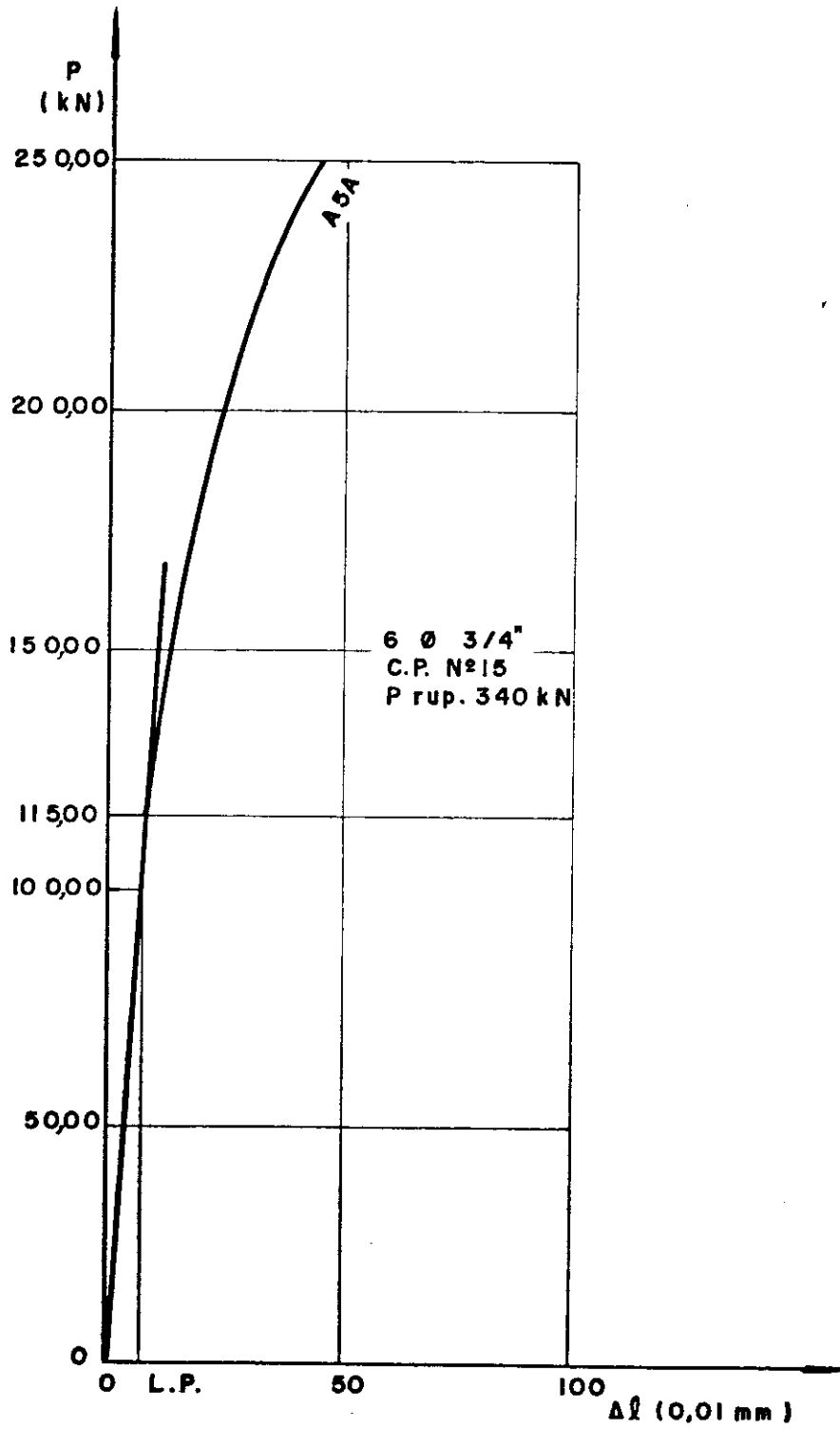


Figura 40- L.P. - Limite de Proporcionalidade  
Prup. - Carga de Ruptura (kN)  
 $\Delta l$  - Deslocamento  
C.P. - Corpo de Prova  
P. - Carga (kN)

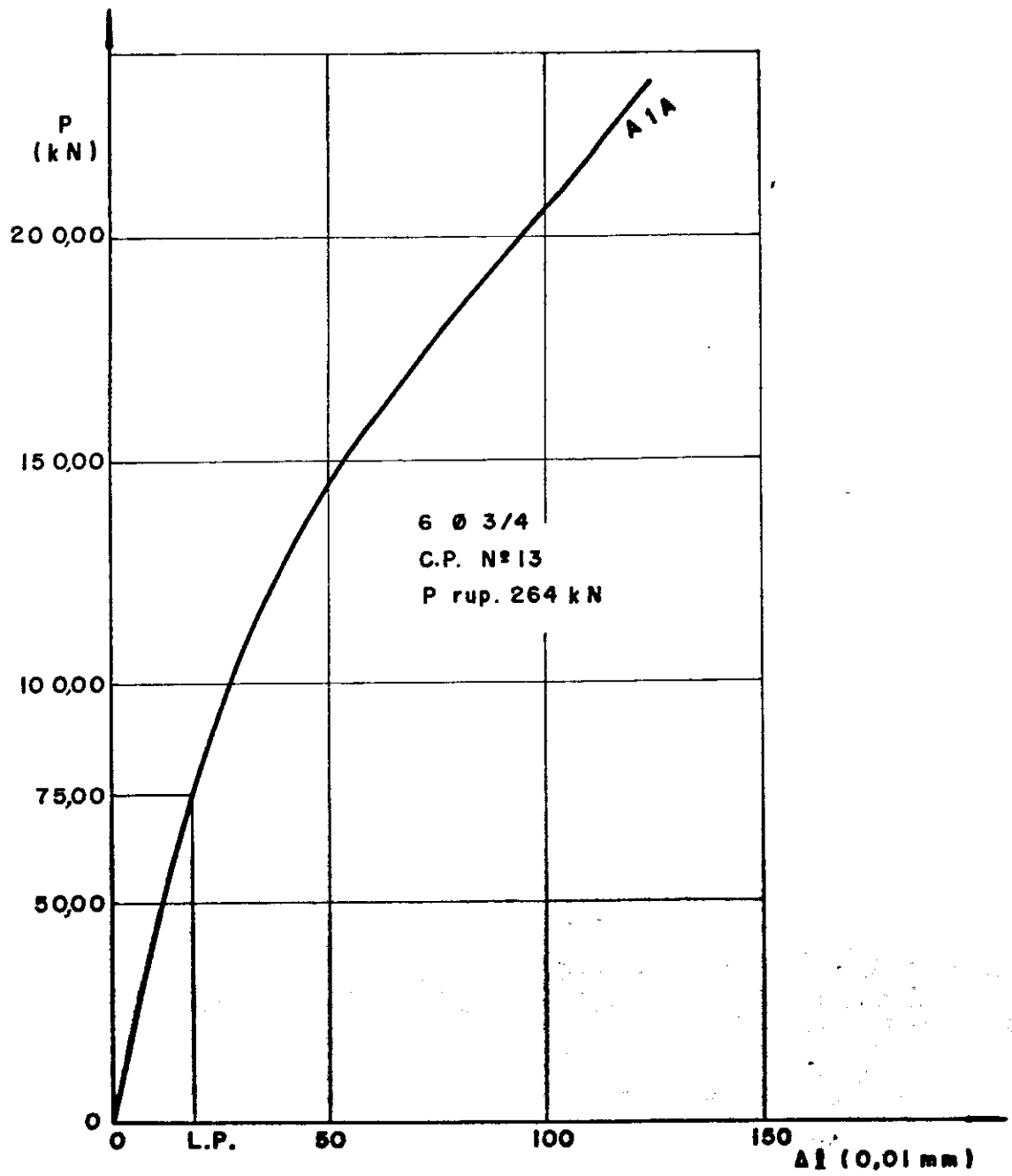


Figura 41- L.P. - Limite de Proporcionalidade  
Prup. - Carga de Ruptura (kN)  
 $\Delta l$  - Deslocamento  
C.P. - Corpo de Prova  
P. - Carga (kN)

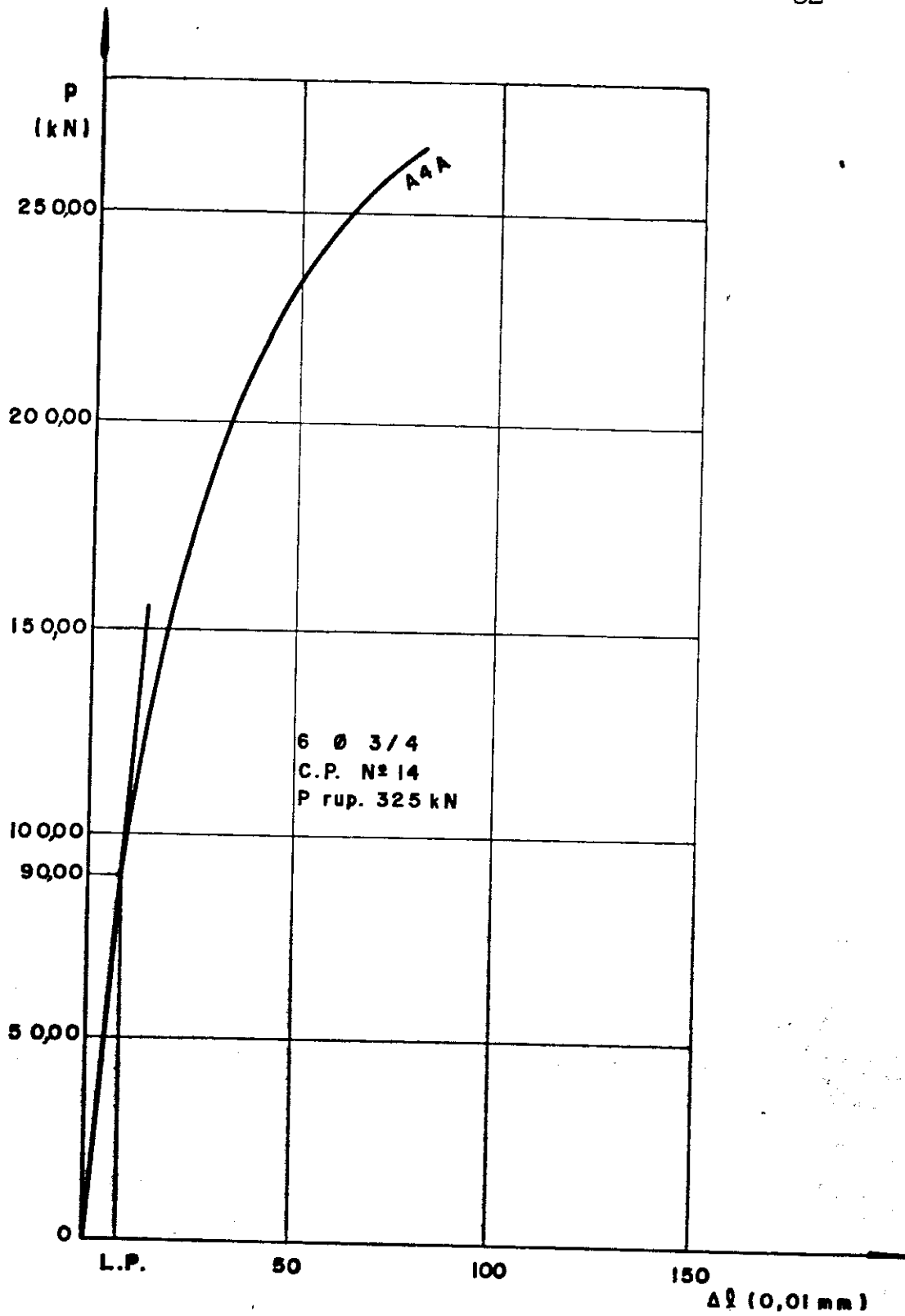


Figura 42- L.P. - Limite de Proporcionalidade  
Prup. - Carga de Ruptura (kN)  
 $\Delta l$  - Deslocamento  
C.P. - Corpo de Prova  
P. - Carga (kN)

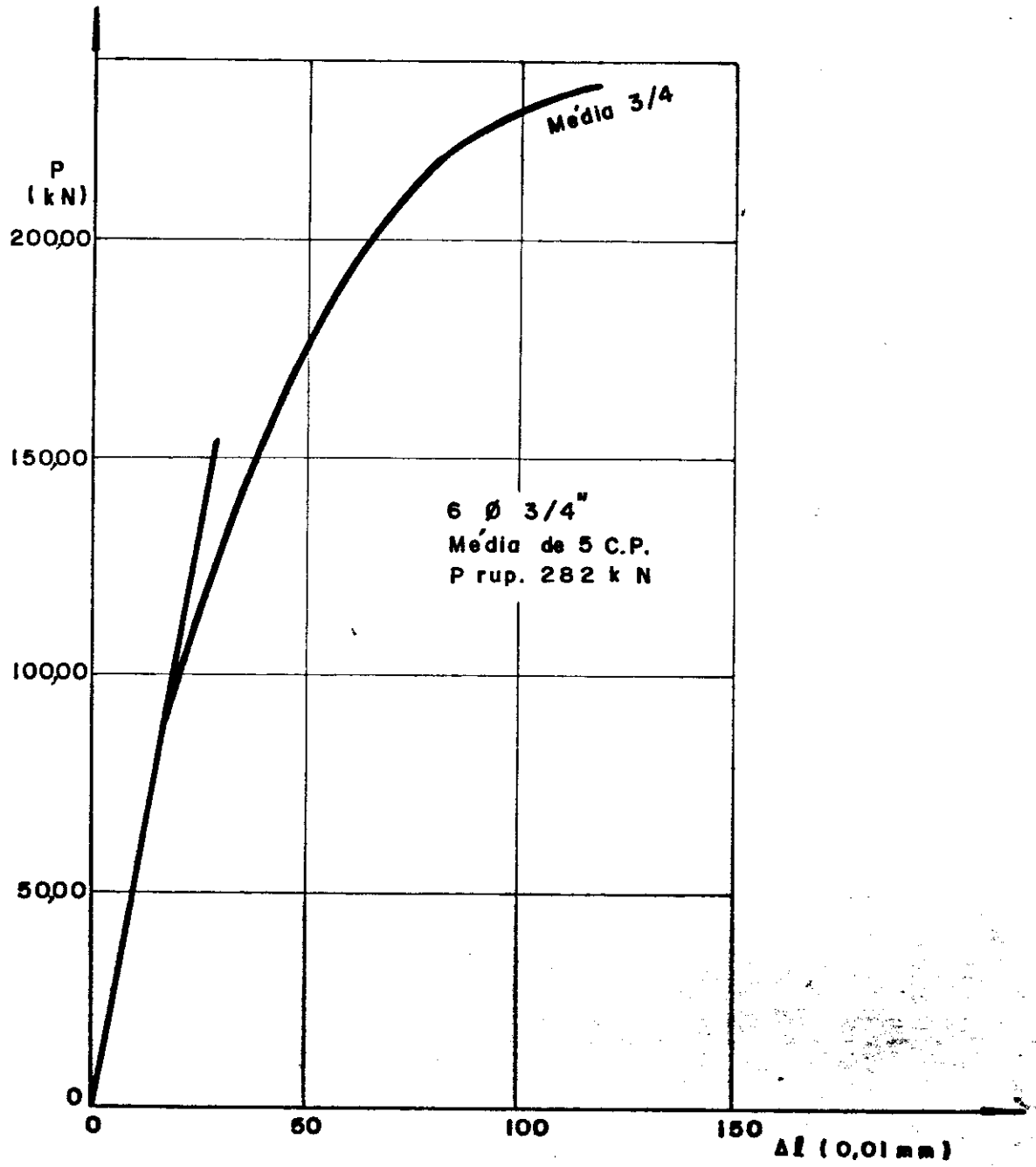


Figura 43- Média de 5 Corpos-de- Provas.  
Prup. - Carga de Ruptura média (kN)  
Δl - Deslocamento  
C.P. - Corpo de Prova  
P. - Carga (kN)

TABELA IV- RESULTADOS MÉDIOS EXPERIMENTAIS

| CP | Nº de<br>paraf | Diâm do<br>paraf | Espes<br>do CP | Carga de<br>Rupt do<br>CP | Carga de<br>Rupt por<br>paraf | Resist<br>da Mad<br>$\sigma_c$ | Umid<br>da Mad | Dens<br>da Mad       |
|----|----------------|------------------|----------------|---------------------------|-------------------------------|--------------------------------|----------------|----------------------|
|    | N              | $\delta$ (cm)    | b(cm)          | (kN)                      | (kN)                          | (kN/cm <sup>2</sup> )          | (%)            | (g/cm <sup>3</sup> ) |
| 1  | 18             | 0,635            | 5,27           | 237                       | 13,166                        | 6,428                          | 13,00          | 0,76                 |
| 2  | 18             | (1/4")           | 5,30           | 228                       | 12,666                        | 4,578                          | 14,00          | 0,64                 |
| 3  | 18             | (1/4")           | 5,27           | 243                       | 13,500                        | 4,746                          | 13,00          | 0,68                 |
| 4  | 18             | (1/4")           | 4,94           | 235                       | 13,055                        | 6,450                          | 14,00          | 0,71                 |
| 5  | 18             | (1/4")           | 4,96           | 269                       | 14,944                        | 6,468                          | 15,00          | 0,90                 |
| 6  | 9              | 1,270            | 5,33           | 316                       | 35,111                        | 5,490                          | 12,00          | 0,72                 |
| 7  | 9              | (1/2")           | 5,27           | 250                       | 38,888                        | 5,409                          | 13,00          | 0,66                 |
| 8  | 9              | (1/2")           | 5,30           | 267                       | 29,666                        | 4,983                          | 13,00          | 0,69                 |
| 9  | 9              | (1/2")           | 4,98           | 335                       | 37,222                        | 5,830                          | 14,00          | 0,72                 |
| 10 | 9              | 1,270            | 4,98           | 331                       | 36,777                        | 6,249                          | 14,00          | 0,87                 |
| 11 | 6              | 1,905            | 5,27           | 229                       | 38,166                        | 5,573                          | 13,00          | 0,70                 |
| 12 | 6              | (3/4")           | 5,27           | 252                       | 42,000                        | 4,493                          | 13,00          | 0,62                 |
| 13 | 6              | (3/4")           | 5,29           | 264                       | 44,000                        | 6,726                          | 13,00          | 0,78                 |
| 14 | 6              | (3/4")           | 5,00           | 325                       | 54,166                        | 6,329                          | 14,00          | 0,70                 |
| 15 | 6              | (3/4")           | 4,97           | 340                       | 56,666                        | 6,454                          | 14,00          | 0,76                 |

