

MINISTÉRIO DA HABITAÇÃO E OBRAS PÚBLICAS  
LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL

---

*MEMÓRIA N.º 500*

O EMPREGO DA MADEIRA  
DE PINHO BRAVO EM ESTRUTURAS

TOMÁS J. E. MATEUS

LISBOA

---

1 9 7 8

# O EMPREGO DA MADEIRA DE PINHO BRAVO EM ESTRUTURAS

(SOLUÇÕES PROVISÓRIAS, COFRAGENS, CIMBRES, ETC.)<sup>(1)</sup>

Por TOMÁS J. E. MATEUS<sup>(2)</sup>

## A — INTRODUÇÃO

No domínio das madeiras, e acompanhando os trabalhos realizados no LNEC com vista ao estudo das suas características físicas e mecânicas, não se tem verificado no nosso País por parte do utilizador deste material de construção um esforço significativo ou sequer tentativa válida no sentido de tirar partido dos conhecimentos adquiridos sobre a madeira de pinho por forma a aplicá-la racionalmente em estruturas.

Se o comentário é justo quando se trata de construções de carácter permanente, torna-se mais pertinente quando se pensa em termos de obras provisórias. Na verdade quer se trate de um cimbra, de uma cofragem, de um simples andaime ou de uma obra de escoramento ou entivação, não cuida geralmente o técnico, apesar da importância económica que tais trabalhos podem representar numa dada obra e das implicações neles contidas quanto a segurança, de estudar com o devido pormenor a estrutura que vai utilizar. Esta atitude resultará em parte de uma falta de informação sobre as características da madeira de que dispõe

e sobre o rendimento dos órgãos de ligação que pode empregar, mas será principalmente a circunstância de a estrutura não permanecer no tempo a atestar o engenho ou o simples bom senso do seu projectista, que leva este a não curar geralmente de estudar as soluções que se lhe podem oferecer para chegar àquela que se traduzirá por maior eficiência e economia.

Ora se é verdade que muitas vezes tal atitude é razoável porque há soluções tradicionais que se torna difícil melhorar significativamente, não é menos certo, sobretudo em obras em que a incidência de trabalhos deste tipo no custo da construção é bastante significativa, que podem conseguir-se para além de melhores condições de segurança soluções muito mais económicas e funcionais que as geralmente adoptadas.

Referências em documentação da especialidade indicam, por exemplo, que uma simples cofragem feita à maneira tradicional para um pavimento de lajes e vigas tem uma incidência de 45 % e mais no custo da execução do betão e que se esta se destinar a enformar certas estruturas mais complexas o seu valor pode atingir e até exceder metade do custo total da obra. Estes índices só por si justificam o interesse que deve merecer por parte do projectista (arquitecto ou engenheiro) e do responsável pela execução

(1) Texto de uma lição do Curso de Promoção Profissional n.º 501 — «Cofragens» — LNEC, 1972.

(2) Eng. Investigador do LNEC.

da obra o problema da cofragem nos seus múltiplos aspectos construtivos.

A preocupação de simplificar as formas estruturais e simultaneamente a procura de novas soluções que permitam reduzir substancialmente o trabalho de execução, de colocação em obra e de remoção do cimbre ou da cofragem devem estar sempre presentes no espírito de quem constrói. O recurso, por exemplo, ao emprego da mesma cofragem para a realização de trabalhos repetidos conduz evidentemente às soluções mais económicas, mas estas só começam a ser atingíveis quando se entra no caminho da modulação da construção e da tipificação dos elementos que integram a sua estrutura. Em tais situações, estas estruturas provisórias perdem o carácter de estruturas degradadas ou perdidas em cada obra para se transformarem numa ferramenta de alto rendimento na realização de um conjunto de muitas obras.

Esta evolução, apesar da importância que cada vez mais nela assumem as formas metálicas, não exclue de modo nenhum a madeira e os seus derivados para a execução de cimbres, cofragens e outras obras provisórias. Estes materiais continuam a desempenhar um papel de relevo neste tipo de estruturas e a oferecer ao projectista condições técnicas e económicas que em muitas situações podem concorrer vantajosamente com as mais modernas soluções metálicas.

É objectivo do presente trabalho dar a conhecer com detalhe as características mecânicas da madeira de pinho e as capacidades de carga dos ligadores empregados em estruturas provisórias para se proporcionar ao projectista a possibilidade de aplicar racionalmente este material de construção neste tipo de estruturas.

## B — AS CARACTERÍSTICAS DA MADEIRA DE PINHO COMO MATERIAL DE ESTRUTURAS

### I — ANÉIS DE CRESCIMENTO. DENSIDADE

A Fig. 1 representa duas peças de madeira de pinho, uma de *anel estreito* outra de *anel largo*.

A primeira será mais densa que a segunda por conter maior *percentagem de lenho de Outono*, e portanto mais resistente do ponto de vista mecânico. A percentagem de madeira de Outono é, assim, um aferidor da capacidade resistente do

material lenhoso face aos diferentes tipos de solicitação. Não há porém processo fácil de a determinar em termos de aplicação prática pelo utilizador de madeiras.

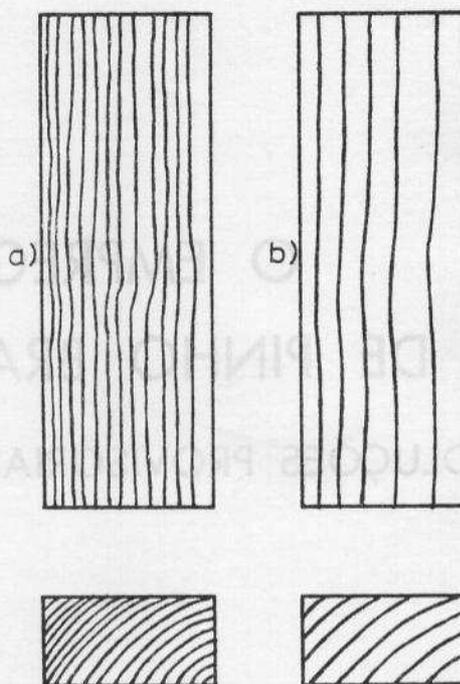


Fig. 1 — Madeira de pinho de anel estreito (a) e de anel largo (b)

No entanto o número de *anéis anuais por cm* medido na direcção radial (Fig. 2) é característica que não apresenta qualquer dificuldade de determinação (pode mesmo estimar-se à vista com rapidez e suficiente aproximação) e é, numa certa medida, proporcional à percentagem de lenho de Outono.

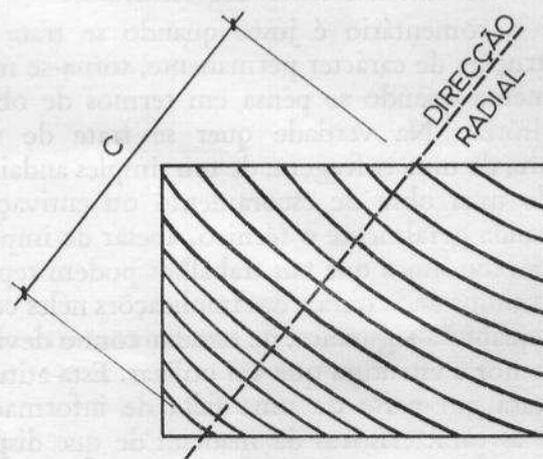


Fig. 2 — Determinação do número de anéis por cm  $(N = \frac{n}{c})$ , em que  $n$  é o número de anéis anuais compreendidos pelo segmento  $c$

A justificação desta regra prática para caracterização da madeira de pinho quanto à densidade e portanto quanto à resistência mecânica, está no facto de que a variação da espessura do anel anual (Fig. 3) se faz, em termos práticos, à custa da variação da espessura do anel de Primavera, mantendo-se, ou tendendo a manter-se constante a espessura do anel de Outono.

As condições de crescimento das árvores (factores de meio) determinam, assim, fortemente

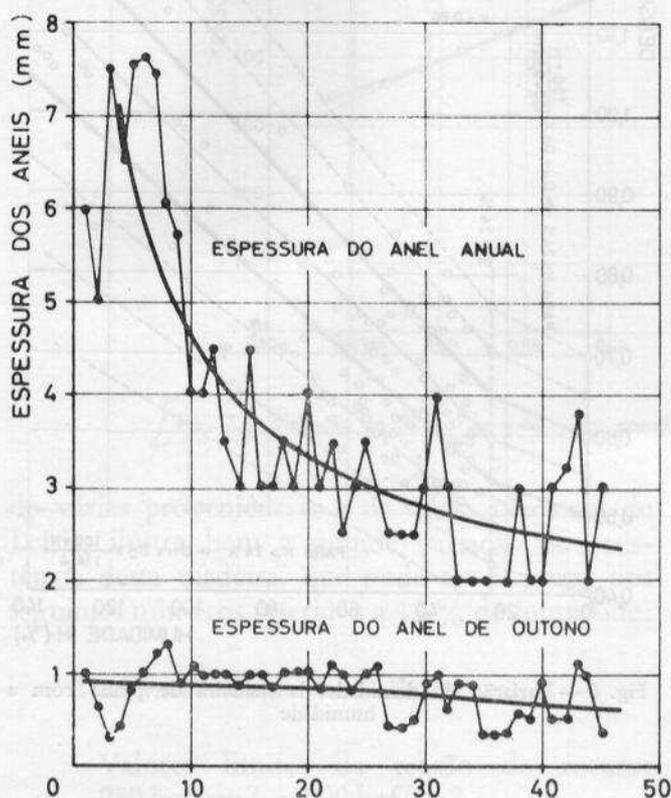


Fig. 3 — Variação das espessuras dos anéis anuais e dos anéis de Outono ao longo da direcção radial de uma secção de madeira de pinho

a qualidade do material lenhoso produzido. Delas dependem não só a espessura das camadas anuais e portanto o número de anéis por cm, como a percentagem de lenho de Outono, a massa específica, a retracção, a resistência mecânica e até a durabilidade natural.

Na Fig. 4 pode observar-se como varia no pinho o número de anéis por cm e a percentagem de lenho de Outono. As curvas foram obtidas a partir de determinações feitas sobre grande número de peças de várias proveniências (1011 num caso, 709 no outro).

Delas se tiram os seguintes valores:

*Número de anéis/cm*

Valores limites: 0,8 e 13.

Valor mais frequente:  $\approx 2,5$ .

*Percentagem de lenho de Outono*

Valores limites: 2,5 % e 60 %.

Valor mais frequente:  $\approx 23$  %.

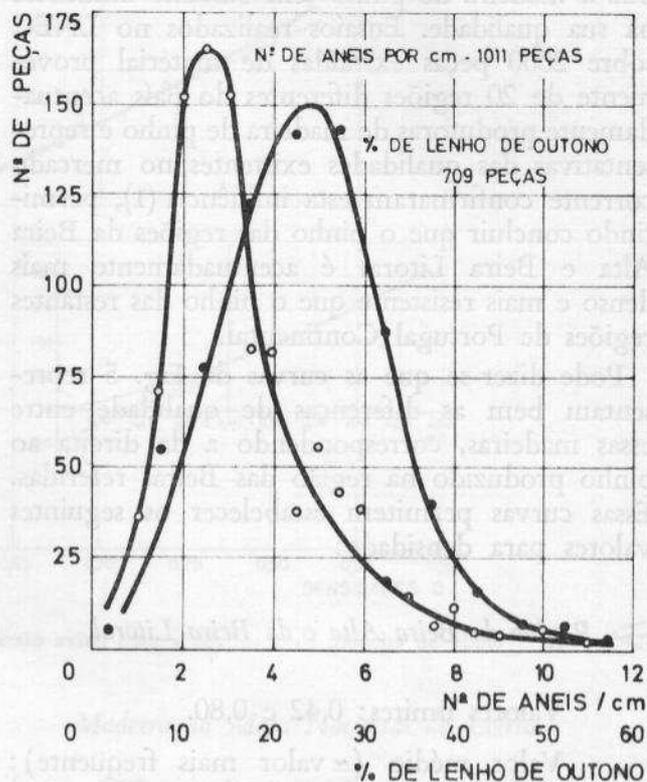


Fig. 4 — Distribuições de valores referentes ao número de anéis por cm e à percentagem de lenho de Outono na madeira de pinho

À grande variabilidade que caracteriza estas grandezas corresponde necessariamente uma grande variabilidade da densidade da madeira de pinho, que é ilustrada na Fig. 5, obtida a partir de ensaios realizados sobre grande número de peças, de

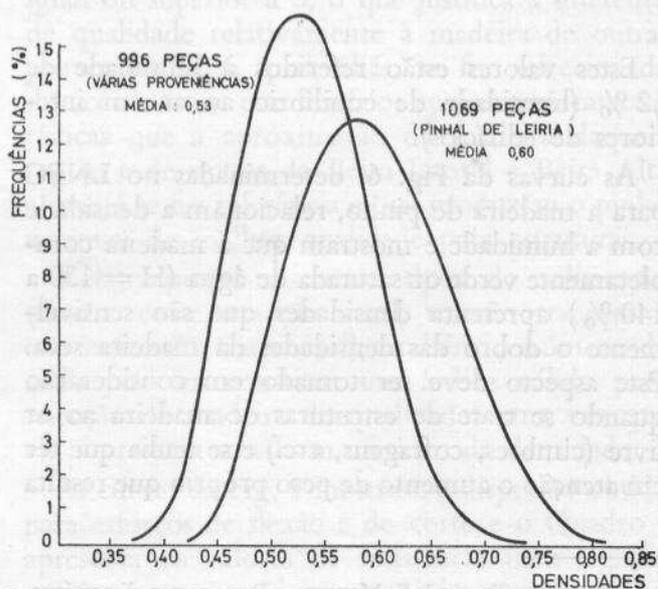


Fig. 5 — Distribuições das densidades da madeira de pinho de várias proveniências e da Mata de Leiria

várias proveniências e da Mata de Leiria: 996 no primeiro caso e 1069 no segundo.