TABELA V - RESULTADOS EXPERIMENTAIS

ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS  
 LABORATORIO DE MADEIRA E DE ESTRUTURA DE MADEIRA  
 UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO - USP

| PESQUISA:- |                       | 16 PARAFUSOS DE 1/4" |                      | VIGA A4-D             |                       | DATA:-         |                     | 25-01-1971 |        |
|------------|-----------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|----------------|---------------------|------------|--------|
| ENSAIO:-   |                       | COMPRESSÃO PARALELA  |                      | L=150MM RELOC. 0.01MM |                       | CORPO-DE-PROVA |                     | 3          |        |
| CARGA      | PRIMEIRO CARREGAMENTO |                      | SEGUNDO CARREGAMENTO |                       | TERCEIRO CARREGAMENTO |                | QUARTO CARREGAMENTO |            | MÉDIA  |
|            | LEIT. - 1             | LEIT. - 2            | LEIT. - 1            | LEIT. - 2             | LEIT. - 1             | LEIT. - 2      | LEIT. - 1           | LEIT. - 2  |        |
| 0          | 0                     | 0                    | 0                    | 0                     | 0                     | 0              | 0                   | 0          | 0,00   |
| 1000       | 2                     | 3                    | 2                    | 3                     | 2                     | 2              | 2                   | 2          | 2,25   |
| 2000       | 8                     | 7                    | 5                    | 5                     | 5                     | 5              | 6                   | 4          | 5,63   |
| 3000       | 16                    | 12                   | 11                   | 8                     | 12                    | 9              | 13                  | 8          | 11,13  |
| 4000       | 24                    | 17                   | 18                   | 12                    | 18                    | 12             | 21                  | 13         | 16,88  |
| 5000       | 33                    | 22                   | 25                   | 16                    | 25                    | 16             | 27                  | 16         | 22,50  |
| 6000       | 43                    | 38                   | 31                   | 20                    | 31                    | 20             | 33                  | 20         | 29,50  |
| 7000       | 53                    | 34                   | 37                   | 23                    | 37                    | 33             | 38                  | 23         | 34,75  |
| 8000       | 64                    | 41                   | 43                   | 27                    | 43                    | 27             | 44                  | 26         | 39,38  |
| 9000       | 75                    | 48                   | 49                   | 31                    | 49                    | 31             | 50                  | 30         | 45,38  |
| 10000      | 89                    | 56                   | 56                   | 36                    | 56                    | 36             | 58                  | 34         | 52,38  |
| 11000      |                       |                      |                      |                       |                       |                | 65                  | 41         | 53,00  |
| 12000      |                       |                      |                      |                       |                       |                | 79                  | 53         | 66,00  |
| 13000      |                       |                      |                      |                       |                       |                | 102                 | 59         | 81,00  |
| 14000      |                       |                      |                      |                       |                       |                | 138                 | 77         | 107,50 |
| 15000      |                       |                      |                      |                       |                       |                | 168                 | 105        | 136,50 |

23500 RUPTURA

b=4,94cm

I=0,1436668cm<sup>4</sup>

TENSÃO DE COMP. 645,2 kN/cm<sup>2</sup>

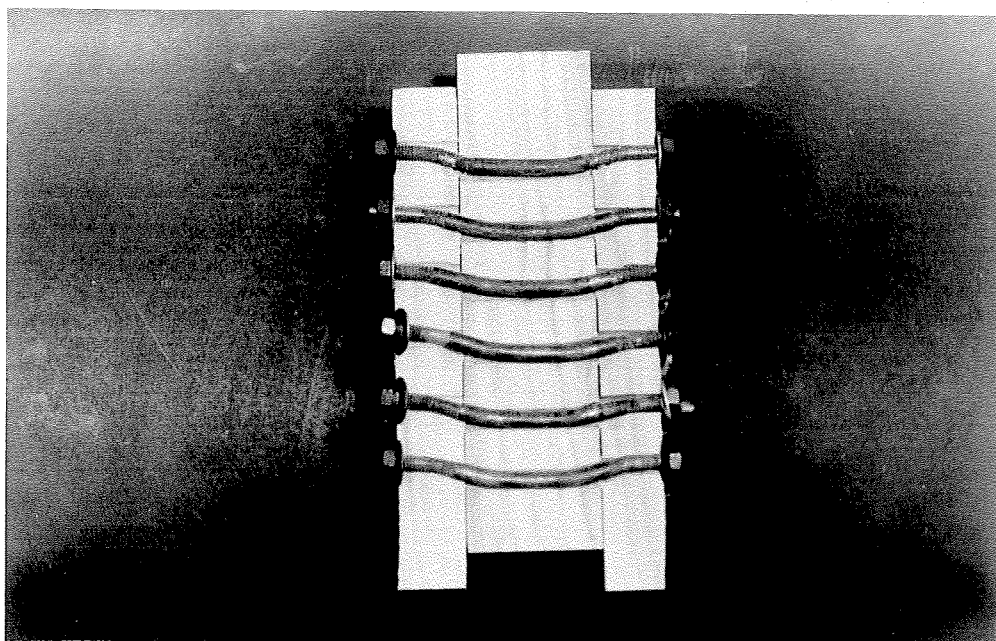


Foto 1- Corpo-de-prova com 18 parafusos de 1/4"

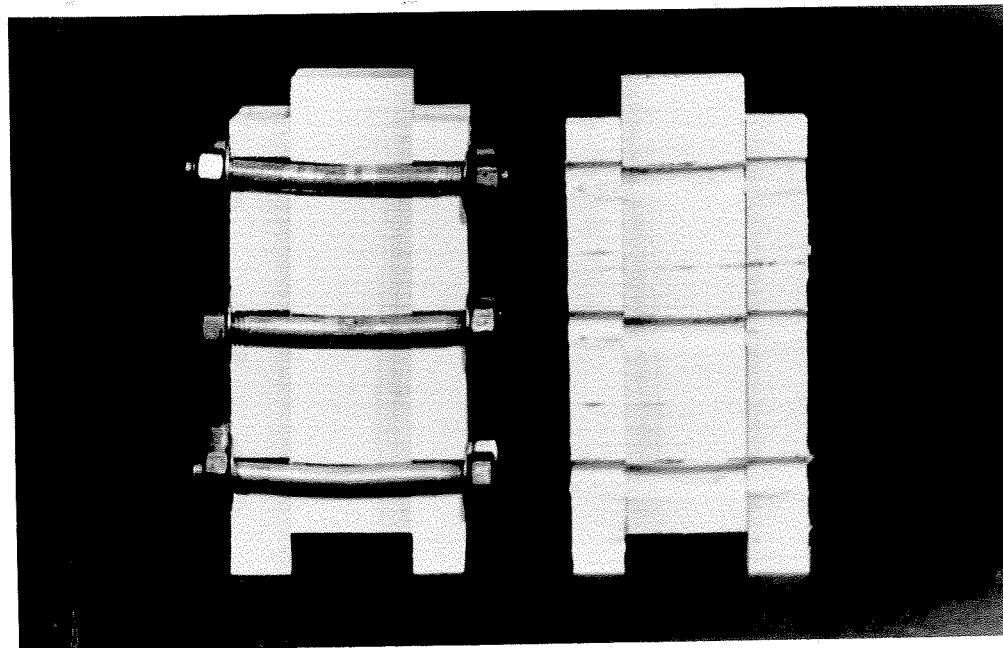


Foto 2- Corpo-de-prova com 9 parafusos de 1/2"



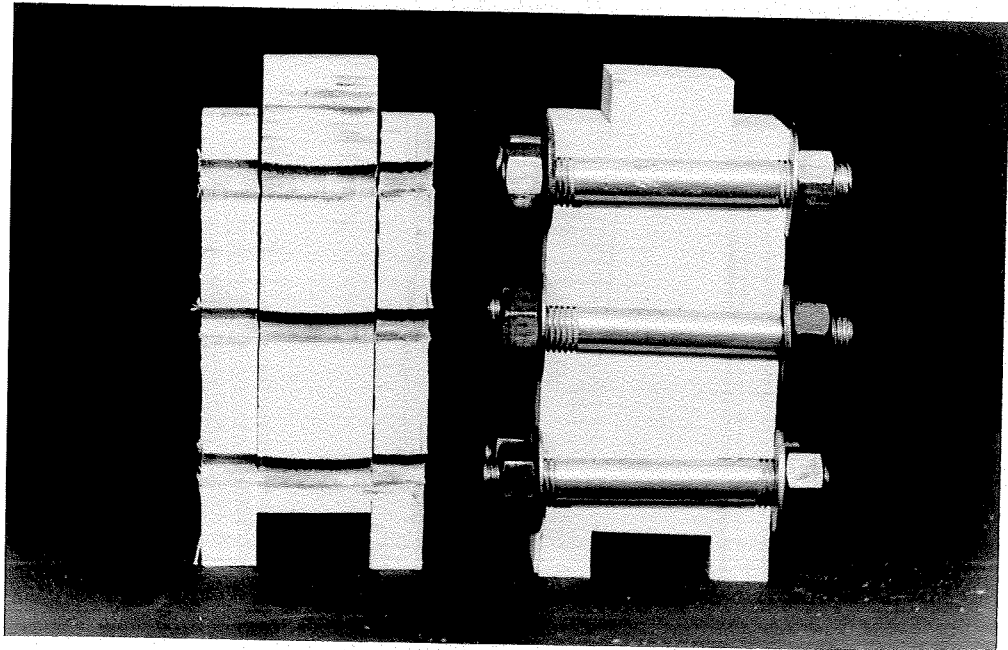


Foto 3- Corpo-de-prova com 6 parafusos de 3/4"

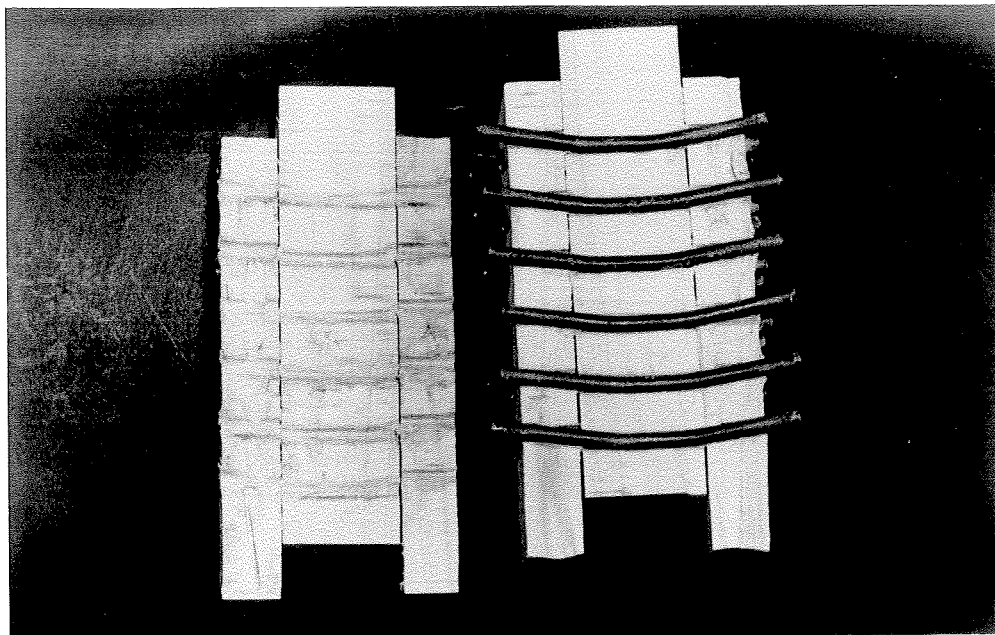


Foto 4- Corpo-de-prova com 18 pinos de 1/4"

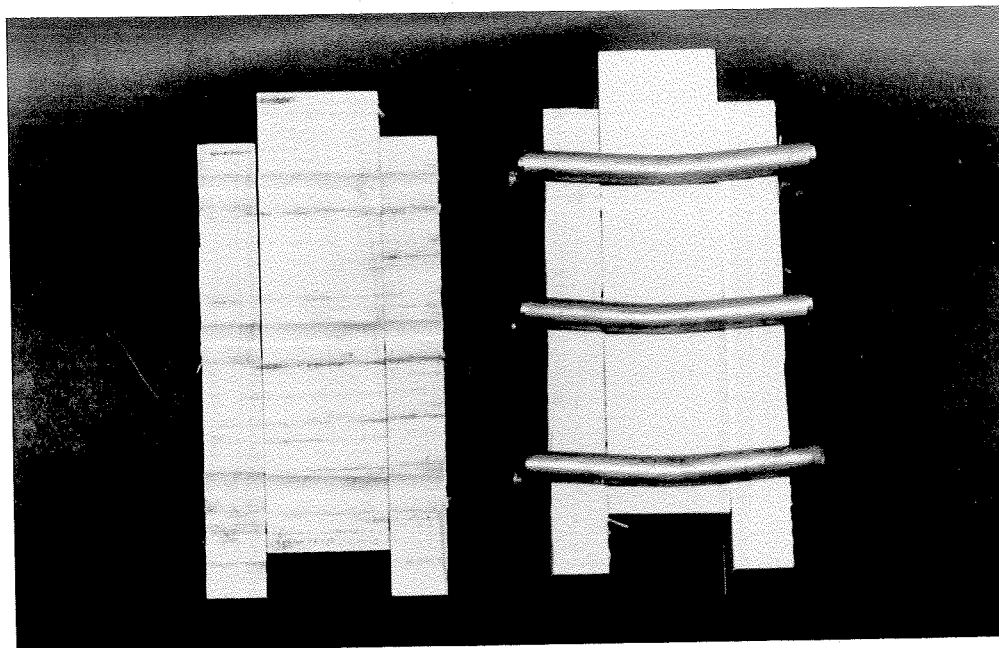


Foto 5- Corpo-de-prova com 9 pinos de 1/2"

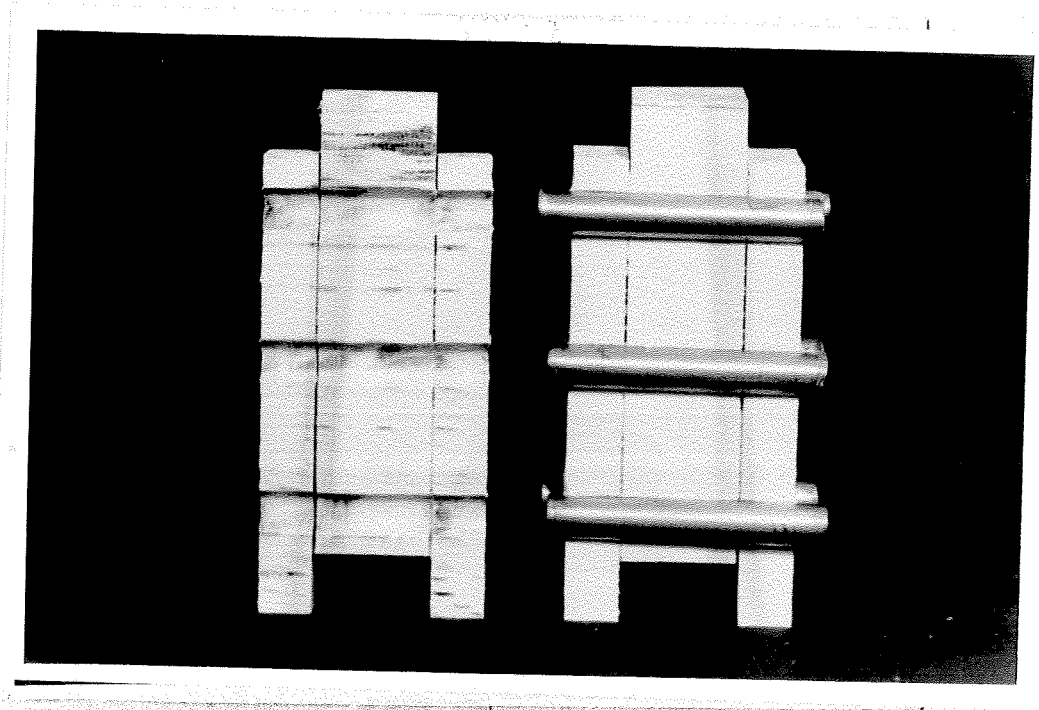


Foto 6-Corpo-de-prova com 6 pinos 3/4"

CAP6- ANÁLISE DE RESULTADOS

Neste estudo experimental, utilizaram-se ensaios em corpos-de-prova com parafusos de diâmetros diferentes, com o objetivo de se obter a máxima resistência da ligação, não se levando em conta o estudo do espaçamento dentro dos parâmetros da norma NBR-7190/82.

|            | diâmetro $\delta$ | Nº Paraf. |
|------------|-------------------|-----------|
| Parafusos: | 1/4" - 0,635cm -  | 18        |
|            | 1/2" - 1,27 cm -  | 9         |
|            | 3/4" - 1,905cm -  | 6         |

Madeira: Peroba rosa  
(Aspidosperma polyneuron)

Equivalência entre as ligações

|                | diâmetro $\delta$ |   |
|----------------|-------------------|---|
| 3/4" - 1,905cm | {                 | área = 2,8503 cm <sup>2</sup>                         |
|                |                   | inércia = 0,646442 cm <sup>4</sup>                    |
| 1/2" - 1,27cm  | {                 | área = 1,2667 cm <sup>2</sup>                         |
|                |                   | inércia = 0,12769 cm <sup>4</sup>                     |
| 1/4" - 0,635cm | {                 | área = 0,3166 cm <sup>2</sup>                         |
|                |                   | inércia = 7,981137 x 10 <sup>-3</sup> cm <sup>4</sup> |

1  
- Levando-se em conta a rigidez:  
EI dos parafusos

- Considerando-se a mesma carga calculada temos:  
F \_\_\_\_\_ EI 1/4" n 1/4"  
F \_\_\_\_\_ EI 1/2" x 9

$$EI \frac{1}{2}'' \times 9 = EI \frac{1}{4}'' n \frac{1}{4}'' + n \frac{1}{4}'' = \frac{I \frac{1}{2}'' \times 9}{I \frac{1}{4}''}$$

$$n \frac{1}{4}'' = 144 .$$

Para que haja equivalência entre parafusos de 1/4" e 3/4" são necessário 485 parafusos 1/4" para 6 parafusos de 3/4", e, para que haja equivalência entre os parafusos de 1/2" e 3/4", são necessários 30 parafusos.

Considerando-se

$$F = n b \delta \sigma_c$$

$$A = b \delta n = 5,697569 \text{cm}^2$$

$$P = A \sigma_c$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Peroba rosa} \\ \sigma_c = 425 \text{ Kgf/cm}^2 \\ \sigma_{c \text{ adm}} = 85 \text{ Kgf/cm}^2 \end{array} \right.$$

$\delta$ : diâmetro do parafuso

$n$ :  $n^c$  de parafusos

Para 18 parafusos 1/4" -  $F = 2421,47 \text{ kN}$

Para 9 parafusos 1/2" -  $F = 2421,47 \text{ kN}$

Para 6 parafusos 3/4" -  $F = 2421,47 \text{ kN}$

Nota-se que a área A é equivalente para os 3 casos.

Analisando-se o gráfico com os deslocamentos médios a seguir, notamos que os gráficos não se sobrepõe como, era de se esperar.

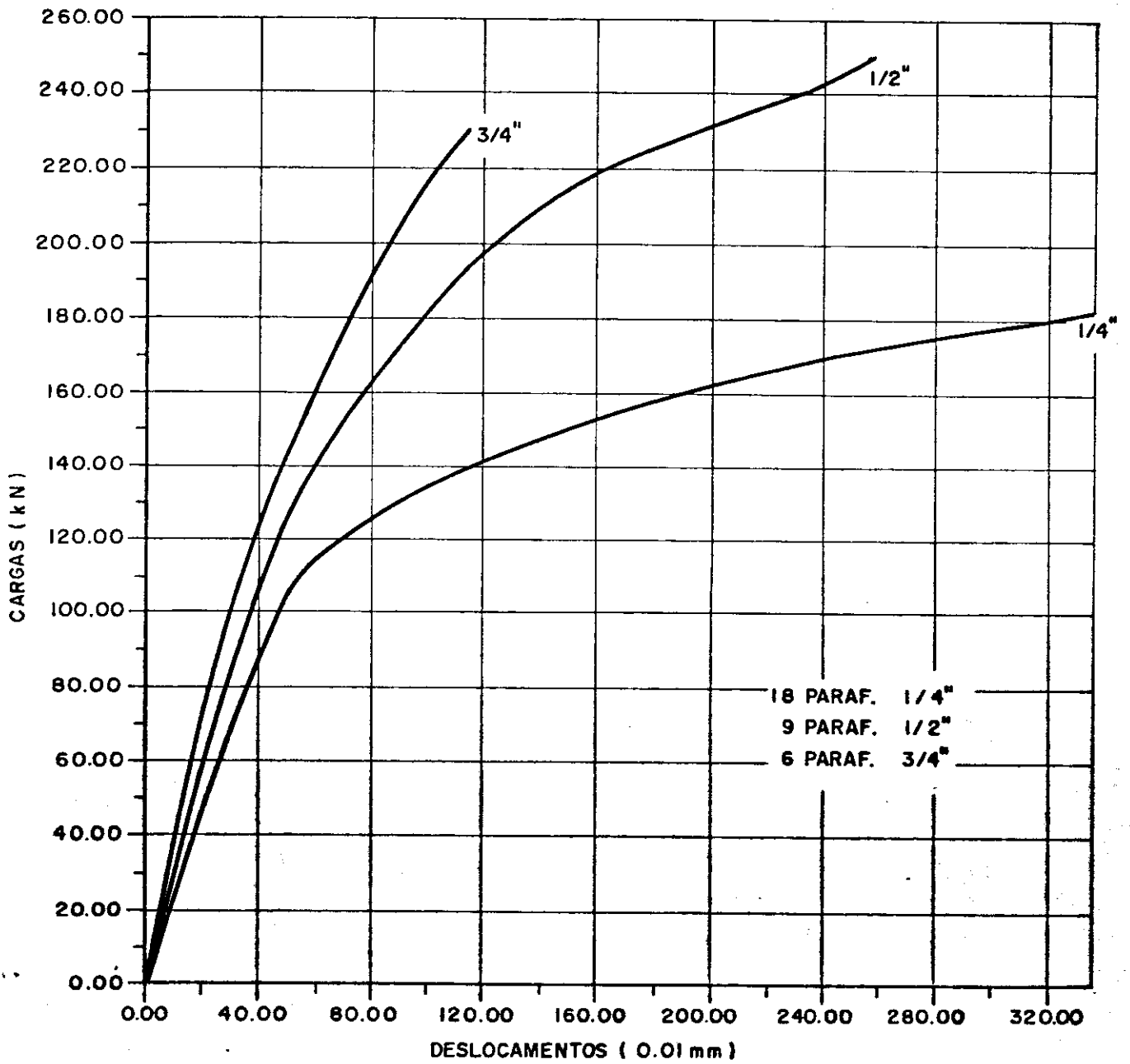


Figura 43- Diagrama carga x deslocamento dos 15 corpos-de-prova ensaiados.

Foi considerado os deslocamentos médios para cada conjunto de 5 corpos-de-prova ensaiados.

A tabela V consta os valores de b espessura do elemento central da ligação. Estas espessuras variam de 2cm até 10cm .

Consta também nesta tabela os diâmetros de parafusos variando com os valores de 0.635cm até 2.54cm.

TABELA V- VALORES DE b/DDELTA

| DELTA  | b=2cm  | b=3cm  | b=4cm  | b=5cm  | b=6cm  | b=7cm   |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|
| 0,6350 | 3,1496 | 4,7244 | 6,2992 | 7,8740 | 9,4488 | 11,0236 |
| 0,7937 | 2,5198 | 3,7798 | 5,0397 | 6,2996 | 7,5595 | 8,8195  |
| 0,9525 | 2,0997 | 3,1496 | 4,1995 | 5,2493 | 6,2992 | 7,3491  |
| 1,1113 | 1,7997 | 2,6995 | 3,5994 | 4,4992 | 5,3991 | 6,2989  |
| 1,2700 | 1,5748 | 2,3622 | 3,1496 | 3,9370 | 4,7244 | 5,5118  |
| 1,4287 | 1,3999 | 2,0998 | 2,7997 | 3,4997 | 4,1996 | 4,8996  |
| 1,5875 | 1,2598 | 1,8898 | 2,5197 | 3,1496 | 3,7795 | 4,4094  |
| 1,7462 | 1,1453 | 1,7180 | 2,2907 | 2,8634 | 3,4360 | 4,0087  |
| 1,9050 | 1,0499 | 1,5748 | 2,0997 | 2,6247 | 3,1496 | 3,6745  |
| 2,0637 | 0,9691 | 1,4537 | 1,9383 | 2,4228 | 2,9074 | 3,3920  |
| 2,2225 | 0,8999 | 1,3498 | 1,7998 | 2,2497 | 2,6997 | 3,1496  |
| 2,3812 | 0,8399 | 1,2599 | 1,6798 | 2,0998 | 2,5197 | 2,9397  |
| 2,5400 | 0,7874 | 1,1811 | 1,5748 | 1,9685 | 2,3622 | 2,7559  |

|  | b=8cm   | b=9cm   | b=10cm  |
|--|---------|---------|---------|
|  | 12,5984 | 14,1732 | 15,7480 |
|  | 10,0794 | 11,3393 | 12,5992 |
|  | 8,3990  | 9,4488  | 10,4987 |
|  | 7,1988  | 8,0986  | 8,9985  |
|  | 6,2992  | 7,0866  | 7,8740  |
|  | 5,5995  | 6,2994  | 6,9994  |
|  | 5,0394  | 5,6693  | 6,2992  |
|  | 4,5814  | 5,1540  | 5,7267  |
|  | 4,1995  | 4,7244  | 5,2493  |
|  | 3,8765  | 4,3611  | 4,8457  |
|  | 3,5996  | 4,0495  | 4,4994  |
|  | 3,3597  | 3,7796  | 4,1996  |
|  | 3,1496  | 3,5433  | 3,9370  |

Na tabela VI cada em cada coluna com o valor da tensão ten corresponde a um valor de b : 2,3,4,5,6,7cm respectivamente.

Os valores da tensão de compressão paralela as fibras :ten, é  $\text{kN/cm}^2$

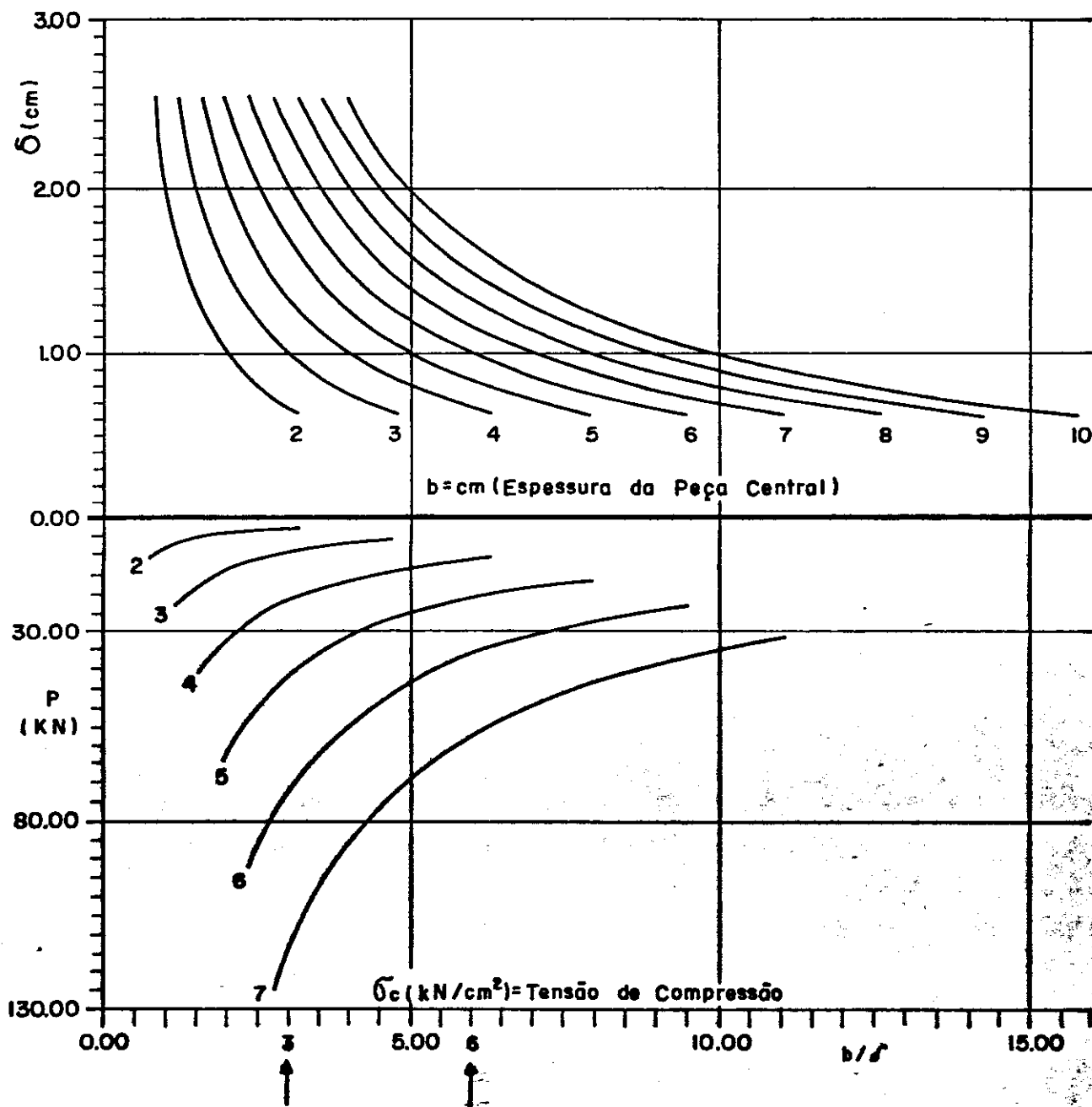
TABELA VI- VALORES DE  $F[\text{kN}] = b[\text{cm}] * \text{delta}[\text{cm}] * \text{tensão}[\text{kN/cm}^2]$

| DELTA  | ten=2   | ten=3   | ten=4   | ten=5   | ten=6   | ten=7    |
|--------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|
| DELTA  | F       | F       | F       | F       | F       | F        |
| 0,6350 | 2,5400  | 5,7150  | 10,1600 | 15,8750 | 22,8600 | 31,1150  |
| 0,7937 | 3,1748  | 7,1433  | 12,6992 | 19,8425 | 28,5732 | 38,8913  |
| 0,9525 | 3,8100  | 8,5725  | 15,2400 | 23,8125 | 34,2900 | 46,6725  |
| 1,1113 | 4,4452  | 10,0017 | 17,7808 | 27,7825 | 40,0068 | 54,4537  |
| 1,2700 | 5,0800  | 11,4300 | 20,3200 | 31,7500 | 45,7200 | 62,2300  |
| 1,4287 | 5,7148  | 12,8583 | 22,8592 | 35,7175 | 51,4332 | 70,0063  |
| 1,5875 | 6,3500  | 14,2875 | 25,4000 | 39,6875 | 57,1500 | 77,7875  |
| 1,7462 | 6,9848  | 15,7158 | 27,9392 | 43,6550 | 62,8632 | 85,5638  |
| 1,9050 | 7,6200  | 17,1450 | 30,4800 | 47,6250 | 68,5800 | 93,3450  |
| 2,0637 | 8,2548  | 18,5733 | 33,0192 | 51,5925 | 74,2932 | 101,1213 |
| 2,2225 | 8,8900  | 20,0025 | 35,5600 | 55,5625 | 80,0100 | 108,9025 |
| 2,3812 | 9,5248  | 21,4308 | 38,0992 | 59,5300 | 85,7232 | 116,6788 |
| 2,5400 | 10,1600 | 22,8600 | 40,6400 | 63,5000 | 91,4400 | 124,4600 |

Ten - tensão compressão paralela ás fibras ( $\text{kN/cm}^2$ )

b= espessura de elemento central (cm).





Abaco de pré-dimensionamento.

Figura 45- Gráfico de delta x tensão de compressão

Com o Ábaco da figura 45, podemos determinar o valor da carga do parafuso da ligação, a ser dimensionado.

O valor da esbeltez do parafuso define se a ligação é rígida ou flexível:

De acordo com a bibliografia consultada, Stamato estabeleceu os limites são os seguintes:

parafuso muito rígido:  $b/\delta$  - pequeno  $< 3$ ;

parafuso muito esbelto:  $b/\delta$  - grande  $> 6$ ;

parafuso de esbeltez média - entre 3 e 6.

Neste Ábaco, os valores do diâmetro do parafuso  $\delta$  estão na Tabela V bem como os valores da relação  $b/\delta$ .

Na Tabela VI, estão os valores teóricos da carga  $F$  do parafuso, dado pela fórmula:

$$F = b. \delta. \sigma_c \quad \text{onde:}$$

$F$  = carga da madeira;

$b$  = espessura do elemento central;

$\delta$  = diâmetro do parafuso;

$\sigma_c$  = tensão de compressão paralela às fibras.

TABELA VIII- CÁLCULO TEÓRICO PARA AS LIGAÇÕES COM PARAFUSOS  
DE AÇO CONFORME O ITEM 67 DA NBR-7190/82

| CP | Nº de paraf | $\delta$ | b    | b/ $\delta$ | $\sigma_c$ | $\bar{\sigma}_p$ | W'     | W      | $\bar{F}_p$ | $\bar{F}_p$ total |
|----|-------------|----------|------|-------------|------------|------------------|--------|--------|-------------|-------------------|
| 1  | 18          | 0,635    | 5,27 | 8,30        | 6,43       | 1,1570           | 37,02  | 0,527  | 1,63        | 29,38             |
| 2  | 18          |          | 5,30 | 8,35        | 4,58       | 0,8240           | 51,39  | 0,635  | 1,41        | 25,43             |
| 3  | 18          |          | 5,27 | 8,30        | 4,75       | 0,8543           | 50,14  | 0,626  | 1,43        | 25,77             |
| 4  | 18          |          | 4,94 | 7,78        | 6,50       | 1,1610           | 41,98  | 0,5648 | 1,65        | 29,62             |
| 5  | 18          |          | 4,96 | 7,81        | 6,45       | 1,1642           | 41,53  | 0,5615 | 1,65        | 29,65             |
| 6  | 9           | 1,27     | 5,33 | 4,20        | 5,45       | 0,9882           | 169,48 | 1,52~1 | 5,35        | 48,16             |
| 7  | 9           |          | 5,27 | 4,16        | 5,41       | 0,9736           | 175,96 | 1      | 5,21        | 46,92             |
| 8  | 9           |          | 5,30 | 4,17        | 4,98       | 0,8969           | 188,86 | 1      | 4,83        | 43,47             |
| 9  | 9           |          | 4,98 | 3,92        | 5,83       | 1,0494           | 182,82 | 1      | 5,31        | 47,79             |
| 10 | 9           |          | 4,98 | 3,92        | 6,25       | 1,1248           | 170,56 | 1      | 5,69        | 51,22             |
| 11 | 6           | 1,905    | 5,27 | 2,77        | 5,57       | 1,0031           | 384,28 | 1      | 8,06        | 48,34             |
| 12 | 6           |          | 5,27 | 2,77        | 4,49       | 0,8087           | 476,65 | 1      | 6,49        | 38,97             |
| 13 | 6           |          | 5,29 | 2,77        | 6,73       | 1,2107           | 366,69 | 1      | 9,76        | 58,56             |
| 14 | 6           |          | 5,00 | 2,62        | 6,39       | 1,1502           | 372,30 | 1      | 8,76        | 52,57             |
| 15 | 6           |          | 4,97 | 2,61        | 6,45       | 1,1617           | 373,08 | 1      | 8,80        | 52,79             |

CP - corpo-de-prova

$\bar{F}_p = 0,80 \cdot b \cdot \delta \cdot w \cdot \sigma_c$  (kN) item 67 II NBR-7190/82

$\delta$  = diâmetro do parafuso (cm)

b = espessura do elemento central (cm)

$\sigma_c$  = tensão de compressão da madeira paralela às fibras (kN/cm<sup>2</sup>)

$\bar{\sigma}_p$  = tensão de compressão admissível da madeira (kN/cm<sup>2</sup>)

$\bar{F}_p$  = carga admissível

w e w' = coeficientes da NBR-7190/82

TABELA IX- TABELA DE COMPARAÇÃO

| CP | Nº de paraf | Valor Experi-<br>mental<br>Ruptura | $F=b\delta\sigma_c$ | Valor Experi-<br>mental<br>Adm. | $F_{mad adm}$ | $\bar{F}_p$ | 50%<br>L. P. | 20%<br>L. R. | 1,5<br>Desloc.<br>100% |
|----|-------------|------------------------------------|---------------------|---------------------------------|---------------|-------------|--------------|--------------|------------------------|
| 1  | 18          | 13,17                              | 21,51               | 2,63                            | 4,30          | 1,63        | 1,94         | 2,63         | 8,39                   |
| 2  | 18          | 12,67                              | 15,40               | 2,53                            | 3,08          | 1,42        | 2,78         | 2,53         | 8,31                   |
| 3  | 18          | 13,50                              | 15,88               | 2,70                            | 3,18          | 1,43        | 2,08         | 2,70         | 8,53                   |
| 4  | 18          | 13,05                              | 20,23               | 2,61                            | 4,04          | 1,65        | 1,69         | 2,61         | 8,81                   |
| 5  | 18          | 14,94                              | 20,37               | 2,99                            | 4,07          | 1,65        | 1,67         | 2,99         | 8,81                   |
| 6  | 9           | 35,11                              | 37,16               | 7,02                            | 7,43          | 5,35        | 2,36         | 7,02         | 27,05                  |
| 7  | 9           | 38,89                              | 36,20               | 7,78                            | 7,24          | 5,21        | 4,00         | 7,78         | 19,89                  |
| 8  | 9           | 29,67                              | 33,41               | 5,93                            | 6,68          | 4,83        | 5,00         | 5,93         | 24,67                  |
| 9  | 9           | 37,22                              | 36,87               | 7,44                            | 7,37          | 5,33        | 4,72         | 7,44         | -                      |
| 10 | 9           | 36,78                              | 39,52               | 7,35                            | 7,90          | 5,69        | 3,89         | 7,35         | -                      |
| 11 | 6           | 38,17                              | 55,95               | 7,63                            | 11,19         | 8,05        | 5,83         | 7,63         | -                      |
| 12 | 6           | 42,00                              | 45,11               | 8,40                            | 9,02          | 6,50        | 5,42         | 8,40         | -                      |
| 13 | 6           | 44,00                              | 67,78               | 8,80                            | 13,56         | 9,76        | 6,25         | 8,80         | -                      |
| 14 | 6           | 54,17                              | 60,28               | 10,83                           | 12,06         | 8,76        | 7,50         | 10,83        | -                      |
| 15 | 6           | 56,67                              | 61,10               | 11,33                           | 12,22         | 8,80        | 9,58         | 11,33        | -                      |

item 66 a) da NBR-7190/82

L.P. = limite de proporcionalidade

L.R. = limite de resistência

$F_{mad adm}$  = carga teórica admissível da madeira ( $kN/cm^2$ )

b = espessura do elemento central da ligação (cm)

$\delta$  = diâmetro do parafuso (cm)

$\sigma_c$  = tensão de compressão paralela às fibras ( $kN/cm^2$ )

$\bar{F}_p$  = carga admissível paralela às fibras (kN),

item 67 da NBR-7190/82

Na Tabela IX , verificamos que os valores teóricoadmissíveis obtidos através da fórmula  $F_{\text{mod. adm}} = b \delta \bar{\sigma}_c$  são superiores aos valores obtidos experimentalmente.

Os valores teóricos admissíveis obtidos através da fórmula  $F_p = 0.8 b \delta w \bar{\sigma}_c$ , de acordo com o item 67 da NBR-7190/82, são inferiores aos valores obtidos experimentalmente e os teoricamente.

Em consideração ao item 66a da NBR-7190/82, notamos que:

50% do limite de proporcionalidade são bem inferiores aos outros valores anteriormente obtidos.

20% do limite de resistência equivale aos valores obtidos experimentalmente.

1,5mm de deslocamento, são valores obtidos anteriormente.