Destas curvas se conclue que a região que produz a madeira de pinho tem bastante influência na sua qualidade. Ensaio realizados no LNEC sobre 2000 peças extraídas de material proveniente de 20 regiões diferentes do país acentuadamente produtoras de madeira de pinho e representativas das qualidades existentes no mercado corrente confirmaram esta influência (1), permitindo concluir que o pinho das regiões da Beira Alta e Beira Litoral é acentuadamente mais denso e mais resistente que o pinho das restantes regiões de Portugal Continental.

Pode dizer-se que as curvas da Fig. 5 representam bem as diferenças de qualidade entre essas madeiras, correspondendo a da direita ao pinho produzido na região das Beiras referidas. Essas curvas permitem estabelecer os seguintes valores para densidade:

→ *Região da Beira Alta e da Beira Litoral*

Valores limites: 0,42 e 0,80.

Valor médio (≈ valor mais frequente): 0,60.

→ *Restantes regiões*

Valores limites: 0,37 e 0,70.

Valor médio (≈ valor mais frequente): 0,53.

Estes valores estão referidos à humidade de 12% (humidade de equilíbrio ao ar em interiores de edifícios).

As curvas da Fig. 6, determinadas no LNEC para a madeira de pinho, relacionam a densidade com a humidade e mostram que a madeira completamente verde ou saturada de água (H = 130 a 140%) apresenta densidades que são sensivelmente o dobro das densidades da madeira seca. Este aspecto deve ser tomado em consideração quando se trate de estruturas de madeira ao ar livre (cimbres, cofragens, etc.) e se tenha que ter em atenção o aumento de peso próprio que resulta

(1) Veja-se TOMÁS J. E. MATEUS — «Bases para o dimensionamento de estruturas de madeira» — Memória n.º 179 — LNEC — Lisboa, 1961.

da absorção de água pela madeira quer devida a precipitações atmosféricas (cimbres, etc.), quer causada por molhagem intencional por necessidades de betonagem (cofragens). Como se verá adiante, a madeira nestas condições tem uma resistência mecânica bastante inferior à da madeira seca.

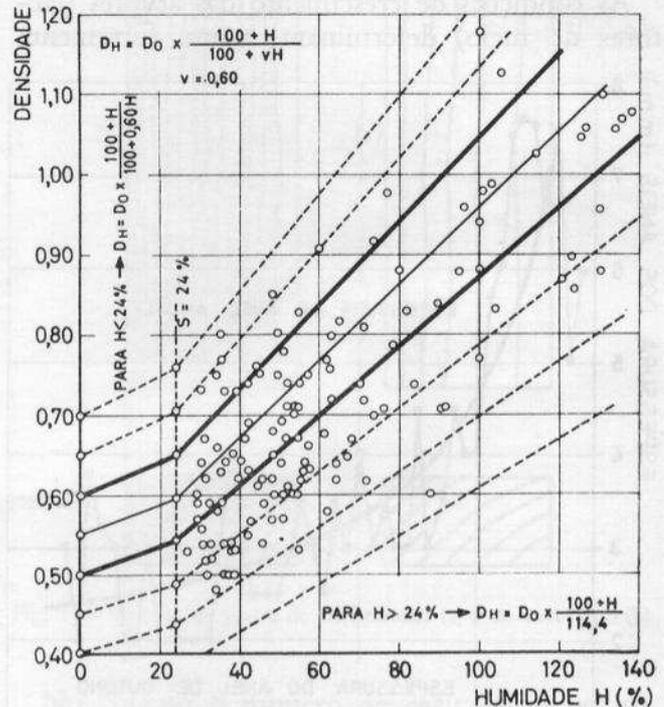


Fig. 6 — Variação da densidade da madeira de pinho com a humidade

II — RESISTÊNCIA MECÂNICA

À grande variabilidade de densidade ilustrada na Fig. 5 para a madeira de pinho corresponde necessariamente uma variabilidade da mesma ordem de grandeza para a resistência.

Estas duas características estão aliás fortemente relacionadas entre si como já se disse e como o demonstra a curva da Fig. 7 obtida no LNEC a partir de um ensaio efectuado sobre 1070 peças provenientes da Mata Nacional de Leiria. As tensões de rotura em compressão axial estão referidas a 12% de humidade e variam de um valor médio da ordem dos 350 kgf/cm<sup>2</sup> para a densidade mínima de 0,45 até um valor médio da ordem dos 750 kgf/cm<sup>2</sup> para a densidade máxima de 0,80.

A Fig. 8, referente também a ensaios de compressão axial sobre peças de madeira de pinho

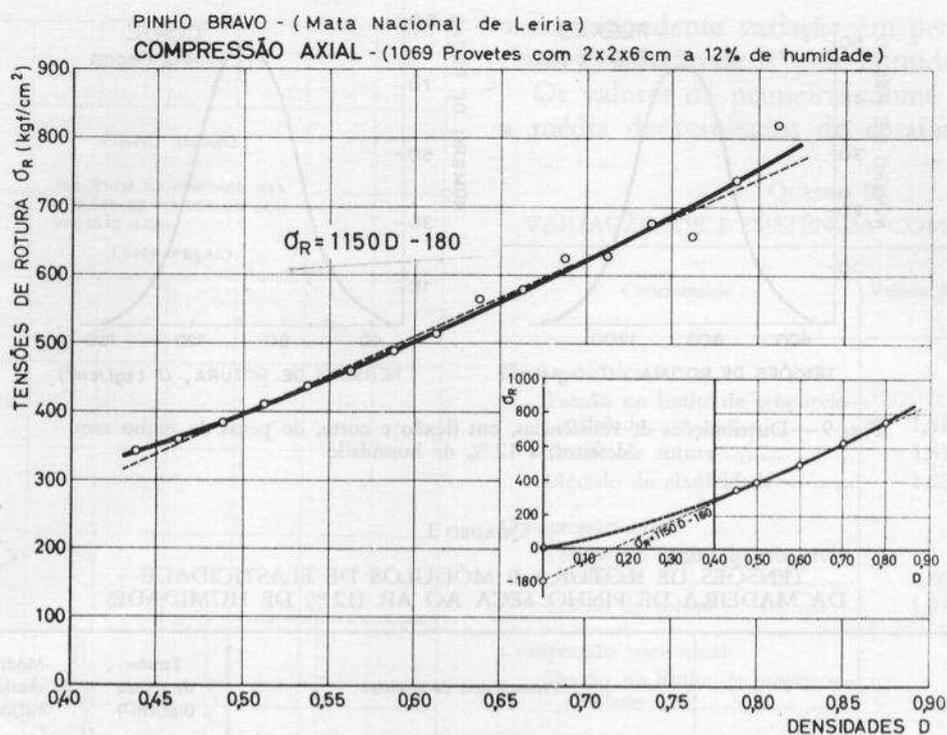


Fig. 7 — Variação da tensão de rotura, em compressão axial, com a densidade da madeira de pinho

de várias proveniências e da Mata Nacional de Leiria, ilustra bem a grande variação de resistência desta madeira, que pode ser expressa nos seguintes números referidos a 12 % de humidade:

*Madeira de várias proveniências*

Valores limites da tensão de rotura: 230 kgf/cm<sup>2</sup> e 700 kgf/cm<sup>2</sup>.

Valor médio (≈ valor mais frequente): 470 kgf/cm<sup>2</sup>.

*Madeira da Mata Nacional de Leiria*

Valores limites da tensão de rotura: 320 kgf/cm<sup>2</sup> e 800 kgf/cm<sup>2</sup>.

Valor médio (≈ valor mais frequente): 570 kgf/cm<sup>2</sup>.

Observa-se que a madeira da Mata de Leiria ensaiada apresentava um número de anéis/cm igual ou superior a 3, o que justifica a diferença de qualidade relativamente à madeira de outras proveniências, a qual, aliás, se for seleccionada de acordo com este critério, apresentará características que a aproximarão da madeira daquela região e de outras da Beira Litoral e Beira Alta a que já se fez referência e que produzem o pinho nacional de melhor qualidade para estruturas.

Relativamente a outros tipos de solicitação (flexão, corte, tracção axial, tracção transversal e compressão transversal) também o número de anéis por cm constitue um índice válido para selecção de madeira de qualidade, uma vez que ele representa um bom aferidor da densidade.

As curvas da Fig. 9 mostram a dispersão obtida para esforços de flexão e de corte e o Quadro I apresenta os valores de resistência mais significativos para a madeira de pinho produzida no nosso País.

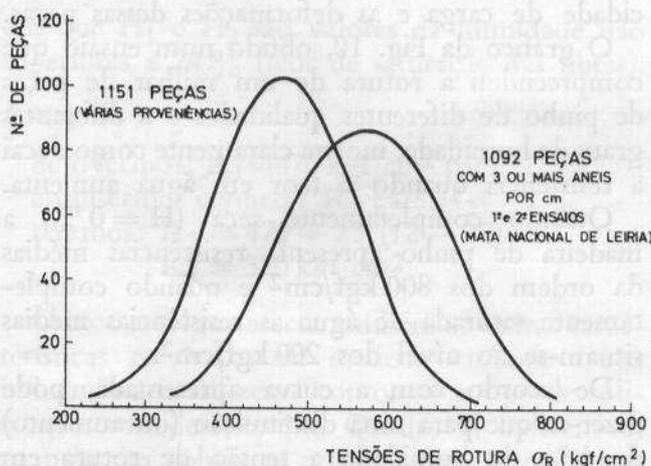


Fig. 8 — Distribuições de resistências, em compressão axial, da madeira de pinho de várias proveniências e da Mata de Leiria

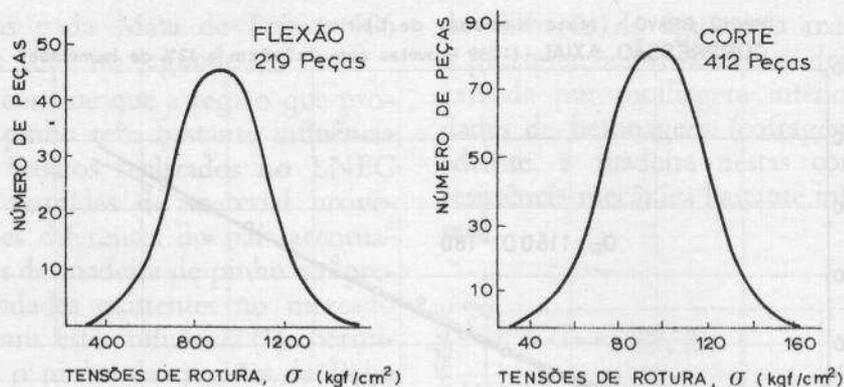


Fig. 9 — Distribuições de resistências, em flexão e corte, de peças de pinho sem defeitos, a 12 % de humidade

QUADRO I

TENSÕES DE ROTURA E MÓDULOS DE ELASTICIDADE DA MADEIRA DE PINHO SECA AO AR (12 % DE HUMIDADE)

	Proveniência da madeira	Tensão de rotura (kgf/cm <sup>2</sup> )	Módulo de elasticidade (kgf/cm <sup>2</sup> )
Compressão axial .....	Região de Leiria .....	540	140 000
	Várias proveniências .....	470	
	Região de Leiria (3 anéis/cm ou mais) .....	570	
Flexão estática .....	Região de Leiria .....	980	138 000
Corte .....	Região de Leiria e várias proveniências.....	100	
Tracção axial .....	Região de Leiria e várias proveniências.....	890	
Tracção transversal .....	Região de Leiria .....	30	
Compressão transversal .....	Várias proveniências .....	—	5 000-10 000

PRINCIPAIS FACTORES QUE AFECTAM A RESISTÊNCIA MECÂNICA

Para além da densidade, que na madeira de pinho como na generalidade das madeiras determina fortemente a sua capacidade resistente como já foi mostrado (Fig. 7), outros factores influenciam de forma notável as características mecânicas que interessam ao dimensionamento de estruturas.