No caso dos parafusos com grande rigidez, não é possível atingir 1,5mm de deslocamento entre os elementos da ligação, pois neste caso já houve a ruptura da ligação.

TABELA X - TABELA PARA CÁLCULO DOS INTERVALOS DE CONFIANÇA COM 95% VALORES ADMISSÍVEIS

| $\delta$ (cm)  | N <sup>o</sup> de Evento | N <sup>o</sup> de G. L. | Média  | s     | $\bar{s}$ | $\frac{ta/2}{s \bar{x}}$ | L. I. | L. S.  |
|--|--------------------------|-------------------------|--------|-------|-----------|--------------------------|-------|--------|
| Valores Experimentais  |                          |                         |        |       |           |                          |       |        |
| 0,635  | 5                        | 4                       | 2,693  | 0,175 | 0,078     | 0,218'                   | 2,476 | 2,911  |
| 1,270  | 5                        | 4                       | 7,106  | 0,709 | 0,317     | 0,879                    | 6,226 | 7,986  |
| 1,905  | 5                        | 4                       | 9,399  | 1,601 | 0,715     | 1,987                    | 7,411 | 11,386 |
| Valores Teóricos $P_{mad adm} = b \delta \sigma_c$                       |                          |                         |        |       |           |                          |       |        |
| 0,635  | 5                        | 4                       | 3,736  | 0,564 | 0,252     | 0,700                    | 3,036 | 4,437  |
| 1,27   | 5                        | 4                       | 7,326  | 0,439 | 0,197     | 0,545                    | 6,781 | 7,872  |
| 1,905  | 5                        | 4                       | 11,609 | 1,676 | 0,709     | 2,080                    | 9,528 | 13,689 |
| Valores Calculados da Norma $\bar{F}_p = b \delta \omega \bar{\sigma}_c$ |                          |                         |        |       |           |                          |       |        |
| 0,635  | 5                        | 4                       | 1,554  | 0,120 | 0,058     | 0,149                    | 1,404 | 1,703  |
| 1,27   | 5                        | 4                       | 5,279  | 0,309 | 0,138     | 0,384                    | 4,895 | 5,663  |
| 1,905  | 5                        | 4                       | 8,375  | 1,213 | 0,543     | 1,506                    | 6,869 | 9,881  |

$ta/2 = 2,776$

$\alpha = 5\%$

L.I. = limite inferior

L.S. = limite superior

$\sigma$  : variância da amostra

Intervalo de confiança para média  $\mu$  da população é dado por

$$\bar{x} - ta/2 \frac{s}{\sqrt{N}} < \mu < \bar{x} + ta/2 \frac{s}{\sqrt{N}}$$

Para o cálculo da Tabela X, foi empregada a Análise Estatística sendo usada a distribuição t de Student para determinar os limites inferiores e limites superiores para intervalos de confiança com 95% de significância.

Estes limites demonstram as variações e as dispersões em torno da média da população analisada.

Estes limites permitem, ao engenheiro calculista estrutural, estabelecer limites quando no dimensionamento da ligação parafusada.

## CAP7- CONCLUSÕES

### PARAFUSO RÍGIDO

Uma das maneiras mais difundidas de ligação de peças estruturais de madeira tem sido a utilização de parafusos de aço.

Os parafusos são rígidos. Admite-se que eles transmitem carga distribuída  $f$  a madeira.

Para os cálculos das ligações, foram consideradas as seguintes hipóteses:

- 1) Considera-se as cargas central e laterais como sendo concentradas e com valores  $F = b \times f$  e as reações  $R = bf/2$  respectivamente, sendo  $b$  a espessura da peça central da ligação conforme é mostrado na Figura 46.
- 2) O vão livre entre as reações será  $l = 1,5b$ .
- 3) O módulo de elasticidade adotado para aço é  
 $E = 21000 \text{ kN/cm}^2$
- 4) Considera-se o parafuso como viga metálica biapoiada.
- 5) Da Norma NBR-8800/86, Projetos e Execução de Estruturas de Aço de Edifícios, considerando-se o valor da flecha admissível para viga metálica biapoiada como sendo:

$$\bar{w} = l/360$$

- 6) Da resistência dos materiais, considera-se a flecha de uma viga biapoiada com carga concentrada:

$$w = pl^3/48 E I$$

onde:

$$I = \text{momento de inércia da seção do parafuso} \\ = \pi \delta^4/64 \quad \delta = \text{diâmetro do parafuso}$$

7) Considera-se a flecha resistente menor ou igual à flecha admissível. Então teremos:

$$\frac{Fl^3}{48 EI} \leq \frac{l}{360}$$

Dividindo-se ambos os lados por l, tem-se:

$$\frac{Fl^2}{48 EI} \leq \frac{1}{360}$$

Substituindo-se os valores de l, E e I, chega-se a:

$$\frac{F(1,5b)^2 \cdot 64}{48 \cdot 21000 \cdot \pi \cdot \delta^4} \leq \frac{1}{360}$$

Assim, o valor de F será:

$$F_{\text{par adm}} = 61,0865 \frac{\delta^4}{b^2} \quad (\text{kN})$$

Esta carga é considerada como sendo a carga máxima transmissível à madeira, ressaltando-se a rigidez ao parafuso, a ocorrência de flecha desprezível e a manutenção de carga distribuída ao longo do parafuso.

Na Tabela XI é apresentado o resultado da aplicação da equação acima, e na figura 47, o traçado das retas correspondentes à aplicação da mesma equação longitudinal:

$$\log F_{\text{par adm}} = \log (61,0865 \delta^4) + \log (1/b^2)$$

Os valores do diâmetro  $\delta$  dos parafusos são:

|      |        | Diâmetro do Parafuso $\delta$ |        |       |        |       |        |  |
|------|--------|-------------------------------|--------|-------|--------|-------|--------|--|
| cm   | 0,64   | 0,79                          | 0,95   | 1,11  | 1,27   | 1,43  | 1,59   |  |
| pol. | 1/4"   | 5/16"                         | 3/8"   | 7/16" | 1/2"   | 9/16" | 5/8"   |  |
| cm   | 1,75   | 1,91                          | 2,06   | 2,22  | 2,38   | 2,54  |        |  |
| pol. | 11/16" | 3/4"                          | 13/16" | 7/8"  | 15/16" | 1"    |        |  |
| cm   | 2,70   | 2,86                          | 3,02   | 3,18  | 3,33   | 3,49  | 3,65   |  |
| pol. | 11/16" | 11/8"                         | 13/16" | 11/4" | 15/16" | 13/8" | 17/16" |  |
| cm   | 3,81   |                               |        |       |        |       |        |  |
| pol. | 1 1/2" |                               |        |       |        |       |        |  |

Os valores da espessura b do elemento central em cm são: 1,2 ...., 21



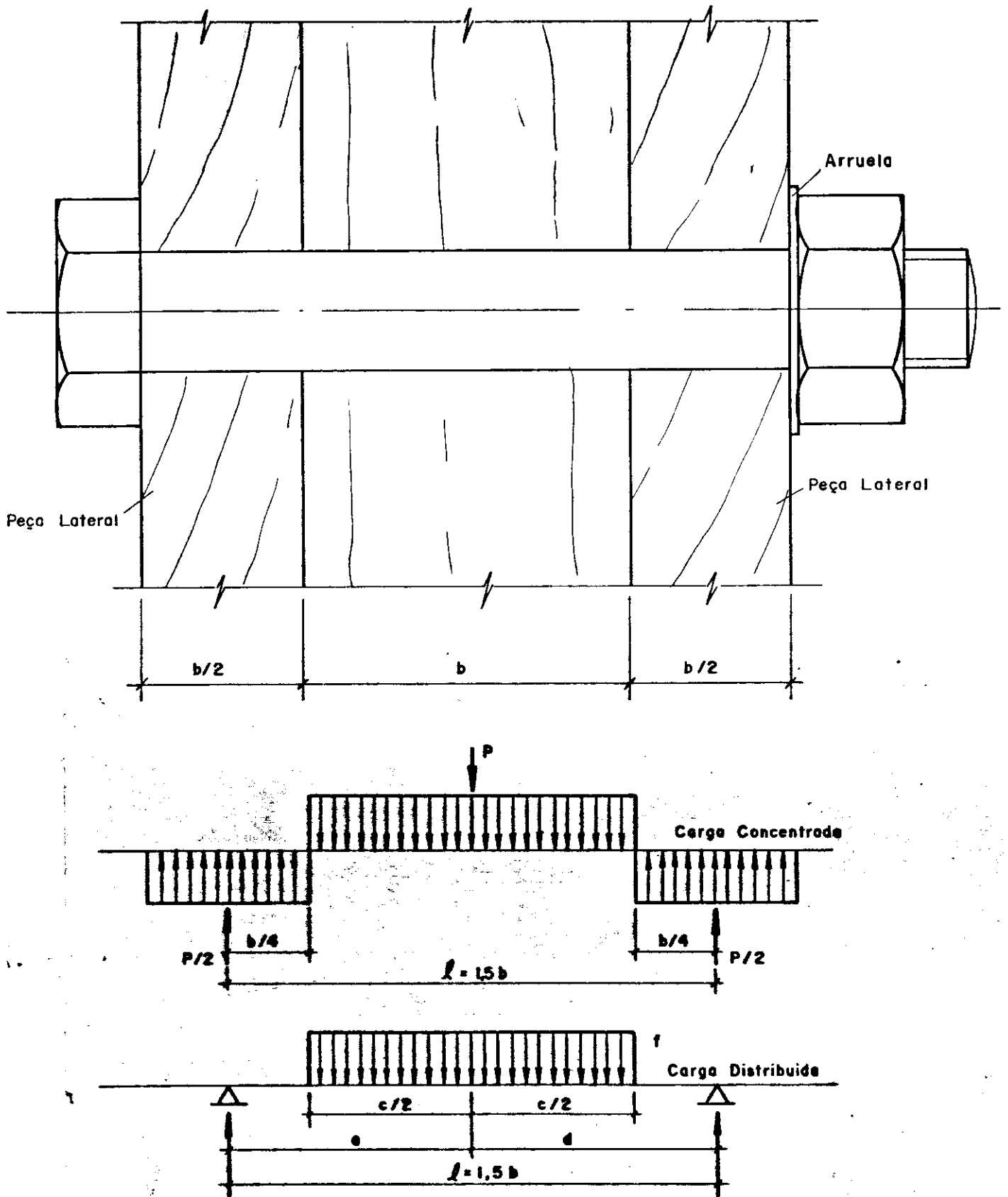


Figura 4B

TABELA XI

$$F_{par adm} = 61,0865 * \delta^{**4}/b^{**2} \text{ (kN)}$$

del = diametro do parafuso

| b<br>(cm) | del (cm)<br>0,64 | del (cm)<br>0,79 | del (cm)<br>0,95 | del (cm)<br>1,11 | del (cm)<br>1,27 | del (cm)<br>1,43 | del (cm)<br>1,59 |
|-----------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
|           | Fpar adm1        | Fpar adm2        | Fpar adm3        | Fpar adm4        | Fpar adm5        | Fpar adm6        | Fpar adm7        |
| 1,00      | 9,93             | 24,25            | 50,28            | 93,17            | 158,91           | 254,58           | 388,36           |
| 2,00      | 2,48             | 6,06             | 12,57            | 23,29            | 39,73            | 63,65            | 97,09            |
| 3,00      | 1,10             | 2,69             | 5,59             | 10,35            | 17,66            | 28,29            | 43,15            |
| 4,00      | 0,62             | 1,52             | 3,14             | 5,82             | 9,93             | 15,91            | 24,27            |
| 5,00      | 0,40             | 0,97             | 2,01             | 3,73             | 6,36             | 10,18            | 15,53            |
| 6,00      | 0,28             | 0,67             | 1,40             | 2,59             | 4,41             | 7,07             | 10,79            |
| 7,00      | 0,20             | 0,49             | 1,03             | 1,90             | 3,24             | 5,20             | 7,93             |
| 8,00      | 0,16             | 0,38             | 0,79             | 1,46             | 2,48             | 3,98             | 6,07             |
| 9,00      | 0,12             | 0,30             | 0,62             | 1,15             | 1,96             | 3,14             | 4,79             |
| 10,00     | 0,10             | 0,24             | 0,50             | 0,93             | 1,59             | 2,55             | 3,88             |
| 11,00     | 0,08             | 0,20             | 0,42             | 0,77             | 1,31             | 2,10             | 3,21             |
| 12,00     | 0,07             | 0,17             | 0,35             | 0,65             | 1,10             | 1,77             | 2,70             |
| 13,00     | 0,06             | 0,14             | 0,30             | 0,55             | 0,94             | 1,51             | 2,30             |
| 14,00     | 0,05             | 0,12             | 0,26             | 0,48             | 0,81             | 1,30             | 1,98             |
| 15,00     | 0,04             | 0,11             | 0,22             | 0,41             | 0,71             | 1,13             | 1,73             |
| 16,00     | 0,04             | 0,09             | 0,20             | 0,36             | 0,62             | 0,99             | 1,52             |
| 17,00     | 0,03             | 0,08             | 0,17             | 0,32             | 0,55             | 0,88             | 1,34             |
| 18,00     | 0,03             | 0,07             | 0,16             | 0,28             | 0,49             | 0,79             | 1,20             |
| 19,00     | 0,03             | 0,07             | 0,14             | 0,26             | 0,44             | 0,71             | 1,08             |
| 20,00     | 0,02             | 0,06             | 0,13             | 0,23             | 0,40             | 0,64             | 0,97             |
| 21,00     | 0,02             | 0,05             | 0,11             | 0,21             | 0,36             | 0,58             | 0,88             |

| b<br>(cm) | del (cm)<br>1,75 | del (cm)<br>1,91 | del (cm)<br>2,06 | del (cm)<br>2,22 | del (cm)<br>2,38 | del (cm)<br>2,54 | del (cm)<br>2,70 |
|-----------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
|           | Fpar adm8        | Fpar adm9        | Fpar adm10       | Fpar adm11       | Fpar adm12       | Fpar adm13       | Fpar adm14       |
| 1,00      | 568,09           | 804,50           | 1108,19          | 1490,43          | 1964,27          | 2542,61          | 3240,62          |
| 2,00      | 142,02           | 201,12           | 277,05           | 372,61           | 491,07           | 635,65           | 810,15           |
| 3,00      | 63,12            | 89,39            | 123,13           | 165,60           | 218,25           | 282,51           | 360,07           |
| 4,00      | 35,51            | 50,28            | 69,26            | 93,15            | 122,77           | 158,91           | 202,54           |
| 5,00      | 22,72            | 32,18            | 44,33            | 59,62            | 78,57            | 101,70           | 129,62           |
| 6,00      | 15,78            | 22,35            | 30,78            | 41,40            | 54,56            | 70,63            | 90,02            |
| 7,00      | 11,59            | 16,42            | 22,62            | 30,42            | 40,09            | 51,89            | 66,14            |
| 8,00      | 8,88             | 12,57            | 17,32            | 23,29            | 30,69            | 39,73            | 50,63            |
| 9,00      | 7,01             | 9,93             | 13,68            | 18,40            | 24,25            | 31,39            | 40,01            |
| 10,00     | 5,68             | 8,04             | 11,08            | 14,90            | 19,64            | 25,43            | 32,41            |
| 11,00     | 4,69             | 6,65             | 9,16             | 12,32            | 16,23            | 21,01            | 26,78            |
| 12,00     | 3,95             | 5,59             | 7,70             | 10,35            | 13,64            | 17,66            | 22,50            |
| 13,00     | 3,36             | 4,76             | 6,56             | 8,82             | 11,62            | 15,05            | 19,18            |
| 14,00     | 2,90             | 4,10             | 5,65             | 7,60             | 10,02            | 12,97            | 16,53            |
| 15,00     | 2,52             | 3,58             | 4,93             | 6,62             | 8,73             | 11,30            | 14,40            |
| 16,00     | 2,22             | 3,14             | 4,33             | 5,82             | 7,67             | 9,93             | 12,66            |
| 17,00     | 1,97             | 2,78             | 3,83             | 5,16             | 6,80             | 8,80             | 11,21            |
| 18,00     | 1,76             | 2,48             | 3,39             | 4,60             | 6,06             | 7,85             | 10,00            |
| 19,00     | 1,57             | 2,23             | 3,07             | 4,13             | 5,44             | 7,04             | 8,98             |
| 20,00     | 1,42             | 2,01             | 2,77             | 3,73             | 4,91             | 6,36             | 8,10             |
| 21,00     | 1,29             | 1,82             | 2,51             | 3,38             | 4,45             | 5,77             | 7,35             |

Continuação da TABELA XI

|       | del (cm)  | del (cm)  | del (cm)  | del (cm)  | del (cm)  | del (cm)  | del (cm)  |
|-------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| b     | 2,86      | 3,02      | 3,18      | 3,33      | 3,49      | 3,65      | 3,81      |
| (cm)  | Fpa adm15 | Fpa adm16 | Fpa adm17 | Fpa adm18 | Fpa adm19 | Fpa adm20 | Fpa adm21 |
| 1,00  | 4072,77   | 5056,42   | 6207,55   | 7545,77   | 9088,47   | 10857,64  | 12871,97  |
| 2,00  | 1018,19   | 1264,11   | 1551,89   | 1886,44   | 2272,12   | 2714,41   | 3217,99   |
| 3,00  | 452,53    | 561,82    | 689,73    | 836,42    | 1009,83   | 1206,40   | 1430,22   |
| 4,00  | 254,55    | 316,03    | 387,97    | 471,61    | 568,03    | 678,60    | 804,50    |
| 5,00  | 162,91    | 202,26    | 248,30    | 301,83    | 363,54    | 434,31    | 514,88    |
| 6,00  | 113,13    | 140,46    | 172,43    | 209,60    | 252,46    | 301,60    | 357,55    |
| 7,00  | 83,12     | 103,19    | 126,68    | 154,00    | 185,48    | 221,58    | 262,69    |
| 8,00  | 63,64     | 79,01     | 96,99     | 117,90    | 142,01    | 169,65    | 201,12    |
| 9,00  | 50,28     | 62,42     | 76,64     | 93,16     | 112,20    | 134,04    | 158,91    |
| 10,00 | 40,73     | 50,56     | 62,08     | 75,46     | 90,88     | 108,58    | 128,72    |
| 11,00 | 33,66     | 41,79     | 51,30     | 62,36     | 75,11     | 89,73     | 106,38    |
| 12,00 | 28,28     | 35,11     | 43,11     | 52,40     | 63,11     | 75,40     | 89,39     |
| 13,00 | 24,10     | 29,92     | 36,73     | 44,65     | 53,78     | 64,25     | 76,17     |
| 14,00 | 20,78     | 25,80     | 31,67     | 38,50     | 46,37     | 55,40     | 65,67     |
| 15,00 | 18,10     | 22,47     | 27,59     | 33,54     | 40,39     | 48,26     | 57,21     |
| 16,00 | 15,91     | 19,75     | 24,25     | 29,48     | 35,50     | 42,41     | 50,28     |
| 17,00 | 14,09     | 17,50     | 21,48     | 26,11     | 31,45     | 37,57     | 44,54     |
| 18,00 | 12,57     | 15,61     | 19,16     | 23,28     | 28,05     | 33,51     | 39,73     |
| 19,00 | 11,28     | 14,01     | 17,20     | 20,90     | 25,18     | 30,08     | 35,66     |
| 20,00 | 10,18     | 12,64     | 15,52     | 18,86     | 22,72     | 27,14     | 32,18     |
| 21,00 | 9,24      | 11,47     | 14,08     | 17,11     | 20,61     | 24,62     | 29,19     |

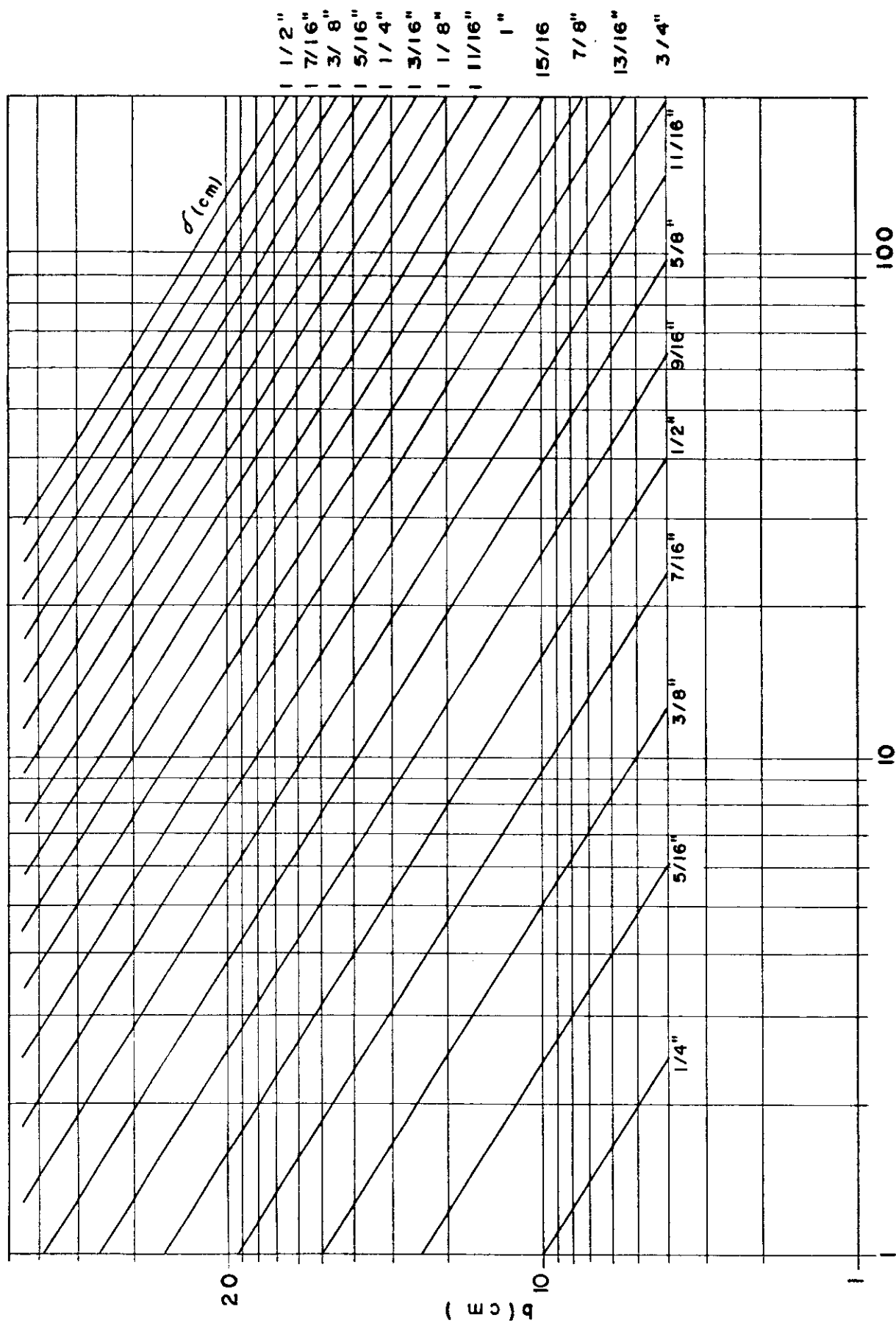


Figura 47

Considerando-se a flecha de uma viga biapoiada com carga distribuída parcialmente no centro da viga temos a seguinte fórmula da resistência dos materiais:

$$w = \frac{p c}{6EI} \left[ \frac{a d}{l} \left( 2al - 2a^2 - \frac{c^2}{4} \right) + \frac{c^3}{64} \right],$$

$$\text{onde : } a = \frac{1,5 b}{2} = d$$

$$c = b$$

$$l = 1,5 b$$

Considerando a mesma flecha para uma viga metálica e fazendo as substituições teremos o valor da carga para F para o parafuso :

$$F_{\text{par adm}} = 71,9318 \frac{\delta^4}{b^3} \text{ (kN)}$$

Na Tabela XII é apresentado o resultado da aplicação da equação acima, e na figura 48, o traçado das retas correspondentes à aplicação da mesma equação logaritimizada:

$$\log F_{\text{par adm}} = \log ( 71,9318 \delta^4 ) + \log ( 1/b^3 )$$

Comparando-se os resultados dos dois casos adotados: com carga concentrada e com carga uniformemente distribuída parcialmente ao longo do vão 1,5b, notamos que os valores para a o primeiro caso são inferiores e portanto a favor da segurança.

Tabela XII

$F_{par adm} = 74,931818 * \delta^{**4}/b^{**3}$  (kN)

| b [cm] | del (cm)  | del (cm)  | del (cm)  | del (cm)  | del (cm)  | del (cm)  | del (cm)  |
|--------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|        | 0,64      | 0,79      | 0,95      | 1,11      | 1,27      | 1,43      | 1,59      |
|        | Fpar adm1 | Fpar adm2 | Fpar adm3 | Fpar adm4 | Fpar adm5 | Fpar adm6 | Fpar adm7 |
| 1,000  | 12,571    | 29,186    | 61,032    | 113,752   | 194,931   | 313,336   | 478,911   |
| 2,000  | 1,571     | 3,648     | 7,629     | 14,219    | 24,366    | 39,167    | 59,864    |
| 3,000  | 0,466     | 1,081     | 2,260     | 4,213     | 7,220     | 11,605    | 17,737    |
| 4,000  | 0,196     | 0,456     | 0,954     | 1,777     | 3,046     | 4,896     | 7,483     |
| 5,000  | 0,101     | 0,233     | 0,488     | 0,910     | 1,559     | 2,507     | 3,831     |
| 6,000  | 0,058     | 0,135     | 0,283     | 0,527     | 0,902     | 1,451     | 2,217     |
| 7,000  | 0,037     | 0,085     | 0,178     | 0,332     | 0,566     | 0,914     | 1,396     |
| 8,000  | 0,025     | 0,057     | 0,119     | 0,222     | 0,381     | 0,612     | 0,935     |
| 9,000  | 0,017     | 0,040     | 0,084     | 0,156     | 0,267     | 0,430     | 0,657     |
| 10,000 | 0,013     | 0,029     | 0,061     | 0,114     | 0,195     | 0,313     | 0,479     |
| 11,000 | 0,009     | 0,022     | 0,046     | 0,085     | 0,146     | 0,235     | 0,360     |
| 12,000 | 0,007     | 0,017     | 0,035     | 0,066     | 0,113     | 0,181     | 0,277     |
| 13,000 | 0,006     | 0,013     | 0,028     | 0,052     | 0,089     | 0,143     | 0,218     |
| 14,000 | 0,005     | 0,011     | 0,022     | 0,041     | 0,071     | 0,114     | 0,175     |
| 15,000 | 0,004     | 0,009     | 0,018     | 0,034     | 0,058     | 0,093     | 0,142     |
| 16,000 | 0,003     | 0,007     | 0,015     | 0,028     | 0,048     | 0,076     | 0,117     |
| 17,000 | 0,003     | 0,006     | 0,012     | 0,023     | 0,040     | 0,064     | 0,097     |
| 17,000 | 0,003     | 0,006     | 0,012     | 0,023     | 0,040     | 0,064     | 0,097     |
| 19,000 | 0,002     | 0,004     | 0,009     | 0,017     | 0,028     | 0,046     | 0,070     |
| 20,000 | 0,002     | 0,004     | 0,008     | 0,014     | 0,024     | 0,039     | 0,060     |
| 21,000 | 0,001     | 0,003     | 0,007     | 0,012     | 0,021     | 0,034     | 0,052     |

| b (cm) | del (cm)  | del (cm)  | del (cm)  | del (cm)  | del (cm)  | del (cm)  | del (cm)  |
|--------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|        | 1,75      | 1,91      | 2,06      | 2,22      | 2,38      | 2,54      | 2,70      |
|        | Fpar adm8 | Fpar adm9 | Fpa adm10 | Fpa adm11 | Fpa adm12 | Fpa adm13 | Fpa adm14 |
| 1,000  | 702,778   | 997,240   | 1349,383  | 1820,028  | 2404,219  | 3118,898  | 3982,184  |
| 2,000  | 87,847    | 124,655   | 168,673   | 227,504   | 300,527   | 389,862   | 497,773   |
| 3,000  | 26,029    | 36,935    | 49,977    | 67,408    | 89,045    | 115,515   | 147,488   |
| 4,000  | 10,981    | 15,582    | 21,084    | 28,438    | 37,566    | 48,733    | 62,222    |
| 5,000  | 5,622     | 7,978     | 10,795    | 14,560    | 19,234    | 24,951    | 31,857    |
| 6,000  | 3,254     | 4,617     | 6,247     | 8,426     | 11,131    | 14,439    | 18,436    |
| 7,000  | 2,049     | 2,907     | 3,934     | 5,306     | 7,009     | 9,093     | 11,610    |
| 8,000  | 1,373     | 1,948     | 2,636     | 3,555     | 4,696     | 6,092     | 7,778     |
| 9,000  | 0,964     | 1,368     | 1,851     | 2,497     | 3,298     | 4,278     | 5,463     |
| 10,000 | 0,703     | 0,997     | 1,349     | 1,820     | 2,404     | 3,119     | 3,982     |
| 11,000 | 0,528     | 0,749     | 1,014     | 1,367     | 1,806     | 2,343     | 2,992     |
| 12,000 | 0,407     | 0,577     | 0,781     | 1,053     | 1,391     | 1,805     | 2,305     |
| 13,000 | 0,320     | 0,454     | 0,614     | 0,828     | 1,094     | 1,420     | 1,813     |
| 14,000 | 0,256     | 0,363     | 0,492     | 0,663     | 0,876     | 1,137     | 1,451     |
| 15,000 | 0,208     | 0,295     | 0,400     | 0,539     | 0,712     | 0,924     | 1,180     |
| 16,000 | 0,172     | 0,243     | 0,329     | 0,444     | 0,587     | 0,761     | 0,972     |
| 17,000 | 0,143     | 0,203     | 0,275     | 0,370     | 0,489     | 0,635     | 0,811     |
| 17,000 | 0,143     | 0,203     | 0,275     | 0,370     | 0,489     | 0,635     | 0,811     |
| 19,000 | 0,102     | 0,145     | 0,197     | 0,265     | 0,351     | 0,455     | 0,581     |
| 20,000 | 0,088     | 0,125     | 0,169     | 0,228     | 0,301     | 0,390     | 0,498     |
| 21,000 | 0,076     | 0,108     | 0,146     | 0,197     | 0,260     | 0,337     | 0,430     |

Continuação da tabela XII

|        | del (cm)  | del (cm)  | del (cm)  | del (cm)  | del (cm)  | del (cm)  | del (cm)  |
|--------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| b      | 2,86      | 3,02      | 3,18      | 3,33      | 3,49      | 3,65      | 3,81      |
| (cm)   | Fpa adm15 | Fpa adm16 | Fpa adm17 | Fpa adm18 | Fpa adm19 | Fpa adm20 | Fpa adm21 |
| 1,000  | 5013,377  | 6232,956  | 7662,575  | 9213,894  | 11116,50  | 13299,57  | 15789,42  |
| 2,000  | 626,672   | 779,119   | 957,822   | 1151,737  | 1389,562  | 1662,447  | 1973,677  |
| 3,000  | 185,681   | 230,850   | 283,799   | 341,255   | 411,722   | 492,577   | 584,793   |
| 4,000  | 78,334    | 97,390    | 119,728   | 143,967   | 173,695   | 207,806   | 246,710   |
| 5,000  | 40,107    | 49,864    | 61,301    | 73,711    | 88,932    | 106,397   | 126,315   |
| 6,000  | 23,210    | 28,856    | 35,475    | 42,657    | 51,465    | 61,572    | 73,099    |
| 7,000  | 14,616    | 18,172    | 22,340    | 26,863    | 32,410    | 38,774    | 46,033    |
| 8,000  | 9,792     | 12,174    | 14,966    | 17,996    | 21,712    | 25,976    | 30,839    |
| 9,000  | 6,877     | 8,550     | 10,511    | 12,639    | 15,249    | 18,244    | 21,659    |
| 10,000 | 5,013     | 6,233     | 7,663     | 9,214     | 11,116    | 13,300    | 15,789    |
| 11,000 | 3,767     | 4,683     | 5,757     | 6,923     | 8,352     | 9,992     | 11,863    |
| 12,000 | 2,901     | 3,607     | 4,434     | 5,332     | 6,433     | 7,697     | 9,137     |
| 13,000 | 2,282     | 2,837     | 3,488     | 4,194     | 5,060     | 6,054     | 7,187     |
| 14,000 | 1,827     | 2,271     | 2,792     | 3,358     | 4,051     | 4,847     | 5,754     |
| 15,000 | 1,485     | 1,847     | 2,270     | 2,730     | 3,294     | 3,941     | 4,678     |
| 16,000 | 1,224     | 1,522     | 1,871     | 2,249     | 2,714     | 3,247     | 3,855     |
| 17,000 | 1,020     | 1,269     | 1,560     | 1,875     | 2,263     | 2,707     | 3,214     |
| 17,000 | 1,020     | 1,269     | 1,560     | 1,875     | 2,263     | 2,707     | 3,214     |
| 19,000 | 0,731     | 0,909     | 1,117     | 1,343     | 1,621     | 1,939     | 2,302     |
| 20,000 | 0,627     | 0,779     | 0,958     | 1,152     | 1,390     | 1,662     | 1,974     |
| 21,000 | 0,541     | 0,673     | 0,827     | 0,995     | 1,200     | 1,436     | 1,705     |

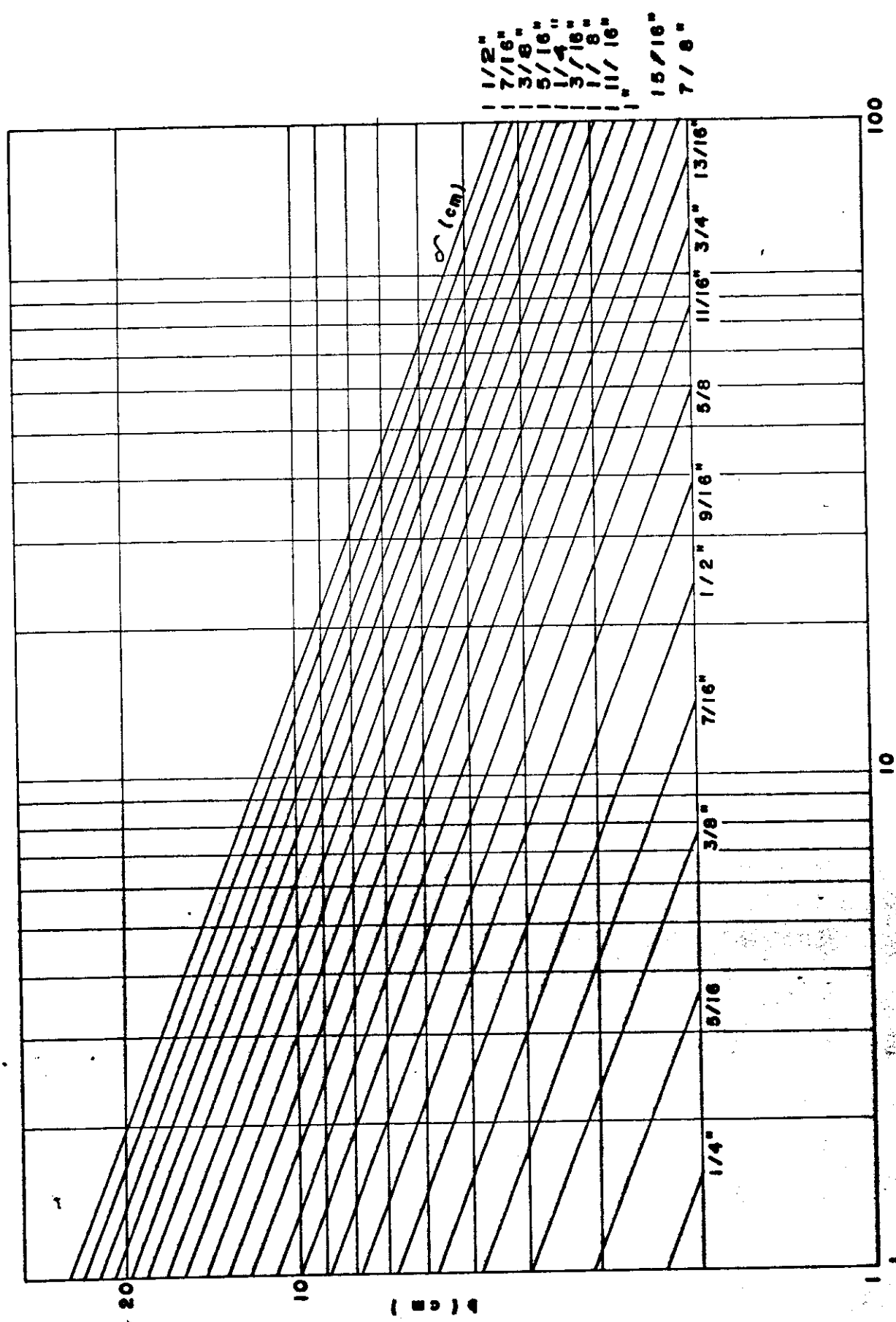


Figura 48



## RESISTÊNCIA DA LIGAÇÃO

A carga recebida pelo parafuso pode ser considerada aplicada à peça central, de espessura  $b$ , ou às peças laterais de espessura  $b/2$ .

A área de aplicação da carga pode ser definida como:

$$A = b \delta \text{ (cm}^2\text{)}$$

Na tabela XIII são apresentados os valores correspondentes para  $1\text{cm} \leq b \leq 21\text{cm}$

Os valores dos diâmetro  $\delta$ , dos parafusos, foram os especificados na Tabela XI.