1 — Humidade

A humidade é, entre todos os factores que afectam a resistência mecânica do material lenhoso, o que maior importância apresenta quando se pensa em termos de estruturas de madeira. Para além das retracções e entumecimentos que acompanham as variações do teor em água das peças

e que podem ter efeito importante no comportamento das ligações, a modificação de humidade reduz ou aumenta de maneira sensível a capacidade de carga e as deformações dessas peças.

O gráfico da Fig. 10, obtido num ensaio que compreendeu a rotura de um milhão de peças de pinho de diferentes qualidades e a diferentes graus de humidade, mostra claramente como decai a resistência quando o teor em água aumenta.

Quando completamente seca (H = 0 %) a madeira de pinho apresenta resistências médias da ordem dos 800 kgf/cm<sup>2</sup> e quando completamente saturada de água as resistências médias situam-se ao nível dos 200 kgf/cm<sup>2</sup>.

De acordo com a curva apresentada, pode dizer-se que para uma diminuição (ou aumento) de 1 % de humidade a tensão de rotura em compressão axial aumenta (ou diminui) de 25 kgf/cm<sup>2</sup>.

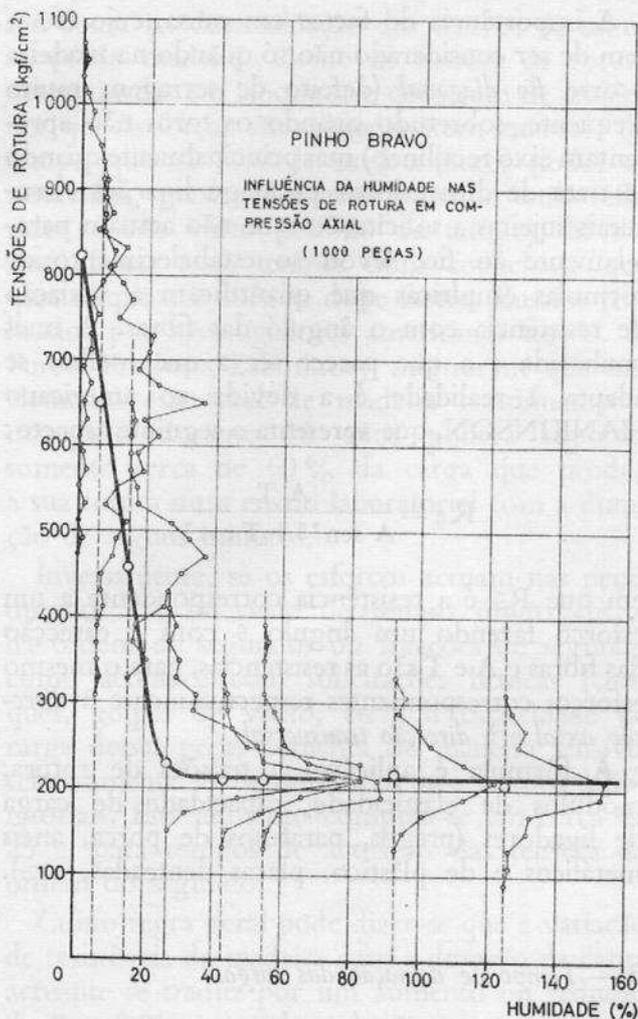


Fig. 10 — Relação entre as tensões de rotura, em compressão axial, e a humidade da madeira

Assim, para calcular a resistência  $R_2$  de uma peça de pinho à humidade  $H_2$  quando se conhece a sua resistência  $R_1$  à humidade  $H_1$ , basta recorrer à seguinte expressão:

$$R_2 = R_1 + 25 (H_1 - H_2)$$

em que  $H_1$  e  $H_2$  são valores da humidade não superiores a 24 % (teor de saturação das fibras).

Exemplo:

Se tivermos:  $R_1 = 470 \text{ kgf/cm}^2$  para  $H_1 = 12 \%$   
e quisermos conhecer  $R_2$  para  $H_2 = 18 \%$   
teremos:  $R_2 = 470 + 25 (12 - 18)$   
 $R_2 = 320 \text{ kgf/cm}^2$

O teor em água afecta também as outras características mecânicas da madeira embora a sua influência seja diferente consoante o tipo de solicitação considerado. No Quadro II indicam-se, na primeira coluna as relações das características determinadas a 12 % e a 24 % de humidade para os diferentes esforços e na segunda coluna

a correspondente variação em percentagem referente à variação de 1 % de humidade na madeira.

Os valores da primeira coluna ( $R_{12}/R_{24}$ ) são a média de resultados de ensaios realizados no

QUADRO II  
VARIAÇÃO DE RESISTÊNCIA COM A HUMIDADE

Características	Valores de $\frac{R_{12}}{R_{24}}$	% de influência para 1% de humidade
Flexão estática		
Tensão no limite de proporcionalidade .....	1,81	5
Tensão de rotura .....	1,61	4
Módulo de elasticidade .....	1,28	2
Compressão axial		
Tensão no limite de proporcionalidade .....	1,86	5
Tensão de rotura .....	1,97	6
Compressão transversal		
Tensão no limite de proporcionalidade .....	1,96	5,5
Corte		
Tensão de rotura .....	1,37	3
Tracção transversal		
Tensão de rotura .....	1,23	1,5

$R_{12}$  — Características a 12% (Madeira seca ao ar).  
 $R_{24}$  — Características a 24% (Madeira verde)

U. S. Forest Products Laboratory (Madison) sobre 54 espécies resinosas e os da segunda coluna foram obtidos no mesmo Laboratório sobre grande número de espécies resinosas e folhosas.

Na Fig. 11, adaptada de ARMSTRONG (Forest Products Research Laboratory, Princes

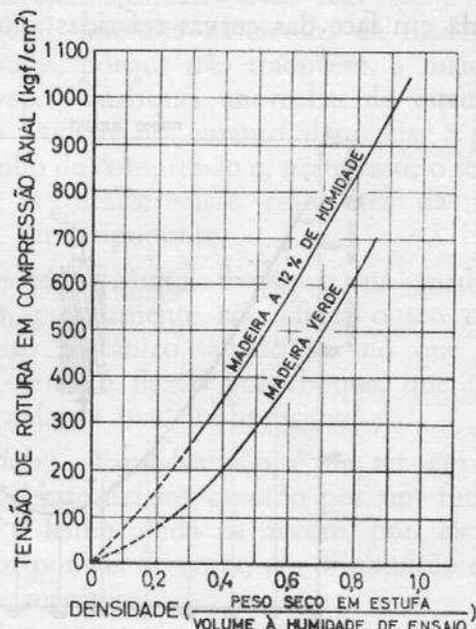


Fig. 11 — Relação entre a tensão de rotura em compressão axial e a densidade da madeira

Risborough, Inglaterra) apresentam-se duas curvas que relacionam a resistência à compressão da madeira de uma resinosa com a densidade, para a humidade de 12 % e para o estado verde ( $H \geq 24 \%$ ). Estas curvas, como o quadro anteriormente apresentado, são importantes para o estabelecimento das tensões de segurança a adoptar principalmente para o cálculo de estruturas que se destinam ao ar livre.

## 2 — Inclinação do fio (fio diagonal)

O ângulo que a direcção das fibras faz com a direcção do esforço a que a madeira está sujeita influencia também grandemente a resistência das peças, como se pode verificar nas curvas da Fig. 12, traçadas com os resultados de ensaios realizados no LNEC sobre provetes de pinho, a primeira referente a tensões de rotura em compressão e a segunda a módulos de elasticidade. Ambas as curvas evidenciam a forte anisotropia que caracteriza o material lenhoso, principalmente a que representa a variação do módulo de elasticidade com o ângulo das fibras. Em compressão paralela às fibras ( $\theta = 0^\circ$ ) esta característica elástica toma valores, em madeira seca, da ordem dos  $160$  a  $180 \times 10^3 \text{ kgf/cm}^2$  e em compressão transversal ( $\theta = 90^\circ$ ) valores que vão de  $5 \times 10^3 \text{ kgf/cm}^2$  (esforços dirigidos na direcção tangencial) até  $10 \times 10^3 \text{ kgf/cm}^2$  (esforços dirigidos na direcção radial).

A influência dos nós na resistência da madeira, que se analisará mais adiante, só pode ser compreendida em face das curvas referidas anteriormente.

A importância do factor em causa, cujo efeito tem de ser considerado não só quando na madeira ocorre *fio diagonal* (defeito de serragem muito frequente, sobretudo quando os toros não apresentam eixo rectilíneo) mas principalmente quando se trata de dimensionar peças ou ligações estruturais sujeitas a solicitações que não actuam paralelamente ao fio, levou ao estabelecimento de fórmulas empíricas que quantificam a variação de resistência com o ângulo das fibras. A mais conhecida e a que parece ser a que melhor se adapta à realidade é a devida ao americano HANKINSON, que apresenta o seguinte aspecto:

$$R_\theta = \frac{A \cdot T}{A \cdot \sin^2 \theta + T \cdot \cos^2 \theta}$$

em que  $R_\theta$  é a resistência correspondente a um esforço fazendo um ângulo  $\theta$  com a direcção das fibras e A e T são as resistências, para o mesmo esforço, correspondentes respectivamente à *direcção axial* e à *direcção transversal*.

A fórmula é aplicável a tensões de rotura, módulos de elasticidade, capacidade de carga de ligadores (pregos, parafusos de porca, anéis metálicos e de plástico, placas denteadas, etc.).

## 3 — Tempo de actuação das cargas

Uma peça de madeira sujeita à acção de uma carga prolongada oferece uma capacidade de resistência inferior à que teria se a solicitação fosse aplicada apenas durante alguns minutos. O tempo de actuação dos esforços num elemento estrutural é, assim, um factor importante a ter

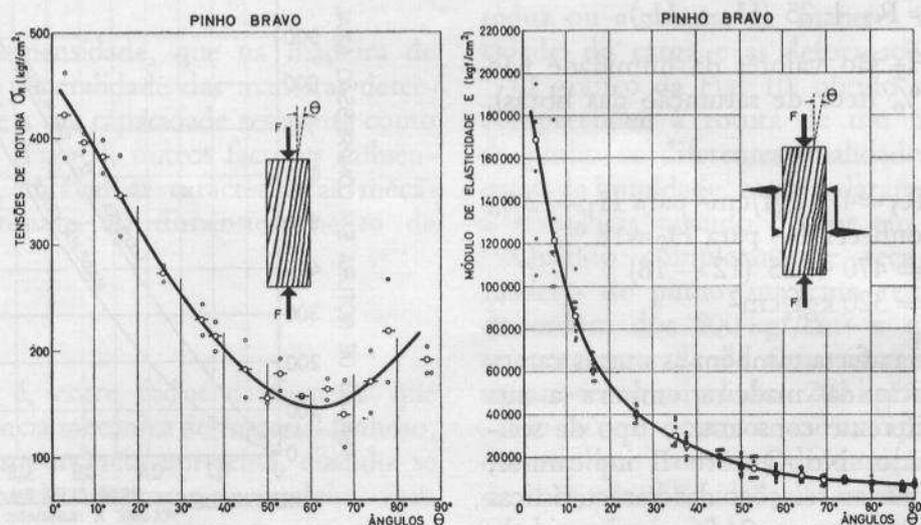


Fig. 12 — Variação das tensões de rotura e do módulo de elasticidade, em compressão, com o ângulo das fibras

em conta na determinação das tensões de segurança da madeira. Como as tensões de rotura determinadas em laboratório decorrem de ensaios em que as forças são aplicadas num intervalo de tempo que não excede os 5 minutos (todos os resultados apresentados neste trabalho estão referidos a esse curto período de tempo), haverá que afectar essas tensões dum coeficiente que quantifique a influência deste factor. Ensaio realizados por investigadores americanos do U. S. Forest Products Laboratory mostraram que um elemento estrutural de madeira continuamente carregado durante 10 anos poderá suportar somente cerca de 60% da carga que produz a sua rotura num ensaio laboratorial com a duração de alguns minutos.