Os valores da espessura  $b$ , do elementos central da ligação, foram os mesmos da tabela anterior.

$$0,635\text{cm} \leq \delta \leq 3,81\text{cm}$$

$$1,27\text{cm}^2 \leq S \leq 47,625\text{cm}^2$$

Na figura 49 é apresentado o diagrama para a equação logaritmizada

$$\log A = \log b + \log \delta$$

TABELA XIII

$A = b * \text{delta (cm}^2\text{)}$

| b [cm] | delta<br>0,64<br>BS1 | b [cm] | delta<br>0,79<br>BS2 | b [cm] | delta<br>0,95<br>BS3 | b [cm] | delta<br>1,11<br>BS4 |
|--------|----------------------|--------|----------------------|--------|----------------------|--------|----------------------|
| 1,00   | 0,64                 | 1,00   | 0,79                 | 1,00   | 0,95                 | 1,00   | 1,11                 |
| 2,00   | 1,27                 | 2,00   | 1,59                 | 2,00   | 1,91                 | 2,00   | 2,22                 |
| 3,00   | 1,91                 | 3,00   | 2,38                 | 3,00   | 2,86                 | 3,00   | 3,33                 |
| 4,00   | 2,54                 | 4,00   | 3,18                 | 4,00   | 3,81                 | 4,00   | 4,44                 |
| 5,00   | 3,18                 | 5,00   | 3,97                 | 5,00   | 4,76                 | 5,00   | 5,56                 |
| 6,00   | 3,81                 | 6,00   | 4,76                 | 6,00   | 5,72                 | 6,00   | 6,67                 |
| 7,00   | 4,45                 | 7,00   | 5,56                 | 7,00   | 6,67                 | 7,00   | 7,78                 |
| 8,00   | 5,08                 | 8,00   | 6,35                 | 8,00   | 7,62                 | 8,00   | 8,89                 |
| 9,00   | 5,72                 | 9,00   | 7,14                 | 9,00   | 8,57                 | 9,00   | 10,00                |
| 10,00  | 6,35                 | 10,00  | 7,94                 | 10,00  | 9,53                 | 10,00  | 11,11                |
| 11,00  | 6,99                 | 11,00  | 8,73                 | 11,00  | 10,48                | 11,00  | 12,22                |
| 12,00  | 7,62                 | 12,00  | 9,53                 | 12,00  | 11,43                | 12,00  | 13,33                |
| 13,00  | 8,26                 | 13,00  | 10,32                | 13,00  | 12,38                | 13,00  | 14,44                |
| 14,00  | 8,89                 | 14,00  | 11,11                | 14,00  | 13,34                | 14,00  | 15,56                |
| 15,00  | 9,53                 | 15,00  | 11,91                | 15,00  | 14,29                | 15,00  | 16,67                |
| 16,00  | 10,16                | 16,00  | 12,70                | 16,00  | 15,24                | 16,00  | 17,78                |
| 17,00  | 10,80                | 17,00  | 13,49                | 17,00  | 16,19                | 17,00  | 18,89                |
| 17,00  | 10,80                | 17,00  | 13,49                | 17,00  | 16,19                | 17,00  | 18,89                |
| 19,00  | 12,07                | 19,00  | 15,08                | 19,00  | 18,10                | 19,00  | 21,11                |
| 20,00  | 12,70                | 20,00  | 15,88                | 20,00  | 19,05                | 20,00  | 22,22                |
| 21,00  | 13,34                | 21,00  | 16,67                | 21,00  | 20,00                | 21,00  | 23,33                |

| b [cm] | delta<br>1,27<br>BS5 | b [cm] | delta<br>1,43<br>BS6 | b [cm] | delta<br>1,59<br>BS7 | b [cm] | delta<br>1,75<br>BS8 |
|--------|----------------------|--------|----------------------|--------|----------------------|--------|----------------------|
| 1,00   | 1,27                 | 1,00   | 1,43                 | 1,00   | 1,59                 | 1,00   | 1,75                 |
| 2,00   | 2,54                 | 2,00   | 2,86                 | 2,00   | 3,18                 | 2,00   | 3,49                 |
| 3,00   | 3,81                 | 3,00   | 4,29                 | 3,00   | 4,76                 | 3,00   | 5,24                 |
| 4,00   | 5,08                 | 4,00   | 5,72                 | 4,00   | 6,35                 | 4,00   | 6,99                 |
| 5,00   | 6,35                 | 5,00   | 7,14                 | 5,00   | 7,94                 | 5,00   | 8,73                 |
| 6,00   | 7,62                 | 6,00   | 8,57                 | 6,00   | 9,53                 | 6,00   | 10,48                |
| 7,00   | 8,89                 | 7,00   | 10,00                | 7,00   | 11,12                | 7,00   | 12,22                |
| 8,00   | 10,16                | 8,00   | 11,43                | 8,00   | 12,70                | 8,00   | 13,97                |
| 9,00   | 11,43                | 9,00   | 12,86                | 9,00   | 14,29                | 9,00   | 15,72                |
| 10,00  | 12,70                | 10,00  | 14,29                | 10,00  | 15,88                | 10,00  | 17,46                |
| 11,00  | 13,97                | 11,00  | 15,72                | 11,00  | 17,47                | 11,00  | 19,21                |
| 12,00  | 15,24                | 12,00  | 17,15                | 12,00  | 19,05                | 12,00  | 20,96                |
| 13,00  | 16,51                | 13,00  | 18,57                | 13,00  | 20,64                | 13,00  | 22,70                |
| 14,00  | 17,78                | 14,00  | 20,00                | 14,00  | 22,23                | 14,00  | 24,45                |
| 15,00  | 19,05                | 15,00  | 21,43                | 15,00  | 23,82                | 15,00  | 26,19                |
| 16,00  | 20,32                | 16,00  | 22,86                | 16,00  | 25,41                | 16,00  | 27,94                |
| 17,00  | 21,59                | 17,00  | 24,29                | 17,00  | 26,99                | 17,00  | 29,69                |
| 17,00  | 21,59                | 17,00  | 24,29                | 17,00  | 26,99                | 17,00  | 29,69                |
| 19,00  | 24,13                | 19,00  | 27,15                | 19,00  | 30,17                | 19,00  | 33,18                |
| 20,00  | 25,40                | 20,00  | 28,58                | 20,00  | 31,76                | 20,00  | 34,93                |
| 21,00  | 26,67                | 21,00  | 30,00                | 21,00  | 33,35                | 21,00  | 36,67                |

Continuação da TABELA XIII

| b [cm] | delta<br>1,91<br>BS9 | delta<br>2,06<br>BS10 | delta<br>2,22<br>BS11 | delta<br>2,38<br>BS12 | delta<br>2,54<br>BS13 | delta<br>2,70<br>BS14 | delta<br>2,86<br>BS15 |
|--------|----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 1,00   | 1,91                 | 2,06                  | 2,22                  | 2,38                  | 2,54                  | 2,70                  | 2,86                  |
| 2,00   | 3,81                 | 4,13                  | 4,45                  | 4,76                  | 5,08                  | 5,40                  | 5,72                  |
| 3,00   | 5,72                 | 6,19                  | 6,67                  | 7,14                  | 7,62                  | 8,10                  | 8,57                  |
| 4,00   | 7,62                 | 8,26                  | 8,89                  | 9,53                  | 10,16                 | 10,80                 | 11,43                 |
| 5,00   | 9,53                 | 10,32                 | 11,11                 | 11,91                 | 12,70                 | 13,49                 | 14,29                 |
| 6,00   | 11,43                | 12,38                 | 13,34                 | 14,29                 | 15,24                 | 16,19                 | 17,15                 |
| 7,00   | 13,34                | 14,45                 | 15,56                 | 16,67                 | 17,78                 | 18,89                 | 20,00                 |
| 8,00   | 15,24                | 16,51                 | 17,78                 | 19,05                 | 20,32                 | 21,59                 | 22,86                 |
| 9,00   | 17,15                | 18,57                 | 20,00                 | 21,43                 | 22,86                 | 24,29                 | 25,72                 |
| 10,00  | 19,05                | 20,64                 | 22,23                 | 23,81                 | 25,40                 | 26,99                 | 28,58                 |
| 11,00  | 20,96                | 22,70                 | 24,45                 | 26,19                 | 27,94                 | 29,69                 | 31,43                 |
| 12,00  | 22,86                | 24,77                 | 26,67                 | 28,58                 | 30,48                 | 32,39                 | 34,29                 |
| 13,00  | 24,77                | 26,83                 | 28,89                 | 30,96                 | 33,02                 | 35,08                 | 37,15                 |
| 14,00  | 26,67                | 28,89                 | 31,12                 | 33,34                 | 35,56                 | 37,78                 | 40,01                 |
| 15,00  | 28,58                | 30,96                 | 33,34                 | 35,72                 | 38,10                 | 40,48                 | 42,86                 |
| 16,00  | 30,48                | 33,02                 | 35,56                 | 38,10                 | 40,64                 | 43,18                 | 45,72                 |
| 17,00  | 32,39                | 35,08                 | 37,78                 | 40,48                 | 43,18                 | 45,88                 | 48,58                 |
| 17,00  | 32,39                | 35,08                 | 37,78                 | 40,48                 | 43,18                 | 45,88                 | 48,58                 |
| 19,00  | 36,20                | 39,21                 | 42,23                 | 45,24                 | 48,26                 | 51,28                 | 54,29                 |
| 20,00  | 38,10                | 41,28                 | 44,45                 | 47,63                 | 50,80                 | 53,98                 | 57,15                 |
| 21,00  | 40,01                | 43,34                 | 46,67                 | 50,01                 | 53,34                 | 56,67                 | 60,01                 |

| b [cm] | delta<br>3,02<br>BS16 | delta<br>3,18<br>BS17 | delta<br>3,33<br>BS18 | delta<br>3,49<br>BS19 | delta<br>3,65<br>BS20 | delta<br>3,81<br>BS21 |
|--------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 1,00   | 3,02                  | 3,18                  | 3,33                  | 3,49                  | 3,65                  | 3,81                  |
| 2,00   | 6,03                  | 6,35                  | 6,67                  | 6,99                  | 7,30                  | 7,62                  |
| 3,00   | 9,05                  | 9,53                  | 10,00                 | 10,48                 | 10,95                 | 11,43                 |
| 4,00   | 12,07                 | 12,70                 | 13,34                 | 13,97                 | 14,61                 | 15,24                 |
| 5,00   | 15,08                 | 15,88                 | 16,67                 | 17,46                 | 18,26                 | 19,05                 |
| 6,00   | 18,10                 | 19,05                 | 20,00                 | 20,96                 | 21,91                 | 22,86                 |
| 7,00   | 21,11                 | 22,23                 | 23,34                 | 24,45                 | 25,56                 | 26,67                 |
| 8,00   | 24,13                 | 25,40                 | 26,67                 | 27,94                 | 29,21                 | 30,48                 |
| 9,00   | 27,15                 | 28,58                 | 30,00                 | 31,43                 | 32,86                 | 34,29                 |
| 10,00  | 30,16                 | 31,75                 | 33,34                 | 34,93                 | 36,51                 | 38,10                 |
| 11,00  | 33,18                 | 34,93                 | 36,67                 | 38,42                 | 40,16                 | 41,91                 |
| 12,00  | 36,20                 | 38,10                 | 40,01                 | 41,91                 | 43,82                 | 45,72                 |
| 13,00  | 39,21                 | 41,28                 | 43,34                 | 45,40                 | 47,47                 | 49,53                 |
| 14,00  | 42,23                 | 44,45                 | 46,67                 | 48,90                 | 51,12                 | 53,34                 |
| 15,00  | 45,24                 | 47,63                 | 50,01                 | 52,39                 | 54,77                 | 57,15                 |
| 16,00  | 48,26                 | 50,80                 | 53,34                 | 55,88                 | 58,42                 | 60,96                 |
| 17,00  | 51,28                 | 53,98                 | 56,67                 | 59,37                 | 62,07                 | 64,77                 |
| 17,00  | 51,28                 | 53,98                 | 56,67                 | 59,37                 | 62,07                 | 64,77                 |
| 19,00  | 57,31                 | 60,33                 | 63,34                 | 66,36                 | 69,37                 | 72,39                 |
| 20,00  | 60,33                 | 63,50                 | 66,68                 | 69,85                 | 73,03                 | 76,20                 |
| 21,00  | 63,34                 | 66,68                 | 70,01                 | 73,34                 | 76,68                 | 80,01                 |

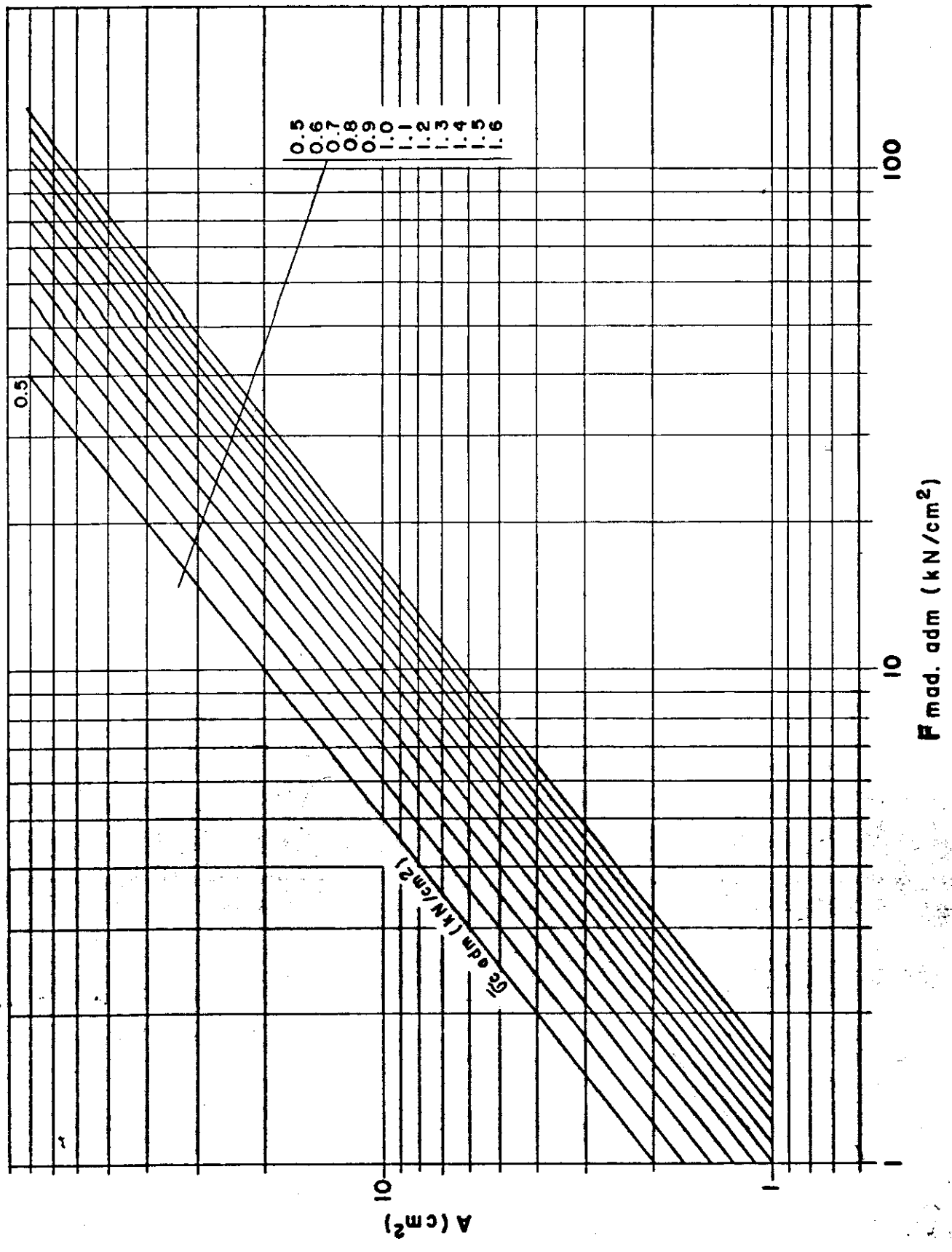


Figura 49

Na figura 50 é apresentado o diagrama para a equação logaritimizada  $\log F_{\text{mad adm}} = \log A + \log \sigma_{\text{c adm}}$

TABELA XIV

$F_{\text{mad adm}} = b * \text{delta} * \text{tensao de comp. (kN)}$

| delta | TENSAO   | delta | TENSAO   | delta | TENSAO   | delta | TENSAO   |
|-------|----------|-------|----------|-------|----------|-------|----------|
| 0,64  | 0,50     | 0,79  | 0,55     | 0,95  | 0,60     | 1,11  | 0,65     |
| BS1   | Fma adm1 | BS2   | Fma adm2 | BS3   | Fma adm3 | BS4   | Fma adm4 |
| 0,64  | 0,32     | 0,79  | 0,44     | 0,95  | 0,57     | 1,11  | 0,72     |
| 1,27  | 0,64     | 1,59  | 0,87     | 1,91  | 1,14     | 2,22  | 1,44     |
| 1,91  | 0,95     | 2,38  | 1,31     | 2,86  | 1,71     | 3,33  | 2,17     |
| 2,54  | 1,27     | 3,18  | 1,75     | 3,81  | 2,29     | 4,45  | 2,89     |
| 3,18  | 1,59     | 3,97  | 2,18     | 4,76  | 2,86     | 5,56  | 3,61     |
| 3,81  | 1,91     | 4,76  | 2,62     | 5,72  | 3,43     | 6,67  | 4,33     |
| 4,45  | 2,22     | 5,56  | 3,06     | 6,67  | 4,00     | 7,78  | 5,06     |
| 5,08  | 2,54     | 6,35  | 3,49     | 7,62  | 4,57     | 8,89  | 5,78     |
| 5,72  | 2,86     | 7,14  | 3,93     | 8,57  | 5,14     | 10,00 | 6,50     |
| 6,35  | 3,18     | 7,94  | 4,37     | 9,53  | 5,72     | 11,11 | 7,22     |
| 6,99  | 3,49     | 8,73  | 4,80     | 10,48 | 6,29     | 12,22 | 7,95     |
| 7,62  | 3,81     | 9,53  | 5,24     | 11,43 | 6,86     | 13,34 | 8,67     |
| 8,26  | 4,13     | 10,32 | 5,68     | 12,38 | 7,43     | 14,45 | 9,39     |
| 8,89  | 4,45     | 11,11 | 6,11     | 13,34 | 8,00     | 15,56 | 10,11    |
| 9,53  | 4,76     | 11,91 | 6,55     | 14,29 | 8,57     | 16,67 | 10,84    |
| 10,16 | 5,08     | 12,70 | 6,99     | 15,24 | 9,14     | 17,78 | 11,56    |
| 10,80 | 5,40     | 13,49 | 7,42     | 16,19 | 9,72     | 18,89 | 12,28    |
| 10,80 | 5,40     | 13,49 | 7,42     | 16,19 | 9,72     | 18,89 | 12,28    |
| 12,07 | 6,03     | 15,08 | 8,30     | 18,10 | 10,86    | 21,11 | 13,72    |
| 12,70 | 6,35     | 15,88 | 8,73     | 19,05 | 11,43    | 22,23 | 14,45    |
| 13,34 | 6,67     | 16,67 | 9,17     | 20,00 | 12,00    | 23,34 | 15,17    |

---

| delta | TENSAO   | delta | TENSAO   | delta | TENSAO   | delta | TENSAO   |
|-------|----------|-------|----------|-------|----------|-------|----------|
| 1,27  | 0,70     | 1,43  | 0,75     | 1,59  | 0,80     | 1,75  | 0,85     |
| BS5   | Fma adm5 | BS6   | Fma adm6 | BS7   | Fma adm7 | BS8   | Fma adm8 |
| 1,27  | 0,89     | 1,43  | 1,07     | 1,59  | 1,27     | 1,75  | 1,48     |
| 2,54  | 1,78     | 2,86  | 2,14     | 3,18  | 2,54     | 3,49  | 2,97     |
| 3,81  | 2,67     | 4,29  | 3,21     | 4,76  | 3,81     | 5,24  | 4,45     |
| 5,08  | 3,56     | 5,72  | 4,29     | 6,35  | 5,08     | 6,99  | 5,94     |
| 6,35  | 4,45     | 7,14  | 5,36     | 7,94  | 6,35     | 8,73  | 7,42     |
| 7,62  | 5,33     | 8,57  | 6,43     | 9,53  | 7,62     | 10,48 | 8,91     |
| 8,89  | 6,22     | 10,00 | 7,50     | 11,12 | 8,89     | 12,22 | 10,39    |
| 10,16 | 7,11     | 11,43 | 8,57     | 12,70 | 10,16    | 13,97 | 11,87    |
| 11,43 | 8,00     | 12,86 | 9,64     | 14,29 | 11,43    | 15,72 | 13,36    |
| 12,70 | 8,89     | 14,29 | 10,72    | 15,88 | 12,70    | 17,46 | 14,84    |
| 13,97 | 9,78     | 15,72 | 11,79    | 17,47 | 13,97    | 19,21 | 16,33    |
| 15,24 | 10,67    | 17,15 | 12,86    | 19,05 | 15,24    | 20,96 | 17,81    |
| 16,51 | 11,56    | 18,57 | 13,93    | 20,64 | 16,51    | 22,70 | 19,30    |
| 17,78 | 12,45    | 20,00 | 15,00    | 22,23 | 17,78    | 24,45 | 20,78    |
| 19,05 | 13,34    | 21,43 | 16,07    | 23,82 | 19,05    | 26,19 | 22,27    |
| 20,32 | 14,22    | 22,86 | 17,15    | 25,41 | 20,32    | 27,94 | 23,75    |
| 21,59 | 15,11    | 24,29 | 18,22    | 26,99 | 21,59    | 29,69 | 25,23    |
| 21,59 | 15,11    | 24,29 | 18,22    | 26,99 | 21,59    | 29,69 | 25,23    |
| 24,13 | 16,89    | 27,15 | 20,36    | 30,17 | 24,13    | 33,18 | 28,20    |
| 25,40 | 17,78    | 28,58 | 21,43    | 31,76 | 25,40    | 34,93 | 29,65    |
| 26,67 | 18,67    | 30,00 | 22,50    | 33,35 | 26,67    | 36,67 | 31,17    |

Continuação da TABELA XIV

| delta | TENSAO   | delta | TENSAO    | delta | TENSAO    | delta | TENSAO    |
|-------|----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|
| 1,91  | 0,90     | 2,22  | 1,00      | 2,54  | 1,10      | 2,86  | 1,20      |
| BS9   | Fma adm9 | BS11  | Fad adm11 | BS13  | Fma adm13 | BS15  | Fma adm15 |
| 1,91  | 1,71     | 2,22  | 2,22      | 2,54  | 2,79      | 2,86  | 3,45      |
| 3,81  | 3,43     | 4,45  | 4,45      | 5,08  | 5,59      | 5,72  | 6,80      |
| 5,72  | 5,14     | 6,67  | 6,67      | 7,62  | 8,38      | 8,57  | 10,20     |
| 7,62  | 6,86     | 8,89  | 8,89      | 10,16 | 11,18     | 11,43 | 13,70     |
| 9,53  | 8,57     | 11,11 | 11,11     | 12,70 | 13,97     | 14,29 | 17,15     |
| 11,43 | 10,29    | 13,34 | 13,34     | 15,24 | 16,76     | 17,15 | 20,50     |
| 13,34 | 12,00    | 15,56 | 15,56     | 17,78 | 19,56     | 20,00 | 24,00     |
| 15,24 | 13,72    | 17,78 | 17,78     | 20,32 | 22,35     | 22,86 | 27,40     |
| 17,15 | 15,43    | 20,00 | 20,00     | 22,86 | 25,15     | 25,72 | 30,80     |
| 19,05 | 17,15    | 22,23 | 22,23     | 25,40 | 27,94     | 28,58 | 34,20     |
| 20,96 | 18,86    | 24,45 | 24,45     | 27,94 | 30,73     | 31,43 | 37,70     |
| 22,86 | 20,57    | 26,67 | 26,67     | 30,48 | 33,53     | 34,29 | 41,10     |
| 24,77 | 22,29    | 28,89 | 28,89     | 33,02 | 36,32     | 37,15 | 44,50     |
| 26,67 | 24,00    | 31,12 | 31,12     | 35,56 | 39,12     | 40,01 | 48,00     |
| 28,58 | 25,72    | 33,34 | 33,34     | 38,10 | 41,91     | 42,86 | 51,40     |
| 30,46 | 27,43    | 35,56 | 35,56     | 40,64 | 44,70     | 45,72 | 54,80     |
| 32,39 | 29,15    | 37,78 | 37,78     | 43,18 | 47,50     | 48,58 | 58,20     |
| 32,39 | 29,15    | 37,78 | 37,78     | 43,18 | 47,50     | 48,58 | 58,20     |
| 36,20 | 32,58    | 42,23 | 42,23     | 48,26 | 53,09     | 54,29 | 65,10     |
| 38,10 | 34,29    | 44,45 | 44,45     | 50,80 | 55,88     | 57,15 | 68,50     |
| 40,01 | 36,00    | 46,67 | 46,67     | 53,34 | 58,67     | 60,01 | 72,00     |

| delta | TENSAO    | delta | TENSAO    | delta | TENSAO    | delta | TENSAO    |
|-------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|
| 3,18  | 1,30      | 3,49  | 1,40      | 3,65  | 1,50      | 3,81  | 1,60      |
| BS17  | Fma adm17 | BS19  | Fma adm19 | BS20  | Fma adm20 | BS21  | Fma adm21 |
| 3,18  | 4,13      | 3,49  | 4,89      | 3,65  | 5,48      | 3,81  | 6,10      |
| 6,35  | 8,26      | 6,99  | 9,78      | 7,30  | 10,95     | 7,62  | 12,10     |
| 9,53  | 12,38     | 10,48 | 14,67     | 10,95 | 16,43     | 11,43 | 18,20     |
| 12,70 | 16,51     | 13,97 | 19,56     | 14,61 | 21,91     | 15,24 | 24,30     |
| 15,88 | 20,64     | 17,46 | 24,45     | 18,26 | 27,38     | 19,05 | 30,40     |
| 19,05 | 24,77     | 20,96 | 29,34     | 21,91 | 32,86     | 22,86 | 36,50     |
| 22,23 | 28,89     | 24,45 | 34,23     | 25,56 | 38,34     | 26,67 | 42,60     |
| 25,40 | 33,02     | 27,94 | 39,12     | 29,21 | 43,82     | 30,48 | 48,70     |
| 28,58 | 37,15     | 31,43 | 44,01     | 32,86 | 49,29     | 34,29 | 54,80     |
| 31,75 | 41,28     | 34,93 | 48,90     | 36,51 | 54,77     | 38,10 | 60,90     |
| 34,93 | 45,40     | 38,42 | 53,78     | 40,16 | 60,25     | 41,91 | 67,00     |
| 38,10 | 49,53     | 41,91 | 58,67     | 43,82 | 65,72     | 45,72 | 73,10     |
| 41,28 | 53,66     | 45,40 | 63,56     | 47,47 | 71,20     | 49,53 | 79,20     |
| 44,45 | 57,79     | 48,90 | 68,45     | 51,12 | 76,68     | 53,34 | 85,30     |
| 47,63 | 61,91     | 52,39 | 73,34     | 54,77 | 82,15     | 57,15 | 91,40     |
| 50,80 | 66,04     | 55,88 | 78,23     | 58,42 | 87,63     | 60,96 | 97,50     |
| 53,98 | 70,17     | 59,37 | 83,12     | 62,07 | 93,11     | 64,77 | 103,60    |
| 53,98 | 70,17     | 59,37 | 83,12     | 62,07 | 93,11     | 64,77 | 103,60    |
| 60,33 | 78,42     | 66,36 | 92,90     | 69,37 | 104,06    | 72,39 | 115,60    |
| 63,50 | 82,55     | 69,85 | 97,79     | 73,03 | 109,54    | 76,20 | 121,70    |
| 66,68 | 86,68     | 73,34 | 102,68    | 76,68 | 115,02    | 80,01 | 128,00    |

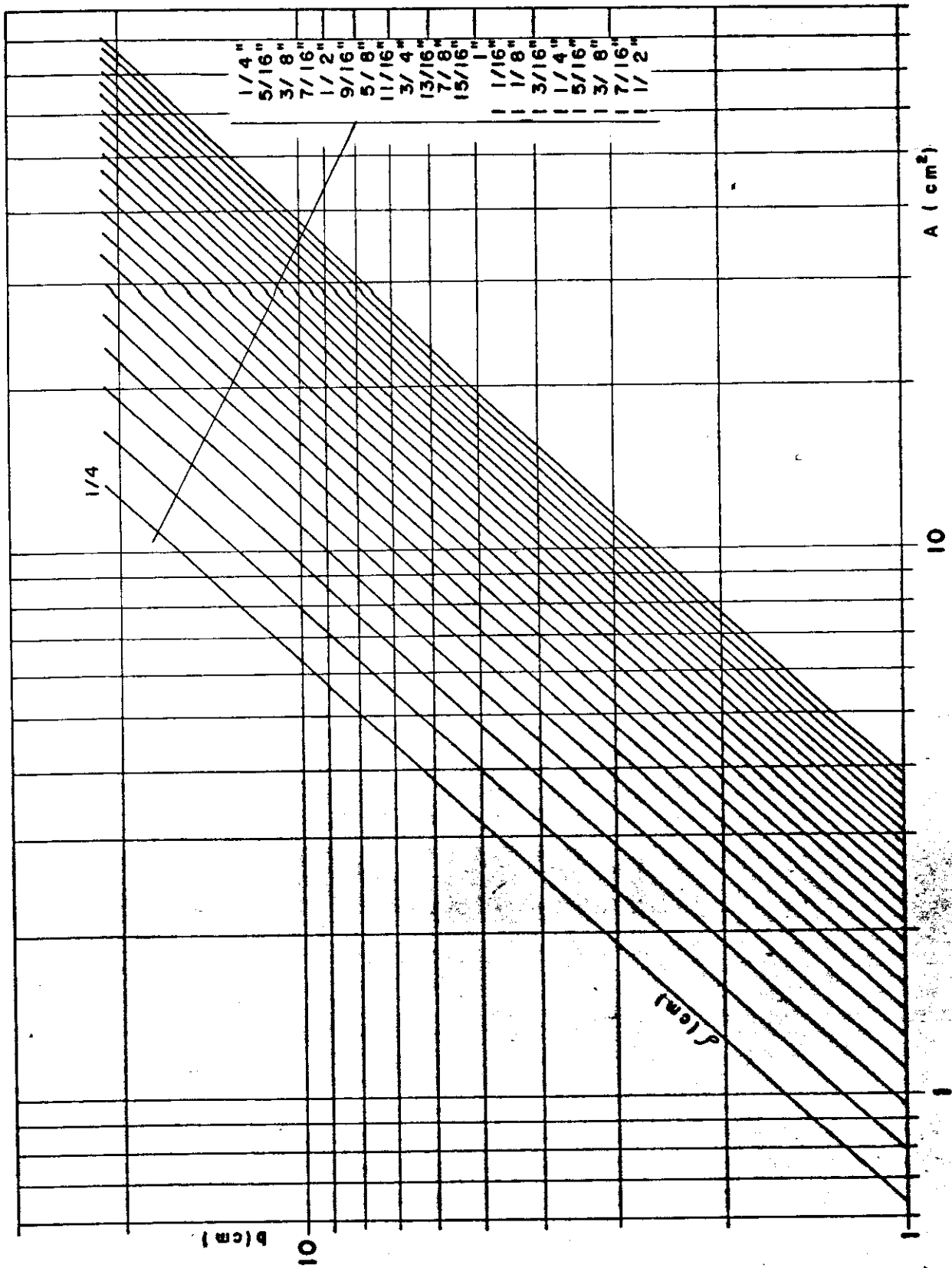


Figura 50

TABELA XV

- Tabela da Reta

| $F_{\text{mad adm}}$ (kN) | $F_{\text{par adm}}$ (kN) |
|---------------------------|---------------------------|
| 1,00                      | 1,00                      |
| 128,016                   | 128,016                   |

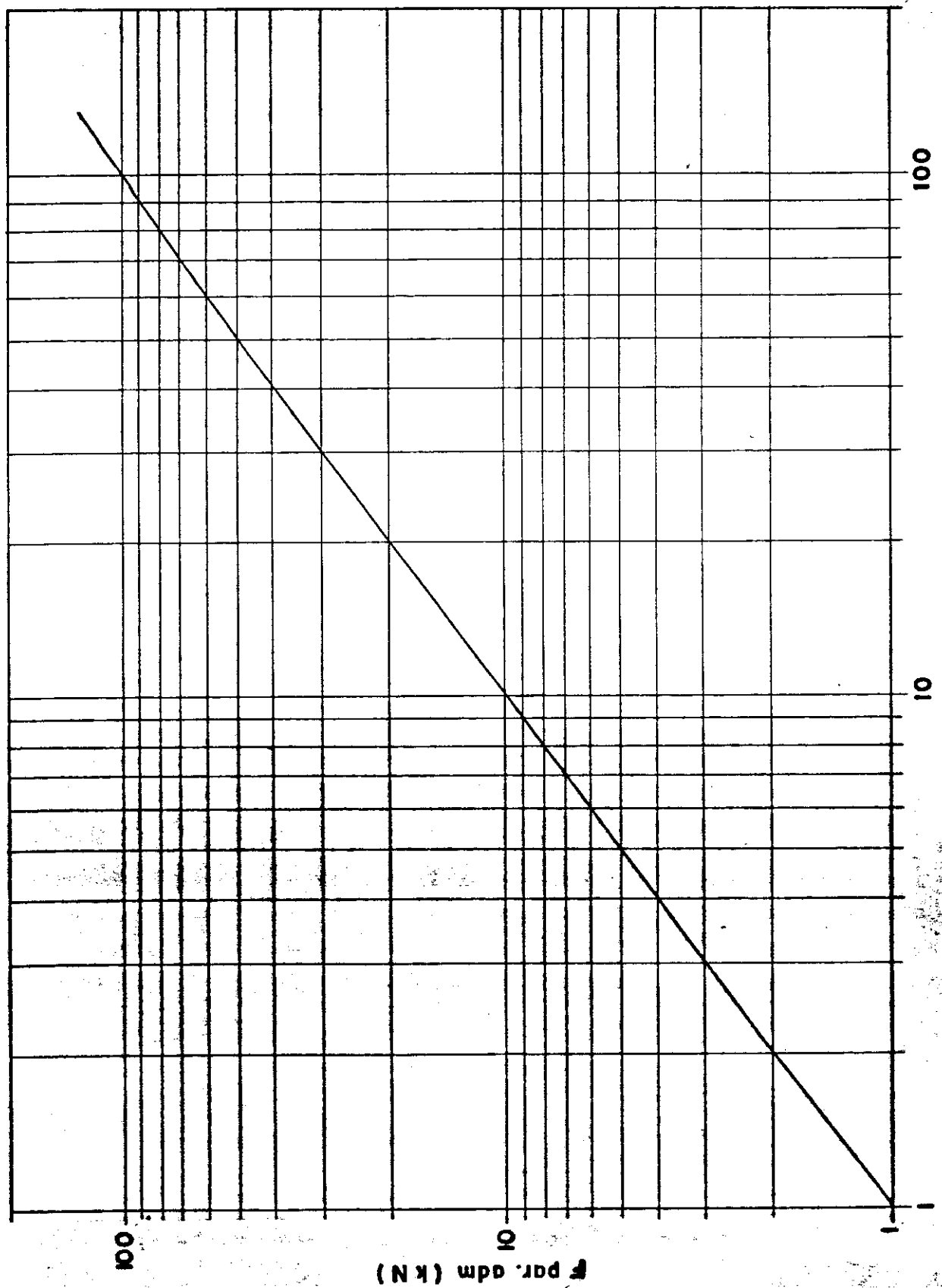


Figura 51 - Carga adm. do parafuso x Carga adm. da madeira



### CÁLCULO DE UMA LIGAÇÃO

Escolhidos os valores preliminares  $b$ ,  $\delta$  e  $\sigma_{c adm}$  tem-se pelos diagramas e ou analiticamente:

$$A = b \delta$$

$$F_{mad adm} = A \sigma_{c adm}$$

Comparando-se a resistência da madeira com a carga mínima de rigidez ( $F_r$ ) do parafuso, tem-se:

$F_r < F$  (parafuso flexível) é possível recalcular  $\delta$  maior.

$$F_r \cong F \text{ satisfatório}$$

$F_r > F_{par}$  (parafuso rígido) é possível recalcular com  $\delta$  menor.

### DIAGRAMA DE CÁLCULO DAS LIGAÇÕES

Na figura 51 foram reunidos os quatro diagramas apresentados anteriormente para o cálculo dos valores:

$$F_{par adm} = 74,9318 \frac{\delta^4}{b^3} \text{ (carga distribuida) ou}$$

$$F_{par adm} = 61,0805 \delta^4 / b^2 \text{ (carga concentrada)}$$

$$A = b \delta$$

$$F_{mad adm} = b \delta \sigma_{c adm}$$

$$F_{par adm} \begin{matrix} > \\ < \end{matrix} F_{mad adm}$$

1  
Acompanhando-se a proposta de cálculo da Fig. 50 segue-se pela linha auxiliar A-B-C-D-E-F-G-H-I.

No caso de cálculo do parafuso por falta ou por excesso de rigidez, a reavaliação é imediata, como por exemplo seguindo a linha auxiliar 1-2-3-4-5-6-7-8-9.