Inversamente, se os esforços actuam nas peças durante um intervalo de tempo muito curto, da ordem de segundos ou fracções de segundo como acontece com solicitações bruscas (choques, golpes de vento, etc.), a capacidade de carga dessas peças aumenta de maneira sensível relativamente às determinadas nos ensaios laboratoriais. Este aumento computa-se em cerca de 25% para tempos de actuação das tensões da ordem do segundo.

Como regra geral pode dizer-se que a variação de resistência da madeira com a duração da carga actuante se traduz por um aumento ou redução de 7 a 8% por cada redução ou aumento de 10 vezes o tempo de actuação das solicitações.

Para se avaliar mais objectivamente a influência deste parâmetro apresenta-se na Fig. 13 uma curva estabelecida com base em ensaios realizados no laboratório americano referido sobre vigas de madeira submetidas durante 10 anos a níveis de tensão variando de 60 a 95% das tensões de rotura determinadas em ensaios labo-

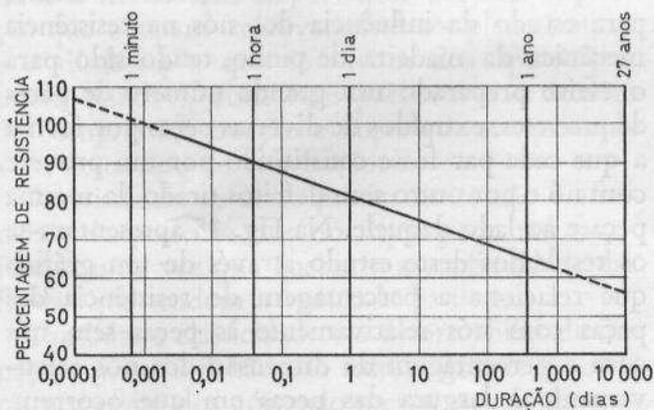


Fig. 13 — Variação da resistência em função do tempo de actuação da carga

ratoriais de curta duração. WOOD (1960), utilizando resultados obtidos por CLOUSER e LISKA, do U. S. For. Lab., estabeleceu a seguinte equação, que pretende traduzir o fenómeno em causa:

$$Y = \frac{108,4}{x^{0,04635}} + 18,3$$

em que X é o tempo de actuação da tensão (em segundos) e Y a percentagem de resistência oferecida pela madeira.

#### 4 — Defeitos

*Bolsas de resina* — Como estes defeitos têm geralmente pequenas dimensões e a sua localização nas peças é dispersa, o seu efeito na resistência da madeira é, por via de regra, pequeno. No caso porém de ocorrerem com abundância — o que será sempre uma situação singular — a sua influência pode ser de considerar.

*Lenho de compressão* — Quando presente no pinho, onde se reconhece pela sua cor avermelhada afectando porções de camadas de crescimento de espessura maior que a normal e excêntricas em relação à medula, provoca durante a secagem da madeira acentuados empenamentos e variações importantes de dimensão nas peças e afecta grandemente a elasticidade da madeira e a sua resistência à flexão e ao choque.

*Colorações anormais* — Não têm estas anomalias, em geral, interesse na escolha da madeira para estruturas, porque não traduzem, a maior parte das vezes, quaisquer anomalias de estrutura do lenho. Podem no entanto denunciar a presença de lenho de compressão e, neste caso, o seu efeito sobre as características resistentes da madeira pode ser importante.

*Azulado* — Muito frequente na madeira de pinho, praticamente não afecta o seu comportamento mecânico, a não ser no que respeita à resistência à flexão por choque, que aliás não é alterada de maneira apreciável.

*Ardido* — Também não é de ter em grande atenção este defeito causado por um fungo que ataca o lenho ainda na árvore, pois ele não se traduz, por via de regra, em diminuição da resistência mecânica.

A sua presença na madeira, visto só ocorrer no cerne, significa sempre maior durabilidade

natural e por vezes até um aumento da resistência mecânica, devido ao elevado teor em resina que geralmente acompanha este defeito. O fungo que dá origem ao ardido e ao cardido cessa a sua actividade quando a árvore é abatida.

**Cardido** — Este defeito traduz-se geralmente por grande depreciação das características resistentes da madeira de pinho e da sua capacidade de retenção de órgãos metálicos de ligação (pregos, parafusos, etc.). Mesmo em estruturas provisórias não deve ser permitido o emprego de madeira com este defeito.

**Ataque de fungos causadores de podridões** — Trata-se de um defeito particularmente grave, sobretudo se a madeira se vai situar em ambiente húmido ou que acidentalmente possa vir a sê-lo. Afecta extraordinariamente a resistência mecânica das peças podendo reduzi-la praticamente a zero.

**Ataque de insectos** — Como o anterior, este defeito é bastante grave na madeira se o agente xilófago se encontra em actividade, pois pode reduzir substancialmente a resistência mecânica das peças. No entanto, se o ataque se encontra extinto, não são de ter em conta pequenas galerias ou furos ocasionais de saída dos insectos.

→ **Nós** — São sem dúvida estes os defeitos que maior influência têm na resistência mecânica do pinho, sobretudo quando apresentam grandes dimensões ou se localizam em pontos das peças onde os esforços são máximos. A direcção geral das fibras (o fio da madeira) é fortemente perturbada na vizinhança dos nós, de que resulta necessariamente uma forte diminuição da resistência da madeira.

É evidente que o efeito dos nós numa peça de uma estrutura varia com o seu número e dimensões, com os estados de conservação e de aderência à madeira que os envolve, com a maneira como se distribuem (se em grupos, se isolados) e com a posição que ocupam não só em relação às faces e às arestas do elemento em que ocorrem, mas também, nalguns casos, em relação às extremidades deste. Interessa por isso classificá-los de acordo com estes vários aspectos e, assim, distinguem-se geralmente os seguintes tipos: nós pequenos, nós médios e nós grandes; nós sãos e nós podres; nós aderentes e nós soltadiços; nós isolados e nós agrupados; nós de face, nós de canto e nós de aresta.

Porque a forma dos nós nas faces em que ocorrem pode dar uma ideia da extensão de madeira por eles afectada, importa ainda classificá-los em

nós circulares, nós elípticos e nós deitados (parabólicos) (Fig. 14). Destes, os nós que se apresentem como circulares são em geral os que mais afectam a resistência das peças por corresponderem a formações que normalmente as atravessam em toda a espessura, contrariamente ao que acontece com os nós deitados que, embora aparentemente maiores, apenas perturbam a direcção geral das fibras nas zonas mais superficiais das peças uma vez que não constituem formações profundas.

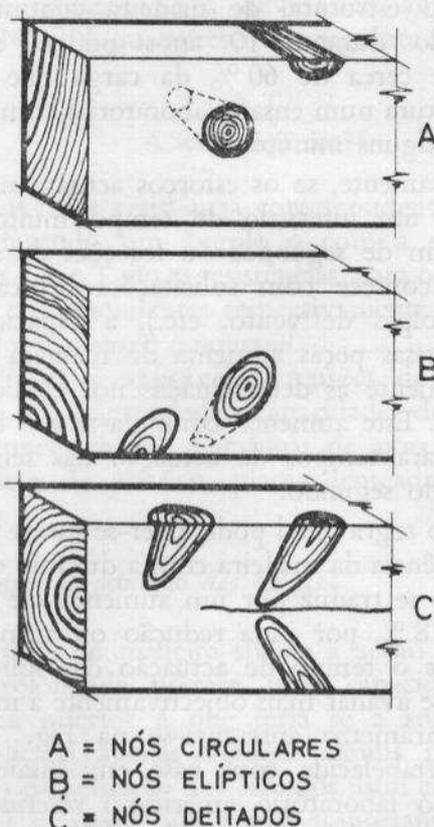


Fig. 14 — Diversas formas de nós

Realizaram-se no LNEC numerosos ensaios para estudo da influência dos nós na resistência mecânica da madeira de pinho, tendo sido para o efeito preparado um grande número de pares de provetes, extraídos de diversas peças por forma a que cada par fosse constituído por um provete com nó e por outro sem defeitos tirado da mesma peça e ao lado daquele. Na Fig. 15 apresentam-se os resultados deste estudo através de um gráfico que relaciona a percentagem de resistência das peças com nós relativamente às peças sem nós com a percentagem de dimensão dos nós relativamente à largura das peças em que ocorrem.

A curva traçada não é uma curva média mas sim uma curva limite e traduz o seguinte critério

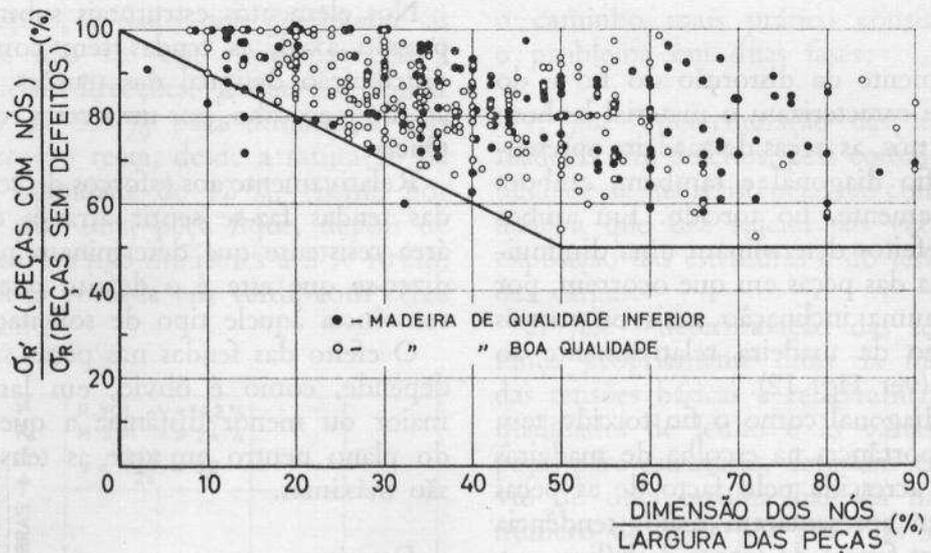


Fig. 15 — Redução de resistência das peças em função da dimensão relativa dos nós

prático e seguro para avaliação da influência deste defeito na resistência mecânica da madeira: uma peça de madeira com um nó cujo diâmetro (ou eixo menor no caso dos nós elípticos) relativamente à largura da face em que ocorre represente uma relação de  $n$  % terá, na pior hipótese, uma resistência mecânica igual a  $(100 - n)$  % da resistência que a peça teria se não tivesse nó.

A influência dos nós é maior em solicitações de tracção do que em solicitações de compressão. Tal facto no entanto não se considera em geral na prática dado que a resistência àquele primeiro tipo de esforços é cerca de 1,5 a 2 vezes superior à que corresponde à compressão e que no cálculo de estruturas se adopta a mesma tensão de segurança para ambos os esforços.

A posição dos nós nas peças sujeitas a estas solicitações não tem praticamente qualquer influência. Porém nos elementos estruturais submetidos à flexão têm importância decisiva a posição que ocupam relativamente ao plano neutro e a distância a que se situam dos apoios por serem variáveis com estes parâmetros as tensões de compressão, tracção e corte que se desenvolvem neste tipo de solicitação.

A resistência ao corte praticamente não é afectada pela presença dos nós, que pode até favorecer-lha uma vez que quebram a continuidade das fendas que tendem a reduzi-la bastante.

Também a elasticidade e a deformabilidade das peças sujeitas à flexão não sofrem grande influência por efeito dos nós, pelo menos para as dimensões correntes com que estes se apresentam na madeira para estruturas. Estas características, com

efeito, dependem fundamentalmente da qualidade do material lenhoso ao longo de toda a peça, de tal modo que a perturbação localizada e restrita introduzida pelos nós não chega para alterar de maneira sensível o comportamento global do elemento estrutural.

Nestas condições, o efeito dos nós nas peças compridas sujeitas à compressão, uma vez que o fenómeno da encurvadura depende fundamentalmente da deformabilidade da madeira no seu conjunto, para a qual concorre o módulo de elasticidade do material lenhoso ao longo das peças, considera-se geralmente pequeno por ser proporcionalmente reduzida a porção de lenho afectada pela perturbação do defeito relativamente ao comprimento total do elemento estrutural.

Em peças de secção aproximadamente circular, como barrotes redondos, estacas e postes, a influência dos nós não é tão acentuada como nos madeiramentos de secção quadrada ou rectangular em resultado de o ângulo que o fio irregular forma, na vizinhança destes defeitos, com a direcção do esforço ser menos pronunciado no caso do material que não foi serrado. Além disso, nos verticilos de nós os postes são em geral um pouco mais grossos que nas outras zonas, devido às protuberâncias naturais que aí se formam, de que resulta uma maior secção resistente que tende a compensar o efeito depreciativo do defeito.

Normalmente não devem aceitar-se para estruturas peças com nós agrupados por não ser fácil estabelecer um critério de medição destes defeitos que se ajuste bem à depreciação que causam.

### *Fio torcido*

Independentemente da distorção do fio e do fio irregular que caracterizam o material lenhoso que circunda os nós, as peças de madeira apresentam em geral fio diagonal e também, embora menos frequentemente, fio torcido. Em ambos os casos estes defeitos determinam uma diminuição da resistência das peças em que ocorrem, por se traduzirem numa inclinação mais ou menos acentuada do fio da madeira relativamente ao eixo das peças (ver Fig. 12).

Tanto o fio diagonal como o fio torcido tem pois grande importância na escolha de madeiras para estruturas, acrescida pelo facto de as peças em que ocorrem apresentarem maior tendência para empenos em forma de arco e de hélice.

As especificações americanas da A. S. T. M., com base nos estudos do U. S. Forest Products Laboratory sobre a influência destes defeitos na resistência mecânica, indicam os seguintes princípios:

- em elementos sujeitos à flexão e à tracção, o efeito da inclinação do fio é praticamente desprezável quando esta é igual ou inferior a 1/40. Permitem-se inclinações desde 1/20 em material praticamente sem defeitos até 1/8 em categorias de madeira com resistência da ordem de grandeza de metade da das peças isentas de anomalias;
- em elementos à compressão é muito menos importante a influência do fio diagonal do que em flexão (admitem-se para os casos anteriormente considerados, respectivamente 1/15 e 1/6).

### *Fendas*

As fendas, tal como os nós, constituem um defeito muito frequente nas peças de madeira, principalmente as radiais, formadas durante o processo de secagem em resultado das tensões internas que se produzem no lenho por efeito de gradientes de humidade determinantes de desiguais retracções da massa lenhosa.

Em elementos sujeitos à tracção axial, as fendas, por se orientarem paralelamente ao eixo das peças, praticamente não têm qualquer efeito desfavorável sobre a resistência. Se a tracção é transversal estes defeitos reduzem a área útil resistente do material e consequentemente a capacidade de carga do elemento em que ocorrem.

Nos elementos estruturais submetidos à compressão axial, as fendas têm como efeito uma distribuição desigual das tensões que se traduz, ao fim e ao cabo, por uma certa redução de resistência.

Relativamente aos esforços de corte a influência das fendas faz-se sentir através da redução da área resistente que determinam nas peças. Pode dizer-se que este é o defeito que afecta mais a resistência àquele tipo de sollicitação.

O efeito das fendas nas peças sujeitas à flexão depende, como é óbvio, em larga medida da maior ou menor distância a que se encontram do plano neutro em que as tensões tangenciais são máximas.

### *Descaio*

Este defeito, que se traduz pela falta de madeira em uma ou mais arestas das peças, afectando-as parcial ou totalmente ao longo do seu comprimento, e que é devido à presença da superfície arredondada do toro que não foi suprimida pela serragem, deve ser limitado mais por considerações de redução da área necessária para as ligações do que por razões de diminuição de resistência, a menos nos casos em que seja muito extenso e bastante acentuado. A combinação de descaio com nós tem um efeito cumulativo sobre a resistência da madeira, mas em geral despreza-se a influência do primeiro destes defeitos por ser pequena relativamente à dos últimos.

### *Desvios de dimensões*

Trata-se também de defeitos de laboração, que resultam de se cortar a madeira em verde sem que se tomem, na devida consideração, as reduções de dimensão que as peças vão sofrer posteriormente durante a secagem por efeito do fenómeno da retracção.

Para a madeira de pinho bravo, as curvas apresentadas na Fig. 16, que representam a média de cerca de 200 ensaios sobre material com diversas densidades, fornecem os valores das retracções volumétrica, tangencial, radial e axial que se verificam quando a humidade do material lenhoso varia de 0 % até 24 % (teor de saturação das fibras). Considerando que a madeira «seca ao ar» tem uma humidade de cerca de 12 %, ter-se-á uma redução de dimensões, durante a secagem, de cerca de metade dos valores indicados, ou seja aproximadamente 4,3 % na direcção tangencial e 2,5 % na direcção radial.

Nestas condições, e dado que geralmente as faces das peças não são em rigor paralelas a nenhuma daquelas direcções, poder-se-á tomar o valor médio de 3,5 % para diminuição das dimensões da secção recta, desde a saturação da madeira até à humidade de 12 %. Assim, por exemplo, para que uma peça fique, depois de seca, com dimensões não inferiores a  $5 \times 10$  cm, torna-se necessário cortá-la em verde com cerca de  $5,2 \times 10,4$  cm.

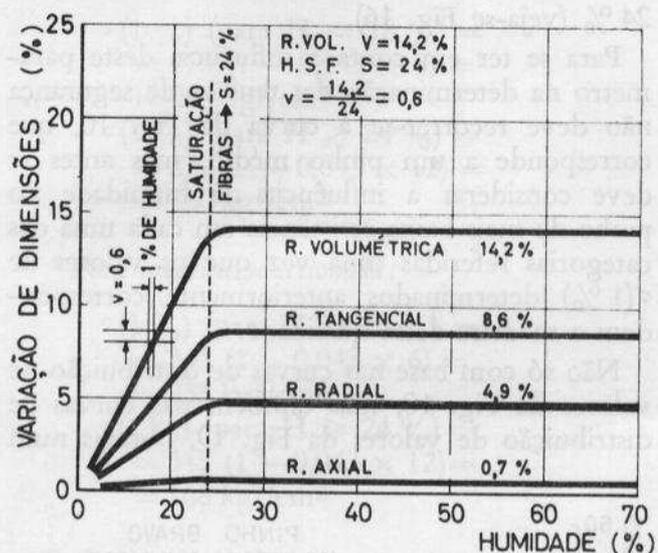


Fig. 16 — Curvas de retracção da madeira de pinho

### Combinação de defeitos

Embora em muitos casos não sejam cumulativos os efeitos dos vários factores que reduzem a resistência mecânica da madeira e que ocorrem numa mesma peça, deve ter-se em atenção a situação em que eles se conjugam numa mesma secção resistente.

Segundo as normas americanas não é permitida nenhuma combinação de defeitos que, no julgamento do classificador, torne inadequada a peça para o uso estrutural que se lhe destina, admitindo-se no entanto que nesse julgamento se atenda a características particulares do elemento, por exemplo densidade relativamente elevada, que possam compensar a acção conjunta dos factores depreciativos presentes.

### C — TENSÕES DE SEGURANÇA

Para estabelecimento das tensões de segurança a adoptar no cálculo de estruturas de madeira,

o caminho mais prático consiste em abordar o problema em duas fases:

1.ª fase — determinação das tensões básicas da madeira sem defeitos, pela consideração da variabilidade da sua resistência, das condições de humidade a que fica sujeita nas várias situações de exposição das estruturas e do tempo de actuação das cargas.

2.ª fase — determinação das tensões de segurança propriamente ditas da madeira, a partir das tensões básicas e relativamente às diferentes qualidades de lenho e às várias categorias das peças para estruturas, definidas as primeiras através de uma escolha baseada na contagem do número de anéis por cm e as segundas através de um critério de limitação de defeitos.

### I — DETERMINAÇÃO DAS TENSÕES BÁSICAS DA MADEIRA DE PINHO

#### a) Variabilidade da resistência mecânica

Na Fig. 17, as curvas de distribuição de valores de resistência à compressão da madeira de pinho a 12 % de humidade (curvas à direita do gráfico) são precisamente as que foram apresentadas na Fig. 8 e correspondem a resultados obtidos sobre material não seleccionado (madeira corrente) e

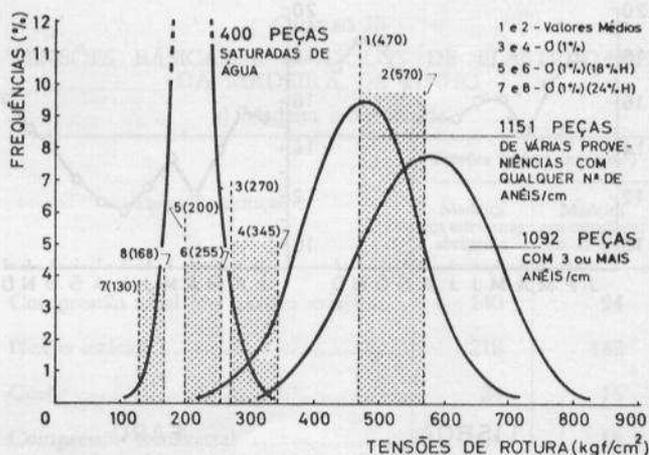


Fig. 17 — Tensões médias de rotura em compressão axial e valores  $\sigma$  (1 %) da madeira de pinho, seleccionada e corrente, para humidades de 18 % e 24 % ou mais

sobre material seleccionado de acordo com o critério do número de anéis/cm (3 ou mais anéis por cm).

Para se atender à variabilidade de resistência representada por essas curvas, é geralmente aceite pelos laboratórios que se ocupam dos estudos de madeiras, o risco de 1 % de roturas como critério

de segurança. Como as curvas de frequência referidas se podem considerar como distribuições normais, ter-se-á para cada um dos casos considerados:

*Madeira corrente*

(Valor médio = 470 kgf/cm<sup>2</sup>; desvio padrão = 86 kgf/cm<sup>2</sup>)  
 $\sigma(1\%) = 470 - 2,33 \times 86 = 270 \text{ kgf/cm}^2$

*Madeira seleccionada*

(Valor médio = 570 kgf/cm<sup>2</sup>; desvio padrão = 96 kgf/cm<sup>2</sup>)  
 $\sigma(1\%) = 570 - 2,33 \times 96 = 345 \text{ kgf/cm}^2$

b) *Humidade*

Como os valores obtidos para resistências da madeira de pinho estão referidos ao teor de humidade de 12 %, haverá que corrigi-los para 18 % e para 24 % para se atender às duas situações seguintes em que as madeiras se podem encontrar:

- Madeiras em estruturas abrigadas.
- Madeiras em estruturas ao ar livre.

No primeiro caso a humidade mais desfavorável a considerar será, na pior hipótese, de 18 %, como se mostra nos gráficos da Fig. 18 que tra-

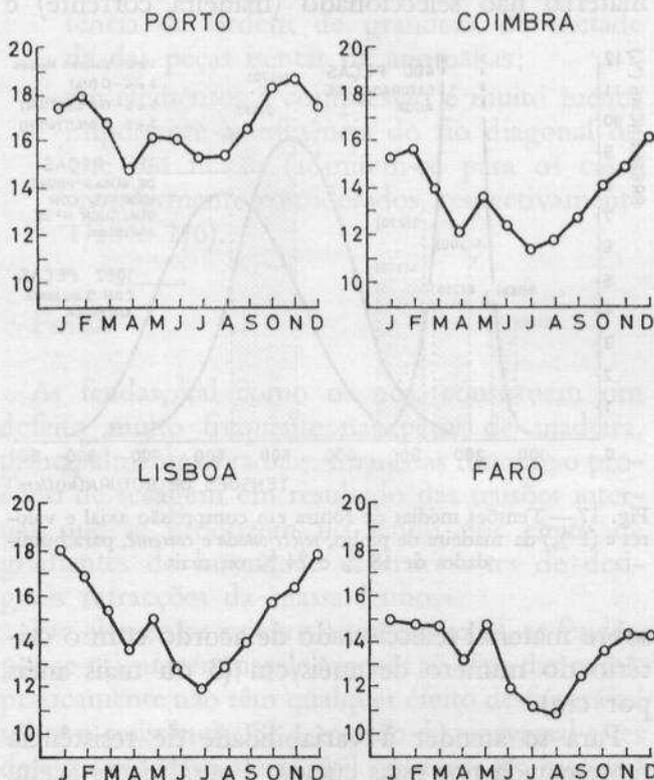


Fig. 18 — Humidades médias de equilíbrio ao ar da madeira ao longo do ano para diferentes cidades do País

duzem a variação de humidade da madeira ao longo do ano para as cidades do Porto, Coimbra, Lisboa e Faro, representativas de condições diferentes de clima no nosso País.