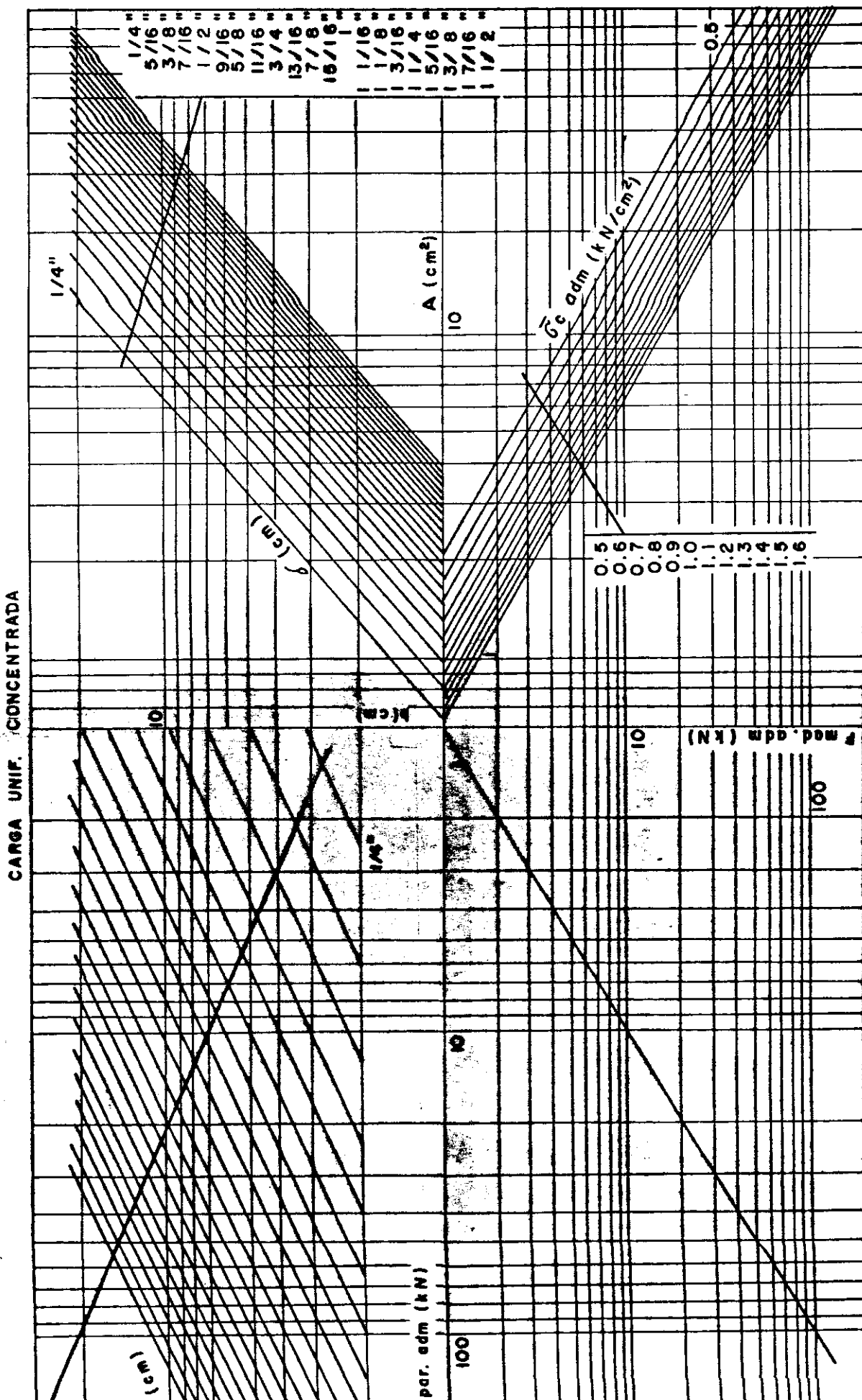


Figura 52

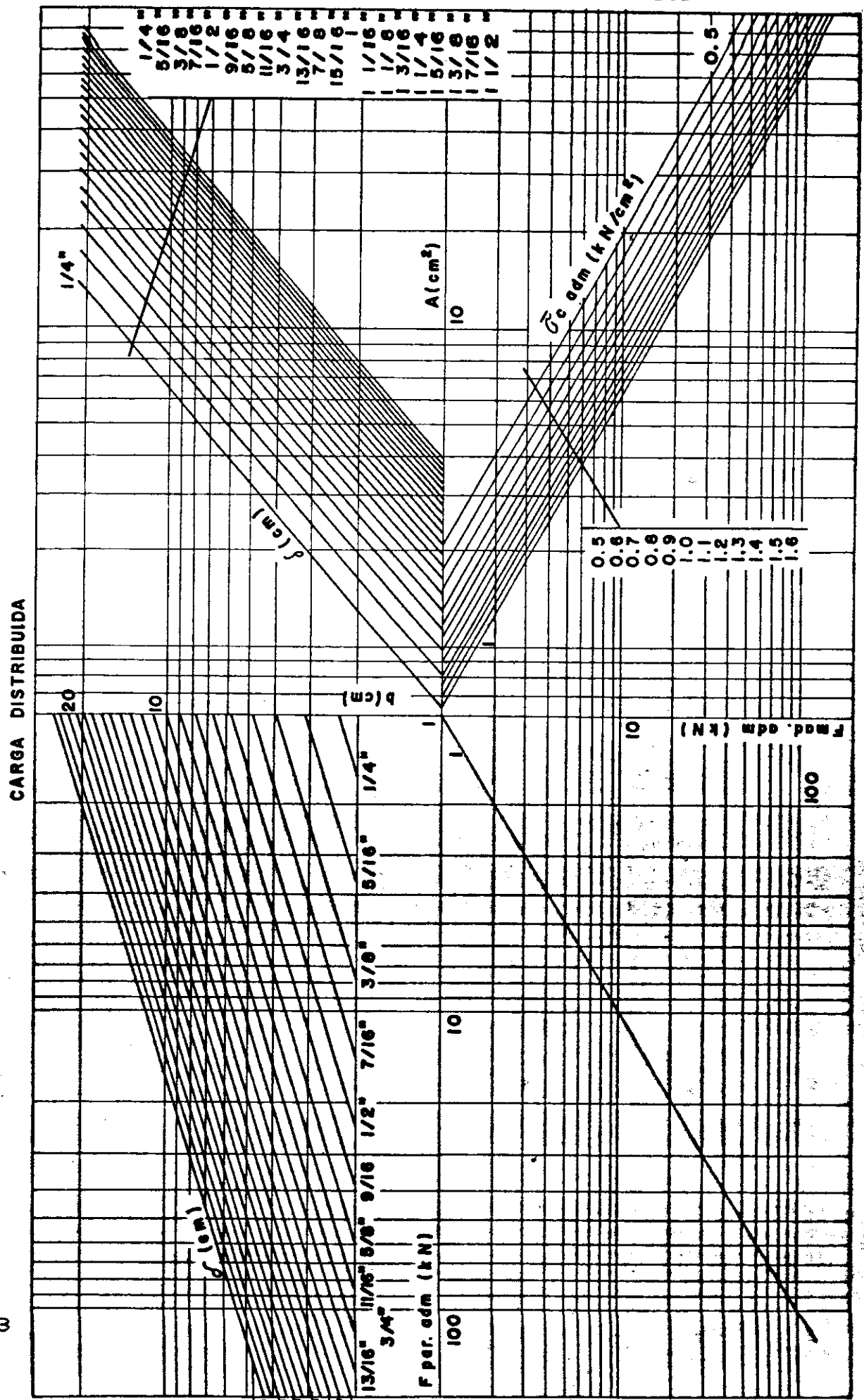


Figura 53



CAP8- BIBLIOGRAFIA

- 01- ABENDROTH, R.E., WIPF, T.J. Cyclic load behavior of bolted timber joint. Journal of Structural Engineering, New York, v.115, n.10, p.2496-2509, Oct. 1989.
- 02- AGOSTINI, L.R.S., CATTO, A.J., STAMATO, M.C. Ligações de peças de Pinho do Paraná e de Eucalipto citriodora com parafusos de aço. São Carlos: EESC-USP, 1971. 18p. (Publicação, 160).
- 03- ALMEIDA, P.A.O. Uniões pregadas de madeira. São Paulo: 1987. 141p. Dissertação (Mestrado - Engenharia de Estruturas). Escola Politécnica - USP.
- 04- ALMEIDA, P.A.O. Estruturas de grande porte de madeira composta. São Paulo: 1990. 277p. Tese (Doutorado). Escola Politécnica - USP.
- 05- ANTONIDES, C.E., VANDERBIET M.D., GOODMAN, J.R. Interlayer gap effect on nailed joint stiffness. Wood Science, Madison, v.13, n.1, p. 41-46, July, 1980.
- 06- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NB11 - Cálculo e execução de estruturas de madeira. Rio de Janeiro, 1951. 16p.
- 07- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR7190 - Cálculo e execução de estruturas de madeira. Rio de Janeiro: 1982. 22p.
- 08- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR8681 - Ações e segurança nas estruturas. Rio de Janeiro: 1984. 14p.
- 09- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR8800 - Projeto e execução de estruturas de aço de edifícios: método dos estados limites. Rio de Janeiro: 1986. 200p. p.122.

- 10- AUNE, Petter, PATTON-MALLORY, Marcia. Lateral load-bearing capacity of nailed joints based on the yield theory: theoretical development. Research Paper. Forest Products Laboratory, Madison, n.469, p.1-20, Marc. 1986.
- 11- AUNE, Petter, PATTON-MALLORY, Marcia. Lateral load-bearing capacity of nailed joints based on the yield theory: experimental verification. Research Paper. Forest Products Laboratory, Madison, n.470, p.1-26, Marc. 1986.
- 12- AVENT, R.R. Decay, weathering and epoxy repair timber. Journal of Structural Engineering, New York, v.111, n.2, p.320-342, Feb. 1985.
- 13- AVENT, R.R. Design criteria for epoxy repair of timber structures. Journal of Structural Engineering, New York, v.112, n.2, p.222-240, Feb. 1986.
- 14- BARROS JUNIOR, O. Algumas considerações sobre a pré-fabricação de estruturas de madeira para coberturas. São Carlos, 1991. 143p. Dissertação (Mestrado - Engenharia de Estruturas). Escola de Engenharia de São Carlos-USP.
- 15- BOHNHOFF, D.R. Evaluation of spliced, nail-laminated wood members without but joint reinforcement. Transactions of the ASAE, St. Joseph, v.32, n.5, p.1797-1806, Sept./Oct. 1989.
- 16- BREYER, Donald E, ANK, John A. Design of wood structures. New York: Mc Graw-Hill, 1980. 542p. Cap.12.
- 17- CALL, R.D., BJORHOVDE, R.F. Wood connections with heavy bolts and steel plates. Journal of Structural Engineering, New York, v.116, n.11, p.3090-3107, Nov. 1990.

- 18- CHOW, P., LAMBRECHTS, S.J., GERTNER, G.Z. Direct with drawal and head pull-through performance of nail and staples in structural wood-based panel materials. Forest Products Journal, Madison, v.38, n.6, Aug. 1987.
- 19- DUNN, O.J., CLARK, V.A. Analysis of varience and regression. 2.ed. New York: John Wiley, 1987. 445p.
- 20- EBEWELE, R.O.W., RIVER, B.H., KOWTSKY, J.A. Processing variables and adhesive joint performance. Journal of Applied Polymer Science, New York, v.32, n.1, p.2979-2988, 1986.
- 21- EBY, R.E. Proofloading of finger-joints for glulam timber. Forest Products Journal, Madison, v.31, n.1, p.37-41, May, 1980.
- 22- ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 1, 20-22 de julho 1983, São Carlos. Anais. São Carlos: EESC-USP/SET/LaMEM, 1983. v.2: Ligações.
- 23- ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 2, 23-25 de julho 1986, São Carlos. Anais. São Carlos: EESC-USP/SET/LaMEM, 1986. v.4: Ligações.
- 24- ERKI, M.A., HUGGINS, M.W. Load capacity of row of shear plate connectors. Journal of Structural Engineering, New York, v.109, n.12, p.2786-2801, Dec. 1983.
- 25- FUSCO, P.B. Fundamentos estatísticos de segurança das estruturas. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1976. 274p.
- 26- FUSCO, P.B. Estruturas de concreto: solicitações normais, estados limites últimos, teoria e aplicações. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1981. 464p. p.40.

- 27- FUSCO, P.B., ALMEIDA, P.A.O. Estados limites das uniões pregadas de madeira. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 3, 26 a 28 de julho de 1989, São Carlos. Anais. São Carlos: EESC-USP/SET/LaMEM, 1989. v.3, p.71-102.
- 28- GIRHAMMAR, U., ANDERSON, H. Effect of hoading rate on nailed timber joint capacity. Journal of Structural Engineering, New York, v.14, n.11, p.2439-2456, Nov. 1988.
- 29- GUTKOWSKI, R. M., GOODMAN, J.R., PAULT, J.D. Tests and analysis for composite action in glulam bridges. Transportation Research Record, Washington, n.676, p.1-8, 1978.
- 30- HANSEN, Howard J. Modern timber design. 2.ed. New York: John Wiley, 1948. 312p.
- 31- HELLMMEISTER, J. C. Sobre a determinação das características físicas da madeira. São Carlos: 1972. 160p. Tese (Doutorado - Engenheiro). Escola de Engenharia de São Carlos-USP.
- 32- HIRAI, T., SAWADA M. The effect of margins on the lateral resistance of bolted joints loaded parallel to grain. Journal of Japan Wood Research Society, Tokio, v.28, n.3, p.137-142, 1982.
- 33- HIRAI, T., SAWADA M. Nominal bearing-stresses of bolted wood-joints at apparent proportional-limits. Journal of Japan Wood Research Society, Tokio, v.28, n.9, p.543-547, 1982.
- 34- HOYLE JR., Roberto J. Wood tecnologia in the design of structures. 4.ed. Missoula, Montana: Mountain Press, 1978. 390p.
- 35- HUGO, F.V., WYK, W.J.Van. Wooden beams jointed with steel plates. Journal of the Structural Division, New York,



- 36- JOHANSEN, K.W. Theory of timber connection. 1949. v.5.  
p. 251-255.
- 37- KARLSEN, G.G. ed. Wooden structures. Moscou: Mir, 1967.  
638p.
- 38- LAN, P.W.C., GEORGE, P. Development of a load-slip test  
apparantus for nailed joints. Forest Products Journal,  
Madison, v.37, n.11/12, p.39-44.
- 39- LEITNER, Ralph Jorge. As ligações em estruturas de madeira e,  
em especial, as ligações pregadas de peças estruturais de  
madeira de Pinho. Curitiba, PR: s.ed., 1952. 57p.
- 40- LEONHARDT, F. Construções de concreto: princípios  
básicos do dimensionamento de estruturas de concreto  
armado. Rio de Janeiro, Interciência, 1977. v.1,  
305p.
- 41- LOFERSKI, J.R., GAMALATH, S. Predicting rotational stiffness  
of nail joints. Forest Products Journal, Madison, v.39,  
n.7/8, p.8-16, Jul./Aug. 1989.
- 42- MALHOTRA, S. K., THOMAS, B. Effect of interface gap on load-  
slip characteristics of timber joints fabricated with  
multiple nails. Canadian Journal of Civil Engineering,  
Ottawa, v.12, n.1, p.104-113, Mar. 1985.
- 43- MASCIA, N.T. Contribuição ao estudo da flexão estática  
em peças de madeira. São Carlos: 1985. 308p. Dissertação  
(Mestrado - Engenharia de Estruturas). Escola de Engenha-  
ria de São Carlos-USP.
- 44- MASSE, D.I., SALINAS, J.J. Analysis of timber trusses using  
semi-rigid joints. Canadian Agricultural Engineering,  
Ottawa, 30, n.1, p.111-124, 1988.

- 45- MCLAIN, E. T., THANGJITHAM, A. M. Bolted wood joint yield model. Journal of Structural Engineering, New York, v.109, n.8, p.1820-1835, Aug. 1983.
- 46- MILLER, Regs B., rev. Structural of wood. In: UNITED STATES. Departament of Agriculture. Forest Service. Wood handbook: Wood as an engineering material. Washington: 1987. 466p. Cap.2. (Agriculture Handbook, 72).
- 47- MOLITERNO, Antonio. Caderno de projetos de telhados em estruturas de madeira. São Paulo: Edgard Blücher, 1981. 419p.
- 48- MOSS, P. J., WALFORD, G. B. The testing of layered timber shell elements. Materiaux et Constructions, Paris; v.9, n.53, p.347-360, 1976.
- 49- NOGUEIRA, J. B., NOGUEIRA M. C. A. Manual de redação de trabalhos científicos. São Carlos: EESC/USP, 1985. 18p. (Publicação n.003/87).
- 50- OTTO, R. I. C. Velocidade de ensaio na flexão de peças de madeira. São Carlos: 1985. 114p. Dissertação (Mestrado - Engenharia de Estruturas). Escola de Engenharia de São Carlos-USP.
- 51- PALLICANE, P. J., BODIG, J. Comparison of nailed joints test methods. Journal of Testing and Evaluation. Philadelphia, v.12, n.5, p.261-267, Sept. 1984.
- 52- PFEIL, Walter. Estruturas de madeira: dimensionamento segundo as normas brasileiras NB-11 e os modernos critérios das normas alemãs e americanas. 3.ed. Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos e Científicos, 1984. 321p.
- 53- PIEDADE JR., C. Ligações rígidas de madeira com diversos parafusos. São Carlos: 1976. 68p. Dissertação (Mestre em Arquitetura). Escola de Engenharia de São Carlos-USP.

- 54- POLENSEK, A. Effects of testing variables on damping and stiffness of nailed wood to sheathing joints. Journal of Testing and Evaluation, Philadelphia, v.16, n.5, p.474-480, Sept. 1988.
- 55- SANDERS, P.H., EMKIN, L.Z., AVENT, R.R. Epoxy repair of timber roof truss. Journal of Construction Division, Ann Arbor, v.104, n.3, p.309-321, Sept. 1978.
- 56- SINCLAIR, A. N., FARSHAD, M.A. Comparison of three methods for determining elastic constants of wood. Journal of Testing and Evaluation, Philadelphia, v.15, n.2, p.77-86, Mar. 1987.
- 57- SINGER, Ferdinand L. Resistencia de materiales. New York: Harper & Row, 1971. 636p. Cap.1, p.19-44.
- 58- SMITH, I. Series solutions for built-up timber beam with semi-rigid connections. Proceedings/Institution of Civil Engineers. Part 2, Engineering Division, London, p.707-719, Sept 1980.
- 59- SOLTIS, A.L., MTEGA, P.V.A. Strength of nailed wood joints subjected to dynamic load. Forest Products Journal, Madison, v.35, n.11/12, Nov./Dec. 1985.
- 60- SOLTIS, L.A.S., HUBBARD, F.K., WILKINSON, T.L. Bearing strength of bolted timber joints. Journal of Structural Engineering, New York, v.112, n.9, p.2141-2154, Sep. 1986.
- 61- SOLTIS, Lawrence A., WILKINSON, Thomas Lee. Bolted-connection design. General Technical Report. Forest Products Laboratory, Madison, n.54, p.1-21, Jul. 1987.
- 62- SPIEGEL, M.R. Manual de fórmulas e tabelas matemáticas. São Paulo: McGraw-Hill, 1973. 270p. (Coleção Schaum)

- 63- SPIEGEL, M.R. Estatística. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1974. 580p.
- 64- STAMATO, J.A., LUCHESE, J.A. Ligações de peças de Peroba Rosa com parafuso de aço. São Carlos: EESC-USP, p. . (Publicação, 147).
- 65- SWENSSON, Q.P., GOMES, J.P.P. Lotus 1-2-3: versão 2.0. 3.ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1989. 316p.
- 66- TAKAHASHI, Tetuo. As ligações pregadas em estrutura de madeira. (Trabalho de Iniciação Científica, em 1972, sob a orientação do Prof. Dr. João Cesar Hellmeister, do Laboratório de Madeiras e de Estruturas de Madeira da Escola de Engenharia de São Carlos-USP).
- 67- THOMAS, B., MALHOTRA, S.K. Behavior of timber joints with multiple nails. Journal of Structural Engineering, New York, v.111, n.5, p.973-991, May, 1985.
- 68- THOMAS, K. Mechanical fasteners. The Structural Engineer, Part A, London, v.60, n.2, p.47-51, Feb. 1982.
- 69- TSJINO, T., HIRAI, T. Nonlinear load-slip relationship of bolted wood - joints with steel - Members I. Journal of the Japan Wood Research Society, Tokio, v.29, n.12, p.833-838, 1983.
- 70- UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. Escola de Engenharia de São Carlos. Departamento de Estruturas. Laboratório de Madeiras e de Estruturas de Madeira. Madeira: determinação de suas características. São Carlos: 1987. 44p.
- 71- VAN DYER, D.B., MALHOTRA, S.K. Strength of spaced timber columns. Canadian Journal of Civil Engineering, Ottawa, v.12, p.36-42, Mar. 1985.

- 72- WHALE, L.R., SMITH, I., LARSEN H.J. Desing of nailed and bolted joints proposals for the revision of existing formulae in draft Eurocode 5 and the CIB Code. In: INTERNATIONAL COUNCIL FOR BUILDING RESEARCH STUDIES AND DOCUMENTATION. WORKING COMMISSION W18A- TIMBER STRUCTURES, MEETING 20, September 1987, Dublin, Ireland. CIB-W18A. pag.irreg. Paper CIB-W18A/20-7-11.
- 73- WHEAT, D.L., SHOK, D.C., WOLF, L.M. Nail slip in wood: joint st floors. Forest Products Journal, Madison, v.36, n.11/12, p.29-32, Aug. 1985.
- 74- WILKINSON, T.L. Strength of bolted wood joints with various ratios of member thicknesses. Research Paper. Forest Products Laboratory, Madison, n.314, p.1-8, 1978.
- 75- WILKINSON, T.L. Load distribution among bolts parallel to load. Journal of Structural Engineering, New York, v.112, n.4, p.835-853, Apr., 1986.
- 76- WILKINSON, T.L., ROWLANDS, R.E. Analysis of mechanical joints in wood. Experimental Mechanics, Easton, PA, v.21, n.11, p.408-414.
- 77- YASUMURA, M., MUROTA, T., SAKAI, H. Ultimate properties of bolted joints in glued-laminated timber. In:INTERNACIONAL COUNCIL FOR BUILDING RESEARCH STUDIES AND DOCUMENTATION. WORKING COMMISSION W18A - TIMBER STRUCTURES, MEETING, 20, September, 1987, Dublin, Ireland. CIB-W18A. pag.irreg. Paper CIB-W18A/20-7-3.
- 78- ZIMMER, KARLHEINZ, LISSNER, KARIN. Calculation of joints and fastenings as compared with the internacional state. In: INTERNATIONAL COUNCIL FOR BUILDING RESEARCH STUDIES AND DOCUMENTATION. WORKING COMMISSION W18A - TIMBER STRUCTURES, MEETING, 22, September, 1989, East Berlin. CIB-W18A. pag.irreg. Paper CIB-W18A/22-7-10.