No segundo caso a madeira de estruturas ficará sujeita à acção directa das precipitações atmosféricas e, nestas condições, impõe-se que se considere a situação mais desfavorável do ponto de vista de humidade o que equivale a admitir que as peças atingem o teor em água correspondente à saturação das fibras, isto é, o valor de 24 % (veja-se Fig. 16).

Para se ter em conta a influência deste parâmetro na determinação das tensões de segurança não deve recorrer-se à curva da Fig. 10, que corresponde a um pinho médio, mas antes se deve considerar a influência da humidade no pinho de mais baixa resistência em cada uma das categorias referidas uma vez que os valores de  $\sigma(1\%)$  determinados anteriormente correspondem a madeira dessa qualidade.

Não só com base nas curvas de distribuição de valores da Fig. 10, mas também nas curvas de distribuição de valores da Fig. 19, obtidas num

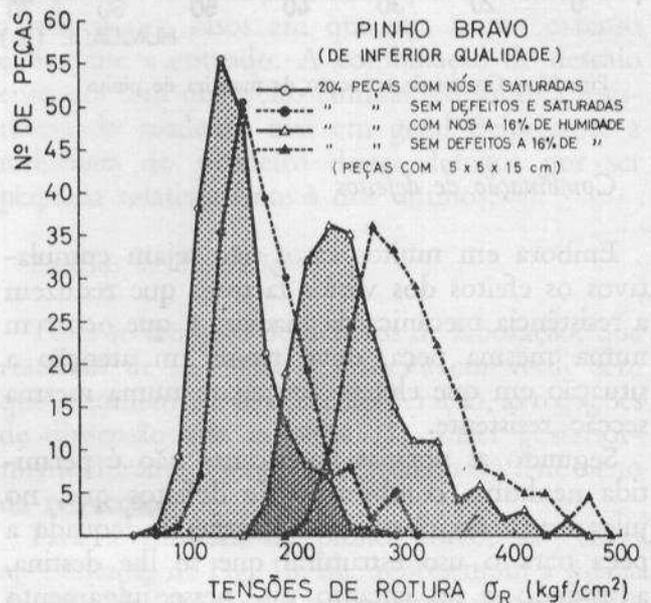


Fig. 19 — Distribuições de resistências, em compressão axial, de peças de pinho, com e sem defeitos, saturadas e a 16 % de humidade

ensaio realizado sobre 816 peças de pinho bravo de inferior qualidade (204 com nós a 16 % de humidade, e 204 saturadas; 204 sem defeitos a 16 % de humidade e 204 saturadas), determinou-se o coeficiente médio de 4,3 % para a variação de tensão de rotura da madeira de baixa resistência correspondente a 1 % de humidade.

Por meio da expressão:

$$\sigma_H = \sigma_{12} [1 - 0,043 (H - 12)]$$

podem transformar-se as tensões  $\sigma(1\%)$  referidas a 12% de humidade em tensões  $\sigma(1\%)$  referidas a 18% e a 24%, bastando substituir H por estes valores:

Ter-se-á:

Para madeira corrente:

$$\begin{aligned} \sigma(1\%) \text{ (para } H = 18\%) &= \\ &= 270 (1 - 0,043 \times 6) = \\ &= 200 \text{ kgf/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma(1\%) \text{ (para } H \geq 24\%) &= \\ &= 270 (1 - 0,043 \times 12) = \\ &= 130 \text{ kgf/cm}^2 \end{aligned}$$

Para madeira seleccionada:

$$\begin{aligned} \sigma(1\%) \text{ (para } H = 18\%) &= \\ &= 345 (1 - 0,043 \times 6) = \\ &= 255 \text{ kgf/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma(1\%) \text{ (para } H \geq 24\%) &= \\ &= 345 (1 - 0,043 \times 12) = \\ &= 168 \text{ kgf/cm}^2 \end{aligned}$$

Todos estes valores estão representados na Fig. 17 respectivamente pelas linhas 5, 7, 6 e 8.

Nesta mesma figura traçou-se a curva de distribuição dos valores obtidos num ensaio realizado sobre 400 peças de madeira de pinho saturadas de água, a qual vem confirmar que os valores mais desfavoráveis de 130 kgf/cm<sup>2</sup> e 168 kgf/cm<sup>2</sup> obtidos anteriormente para as duas categorias consideradas são valores cobertos pelo critério de segurança adoptado.

### c) Tempo de actuação das cargas

Para se atender à influência deste factor, e tendo em conta o que se disse a propósito dos ensaios realizados nos E. U. sobre peças sujeitas a cargas de longa duração, adoptar-se-á o coeficiente de 0,56 que corresponde à redução de resistência que se observará ao fim de um prolongado período de anos (ver Fig. 13).

Nestas condições os valores anteriormente apresentados transformar-se-ão, por simples multiplicação por este factor, nas tensões básicas da madeira de pinho, isto é, nas tensões que este material poderia suportar como elemento estrutural se não existissem defeitos ou anomalias responsáveis por uma redução da sua resistência mecânica.

Essas tensões básicas para as qualidades de madeira e condições de exposição consideradas são as seguintes:

Madeira corrente:

Estruturas abrigadas:

$$\sigma_B = 200 \times 0,56 = 112 \text{ kgf/cm}^2$$

Estruturas ao ar livre:

$$\sigma_B = 130 \times 0,56 = 73 \text{ kgf/cm}^2$$

Madeira seleccionada:

Estruturas abrigadas:

$$\sigma_B = 225 \times 0,56 = 140 \text{ kgf/cm}^2$$

Estruturas ao ar livre:

$$\sigma_B = 168 \times 0,56 = 94 \text{ kgf/cm}^2$$

Toda a análise apresentada anteriormente foi feita considerando exclusivamente esforços de compressão actuando sobre madeira sem defeitos. Relativamente a outros tipos de sollicitação também o LNEC realizou numerosos ensaios; na Fig. 20 condensam-se, na forma de curvas de distribuição, os resultados obtidos.

Com base nestas curvas e segundo os mesmos critérios adoptados para esforços de compressão, que atrás se expuseram, elaborou-se o Quadro III

QUADRO III  
TENSÕES BÁSICAS E MÓDULOS DE ELASTICIDADE  
DA MADEIRA DE PINHO

#### a) Madeira seleccionada

Tipo de sollicitação	Tensões básicas (kgf/cm <sup>2</sup> )	
	Madeira em estruturas abrigadas	Madeira em estruturas ao ar livre
Compressão axial (ou tracção axial) .....	140	94
Flexão estática .....	218	142
Corte .....	24	15
Compressão transversal .....	24	15
Módulo de elasticidade (flexão).....	70 000	50 000

#### b) Madeira corrente

Compressão axial (ou tracção axial) .....	112	73
Flexão estática .....	178	116
Corte .....	20	13
Compressão transversal .....	19	13
Módulo de elasticidade (flexão).....	70 000	50 000

**PINHO BRAVO - (Mata Nacional de Leiria)**  
(PEÇAS COM A SECÇÃO 5 x 5 cm)

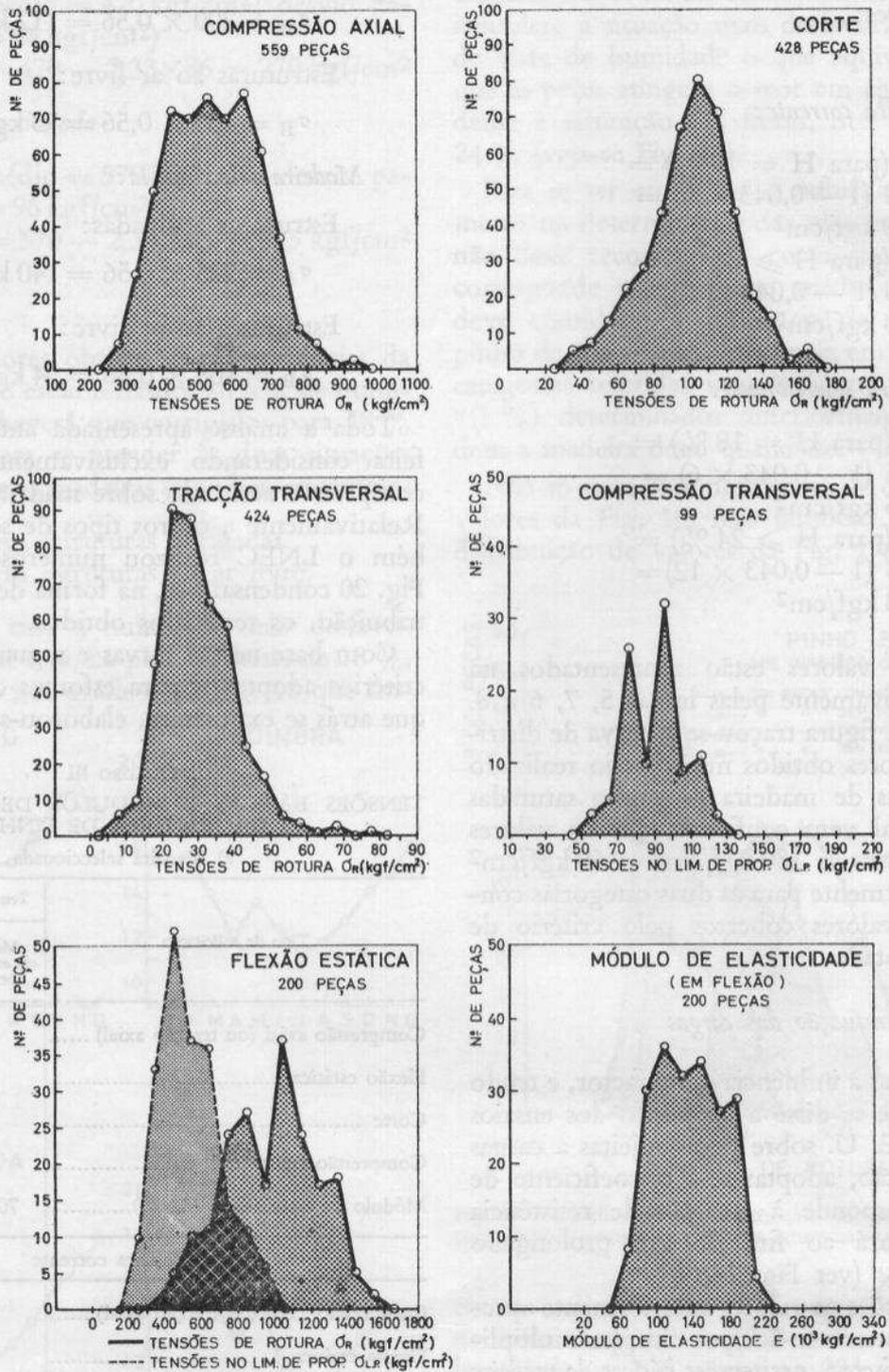


Fig. 20 — Distribuições de resistências da madeira de pinho para os vários tipos de solicitações

em que se apresentam as tensões básicas da madeira de pinho para o conjunto de solicitações que mais interessa considerar no dimensionamento de estruturas.

## II — DETERMINAÇÃO DAS TENSÕES DE SEGURANÇA DA MADEIRA DE PINHO

Para converter as tensões básicas em tensões de segurança torna-se necessário considerar o efeito na resistência da madeira que têm os defeitos que ocorrem mais frequentemente neste material, o que implica por um lado o seu estudo através de ensaios laboratoriais e por outro a limitação do número, dimensões ou extensão com que estas anomalias ocorrem nas peças que se escolhem para estruturas.

No LNEC foram realizados numerosos ensaios, sobre peças de pinho de diferentes qualidades e secções, com o objectivo não só de definir quais os defeitos que maior influência têm no comportamento mecânico da madeira como também de quantificar essa influência. Além dos estudos a que se fez referência quando se procurou determinar a redução de resistência que para uma dada peça de madeira era introduzida pela presença de um nó (ver Fig. 15), foram efectuados outros ensaios incidindo sobre grande número de peças com defeitos (nós, medula, fio torcido, etc.) para determinação do seu efeito, isolado ou conjunto, sobre o comportamento mecânico da madeira de pinho.

A curva da Fig. 21 representa o resultado de um primeiro estudo que mostra claramente que são os grandes nós os mais importantes factores de redução da resistência do material lenhoso, embora o seu efeito não se traduza nunca, mesmo nas hipóteses mais desfavoráveis, numa perda da capacidade resistente superior a 50 % (ver Fig. 15).

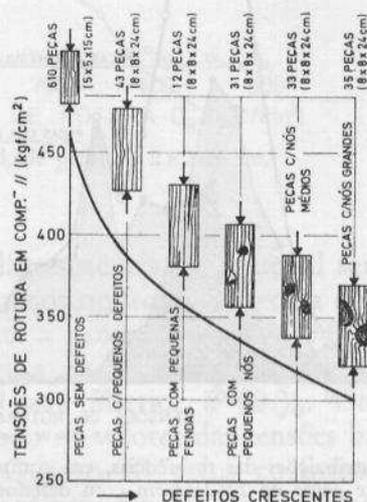


Fig. 21 — Variação de resistência da madeira com os defeitos

Os resultados obtidos noutros estudos, em que se procurou ter uma boa representatividade das diferentes categorias de madeira e dos vários defeitos de ocorrência mais frequente, encontram-se sintetizados no Quadro IV e nas curvas de distribuição apresentadas nas Figs. 22, 23 e 24.

Considerando o número relativamente volumoso de provetes com defeitos que foram ensaiados

QUADRO IV  
INFLUÊNCIA DOS DEFEITOS NA RESISTÊNCIA

Número de peças	Dimensões (cm)	Defeitos	Tensões de rotura (kgf/cm <sup>2</sup> )		Teor de humidade (%)
			Mínima	Máxima	
136	2x2x6	Presença de medula .....	190	390	12
91	2x2x6	Nós .....	172	450	12
200	2x2x6	Distorção do fio .....	250	590	12
212	5x5x15	Nós .....	170	525	15
66	5x5x15	Presença de medula .....	210	520	15
66	5x5x15	Medula+Nós .....	180	490	15
40	5x5x15	Bolsas de resina .....	270	530	15
204	5x5x15	Nós (Madeira de inferior qualidade) .....	150	470	16
153	8x8x24	Nós+Fendas+Etc. ....	210	550	16

1168 Peças.

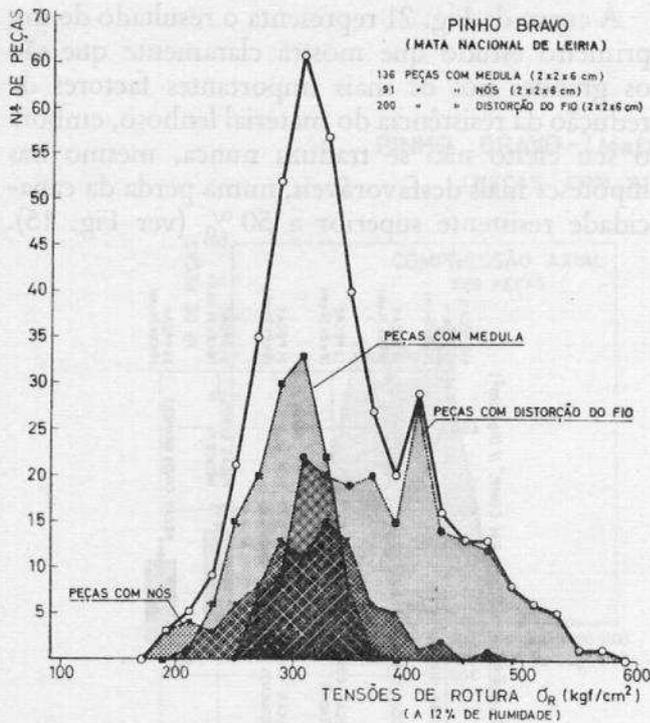


Fig. 22 — Distribuições das resistências, em compressão axial, de peças de 2x2x6 cm com defeitos

dos e sobretudo tendo em atenção a natureza e extensão desses defeitos (nós de grandes dimensões, medula associada com nós numerosos, bolsas de resina e fio diagonal) bem como a qualidade, bastante inferior, da madeira que se escolheu para os ensaios, pode afirmar-se, em face dos resultados obtidos, que as tensões de ruptura mínimas da madeira de pinheiro bravo com defeitos são da ordem de grandeza de 200 kgf/cm<sup>2</sup>, a 12 % de

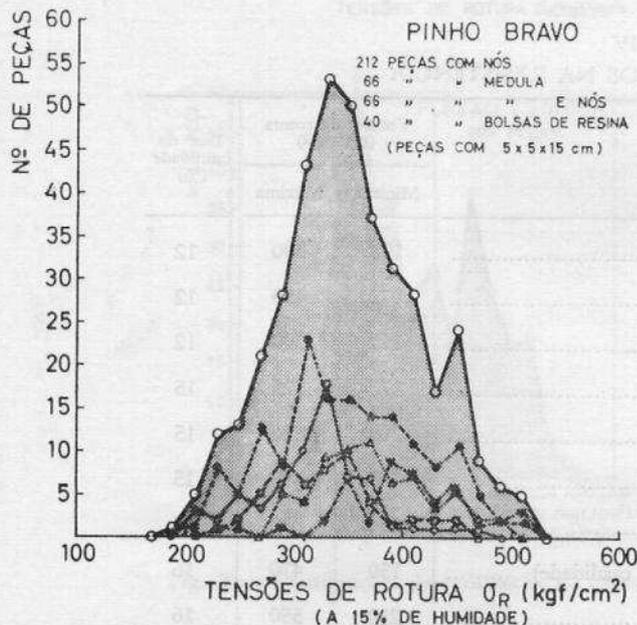


Fig. 23 — Distribuições de resistências, em compressão axial, de peças com nós, com medula, com medula+nós e com bolsas de resina

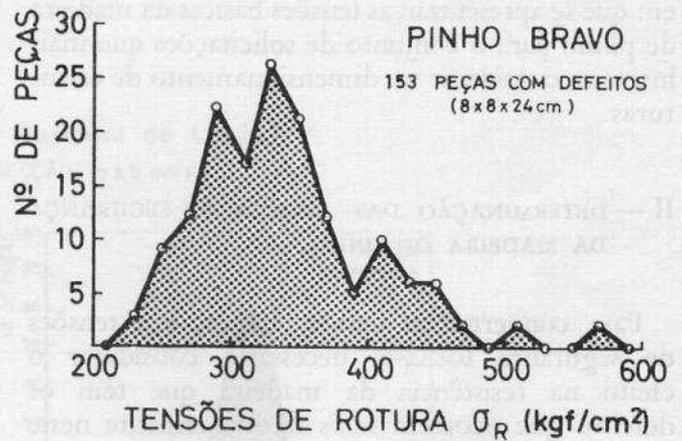


Fig. 24 — Distribuição de resistências, em compressão axial, de peças de 8x8x24 cm com defeitos

humidade. Com base neste valor, e como primeira aproximação, poder-se-iam estabelecer desde já as tensões de segurança do pinho corrente em compressão axial bastando para isso fazer intervir a influência da humidade e do tempo de actuação das cargas. Assim, ter-se-ia, aplicando a expressão já apresentada a propósito da influência da humidade e afectando-a do coeficiente de influência do tempo de actuação das cargas:

$$\sigma_{18} = \sigma_{12} [1 - 0,043 (18 - 12)] \times 0,56 = 83 \text{ kgf/cm}^2$$

e

$$\sigma_{24} = \sigma_{12} [1 - 0,043 (24 - 12)] \times 0,56 = 54 \text{ kgf/cm}^2,$$

correspondendo  $\sigma_{18}$  à tensão de segurança a considerar para estruturas abrigadas e  $\sigma_{24}$  à tensão de segurança a considerar para estruturas ao ar livre.

É interessante notar que os valores mais baixos das tensões de ruptura das peças com defeitos (com medula, nós, fio torcido, etc.) diferem em média de cerca de 80 kgf/cm<sup>2</sup> dos valores mais baixos das peças sem defeitos, como se verifica comparando as curvas de frequência da Fig. 25 traçadas com os resultados de ensaios levados a efeito sobre peças com e sem defeitos extraídas das mesmas árvores e conduzidos precisamente nas mesmas condições, tanto quanto a humidade (12 %) como quanto a dimensões (2x2x6 cm).

Retomando o problema da determinação das tensões de segurança e tendo em consideração as conclusões que foram tiradas do estudo que conduziu ao traçado da curva da Fig. 15, está-se agora em condições de fazer uma selecção da madeira por forma a que, para as duas qualidades de pinho consideradas — *corrente* e *seleccionada* — se definam classes de qualidade caracterizadas por

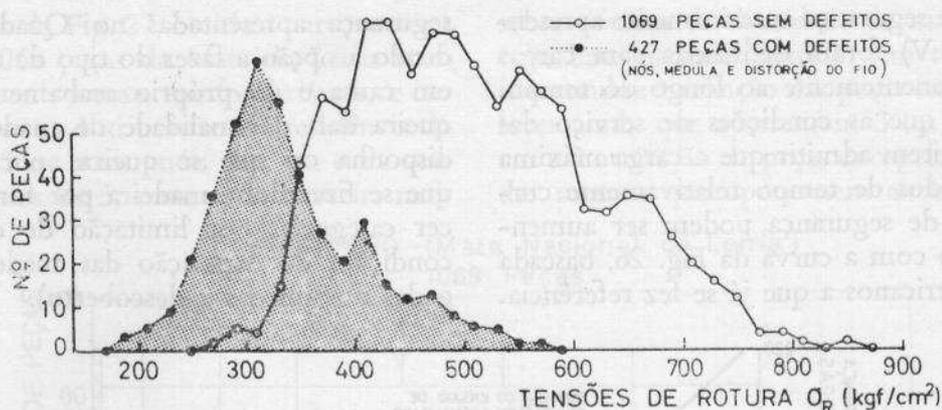


Fig. 25 — Distribuições de resistências, em compressão axial, de peças de 2×2×6 cm, com e sem defeitos

uma certa limitação de defeitos, particularmente os nós, que são entre todos, como o mostram as Figs. 21, 22, 23 e 24, os que maior influência têm no comportamento resistente do material lenhoso.

Se a seleção for feita de modo a não admitir nós nas faces das peças que ocupem mais de 25 % da largura destas, poder-se-á considerar com segurança (ver Fig. 15) que o material assim escolhido terá, na pior hipótese, uma resistência

de 75 % da resistência do material sem defeitos. Se se for menos rigoroso na escolha e se se aceitar como limite a percentagem de 40 % de largura de nó/largura de face, a percentagem de resistência não será inferior a 60 %. Deste modo, multiplicando os valores das tensões básicas indicadas no Quadro III pelos coeficientes 0,75 e 0,60, teremos para tensões de segurança do *pinho selecionado* (com 3 ou mais anéis/cm) e do *pinho corrente*, nas condições de exposição referidas, os valores que se indicam no Quadro V.

QUADRO V

TENSÕES DE SEGURANÇA E MÓDULOS DE ELASTICIDADE DA MADEIRA DE PINHO (*PINUS PINASTER*) (kgf/cm<sup>2</sup>)

a) Madeira selecionada

Tipo de solicitação	1.ª categoria Coef. de resistência: 0,75		2.ª categoria Coef. de resistência: 0,60	
	Estruturas abrigadas	Estruturas ao ar livre	Estruturas abrigadas	Estruturas ao ar livre
Compressão axial (ou tracção) .....	100	65	80	50
Flexão estática .....	130	90	110	70
Corte .....	12	8	10	6
Compressão transversal .....	24	15	24	15
Módulo de elasticidade (flexão) .....	70 000	50 000	70 000	50 000

b) Madeira corrente

Compressão axial (ou tracção) .....	80	50	60	40
Flexão estática .....	110	70	90	60
Corte .....	10	7	8	6
Compressão transversal .....	19	13	19	13
Módulo de elasticidade (flexão) .....	70 000	50 000	70 000	50 000

As tensões de segurança anteriormente apresentadas (Quadro V) foram deduzidas para cargas actuando permanentemente ao longo do tempo. Nos casos em que as condições de serviço das estruturas permitem admitir que a carga máxima actua em períodos de tempo relativamente curtos, as tensões de segurança podem ser aumentadas de acordo com a curva da Fig. 26, baseada nos ensaios americanos a que já se fez referência.

segurança apresentadas no Quadro V, dependendo a opção a fazer do tipo de obra que esteja em causa e do próprio acabamento que se lhe queira dar, da qualidade de madeira de que se disponha ou que se queira aplicar, da escolha que se fizer dessa madeira por forma a estabelecer categorias por limitação de defeitos, e das condições de exposição das madeiras (ou abrigadas ou situadas a descoberto).

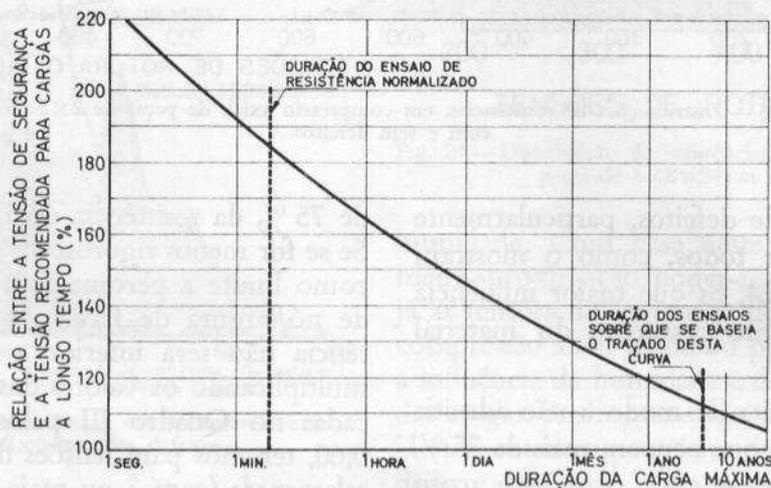


Fig. 26 — Relação entre as tensões de segurança e a duração da carga

O módulo de elasticidade, porém, não pode ser aumentado quando usado para calcular flechas ou deformações.

No caso de cimbres e cofragens para betão armado em que o tempo de actuação das solicitações é bastante pequeno, o aumento que geralmente se considera para as tensões é de 50 %.

No Quadro VI indicam-se os factores de conversão adoptados pelo «British Standard Code of Practice CP 112» para transformar as tensões de segurança, deduzidas por uma via semelhante à que foi seguida neste trabalho, em função do tempo de actuação das cargas.

Nos tipos de estruturas que se consideram neste trabalho (coberturas temporárias, cimbres, andaimes, trabalhos de entivação, etc.) pode haver lugar para a adopção de qualquer das tensões de

Para possibilitar uma utilização racional da madeira de pinho por forma a realizar estruturas económicas, importa fazer algumas considerações que interessam ao seu melhor aproveitamento.

Os ensaios realizados no LNEC sobre grande número de peças extraídas de madeira de várias regiões permitiram, como já se referiu, estabelecer um critério simples e prático de qualificação do pinho baseado na determinação expedita do número de anéis anuais por cm contado na direcção radial. Concluiu-se que quando se escolhe a madeira por forma a que esse número seja igual ou superior a 3, o valor médio de tensão de rotura sobe de cerca de 470 kgf/cm<sup>2</sup> para 570 kgf/cm<sup>2</sup> (ver Fig. 8), o que representa um aumento de mais de 20 % relativamente à madeira não seleccionada de acordo com aquele critério.

QUADRO VI

Duração das cargas	Factores de conversão
Longa duração (peso próprio + cargas permanentes).....	1,00
Média duração (peso próprio + neve; peso próprio + cargas temporárias).....	1,25
Curta duração (peso próprio + sobrecarga + vento; peso próprio + sobrecarga + neve + vento) .....	1,50

Aliás a curva da Fig. 27, obtida a partir de um ensaio sobre 1069 peças da Mata de Leiria com espessuras de anéis anuais muito variáveis, e em que se separaram as distribuições de resistência da madeira com 3 ou mais anéis por cm e da madeira com menos de 3, mostra da maneira mais

sobre o valor da densidade da madeira apreciada com base naquele critério. Em termos práticos, isto conduz à rejeição das peças excepcionalmente leves ainda que apresentem 3 ou mais anéis por cm e à aceitação de peças excepcionalmente pesadas mesmo que apresentem anéis muito largos.

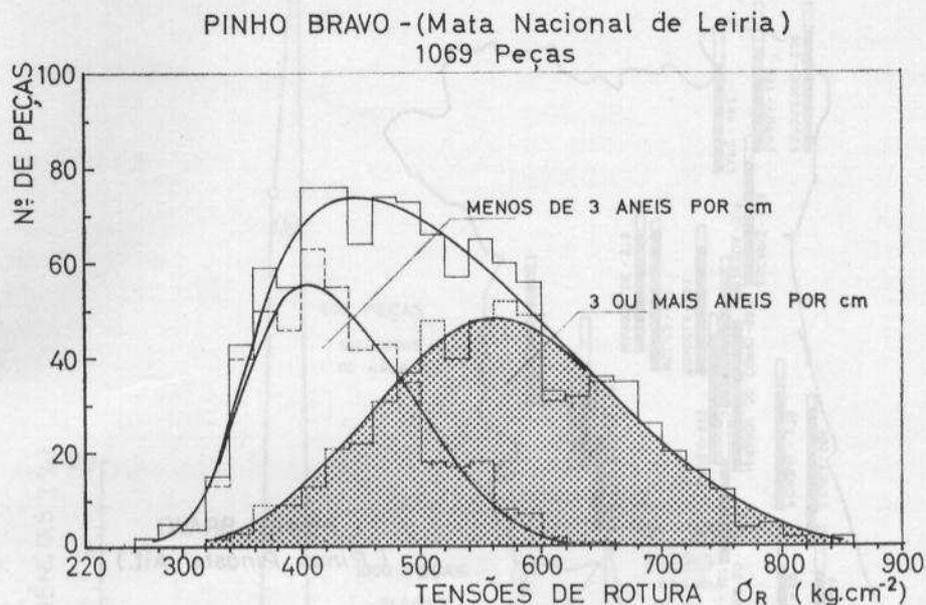


Fig. 27—Distribuição das resistências, em compressão axial, de peças com 3 ou mais anéis por cm, dentro de um conjunto de provetes com espessuras muito variáveis das camadas anuais

impressiva a validade de tal critério. Trata-se, na verdade, de uma base de classificação que, como se disse, conduz a um índice que é, numa certa medida, proporcional à percentagem de lenho de Outono e portanto à densidade e resistência mecânica do material lenhoso, uma vez que a espessura do anel de Outono tende a apresentar-se constante ao longo de uma dada secção ou, por outras palavras, que a variação de espessura do anel anual se faz sobretudo à custa da variação de espessura do anel de Primavera (ver Fig. 3), de que resulta ser em geral maior a percentagem de lenho de Outono nos anéis anuais mais estreitos. Não é, porém, 100 % válida esta regra dado que se verifica haver madeira de anel apertado menos resistente que certa madeira de anel largo. A explicação deste facto está em que a espessura do anel de Outono não é, na verdade, constante como se admitiu, podendo resultar desta circunstância que uma peça de anel estreito possa apresentar fraca percentagem de lenho de Outono e que uma peça de anel largo possa, inversamente, exibir elevada percentagem deste tipo de lenho. Haverá pois que corrigir o critério do número de anéis por cm fazendo intervir a consideração da espessura relativa dos dois anéis formados ao longo do ano, sempre que se suscitem dúvidas

Deverá notar-se que quando se escolhe madeira de pinho com 3 ou mais anéis por cm, apenas se rejeita cerca de 44 % das peças, como se pode verificar na curva de frequências da Fig. 28 traçada com base em numerosos ensaios realizados no LNEC.

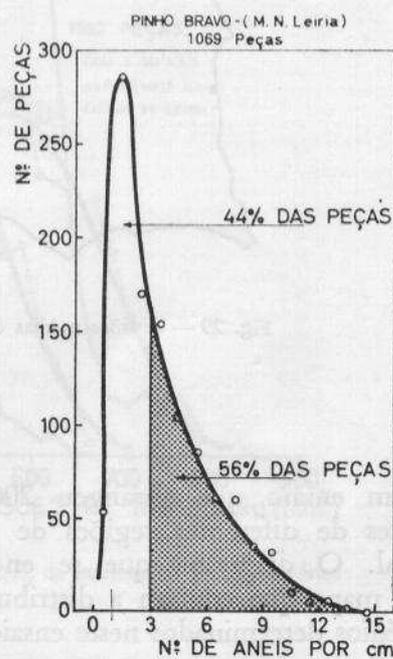


Fig. 28—Distribuição do número de anéis por cm na madeira de pinho

Ainda como informação que se considera de grande interesse para a qualificação da madeira de pinho produzida no nosso país, apresentam-se na Fig. 29 os resultados obtidos para tensões de

qualidade para estruturas. Essa região, como aliás já se referiu no início deste trabalho, corresponde, sensivelmente, à zona que compreende a Beira Alta e a Beira Litoral.

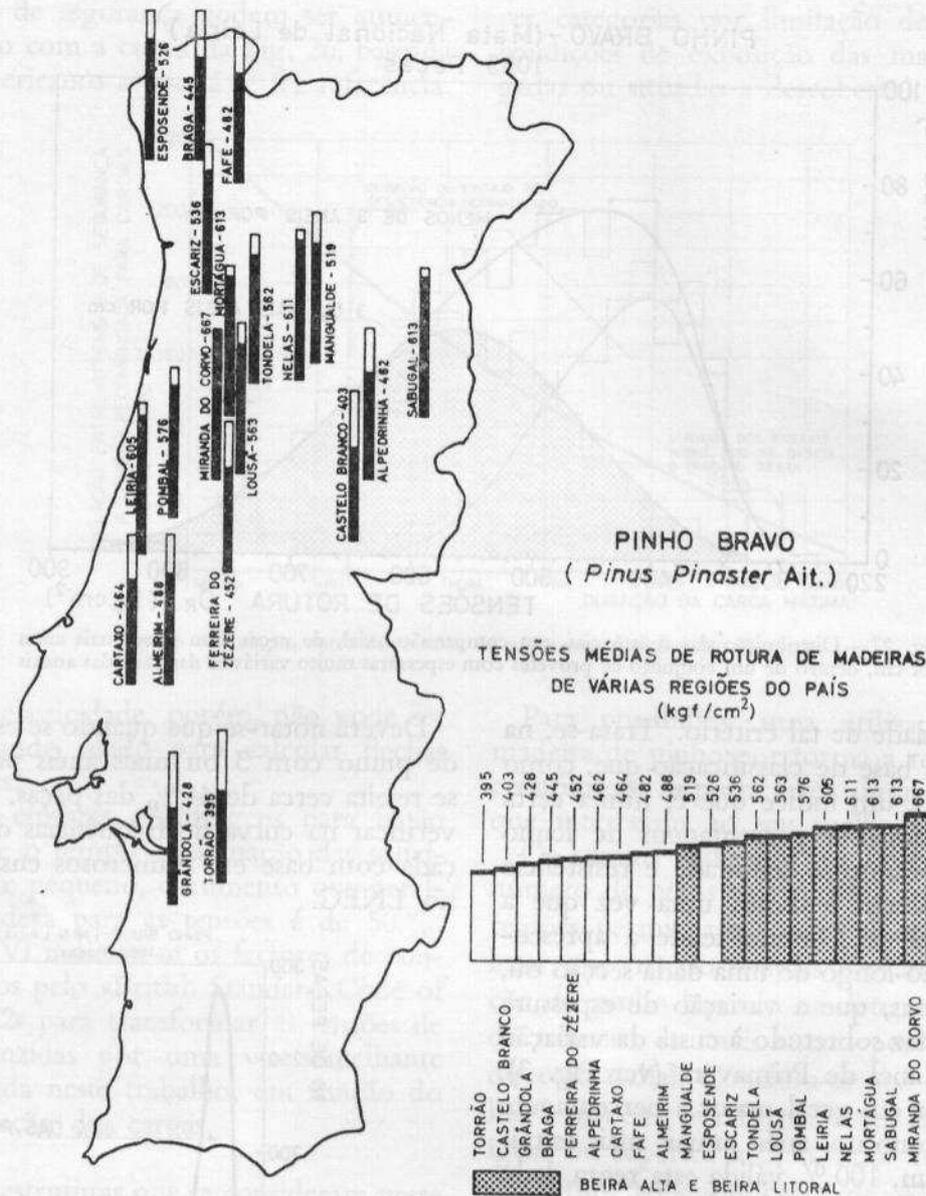


Fig. 29 — Tensões médias de rotura, em compressão axial, de madeiras de pinho de várias regiões do País

rotura num ensaio que abrangeu 2000 peças provenientes de diferentes regiões de Portugal Continental. O diagrama que se encontra à direita do mapa que contém a distribuição dos valores médios determinados neste ensaio mostra claramente que existe uma zona privilegiada para a produção de madeira de pinho de alta

Na Fig. 30 reproduzem-se as duas curvas de distribuição de valores obtidos para aquela região e para as restantes regiões do País que produzem madeira de pinho, verificando-se que a primeira se sobrepõe aproximadamente à curva de frequências traçada com os resultados obtidos sobre material proveniente da Mata Nacional de Leiria

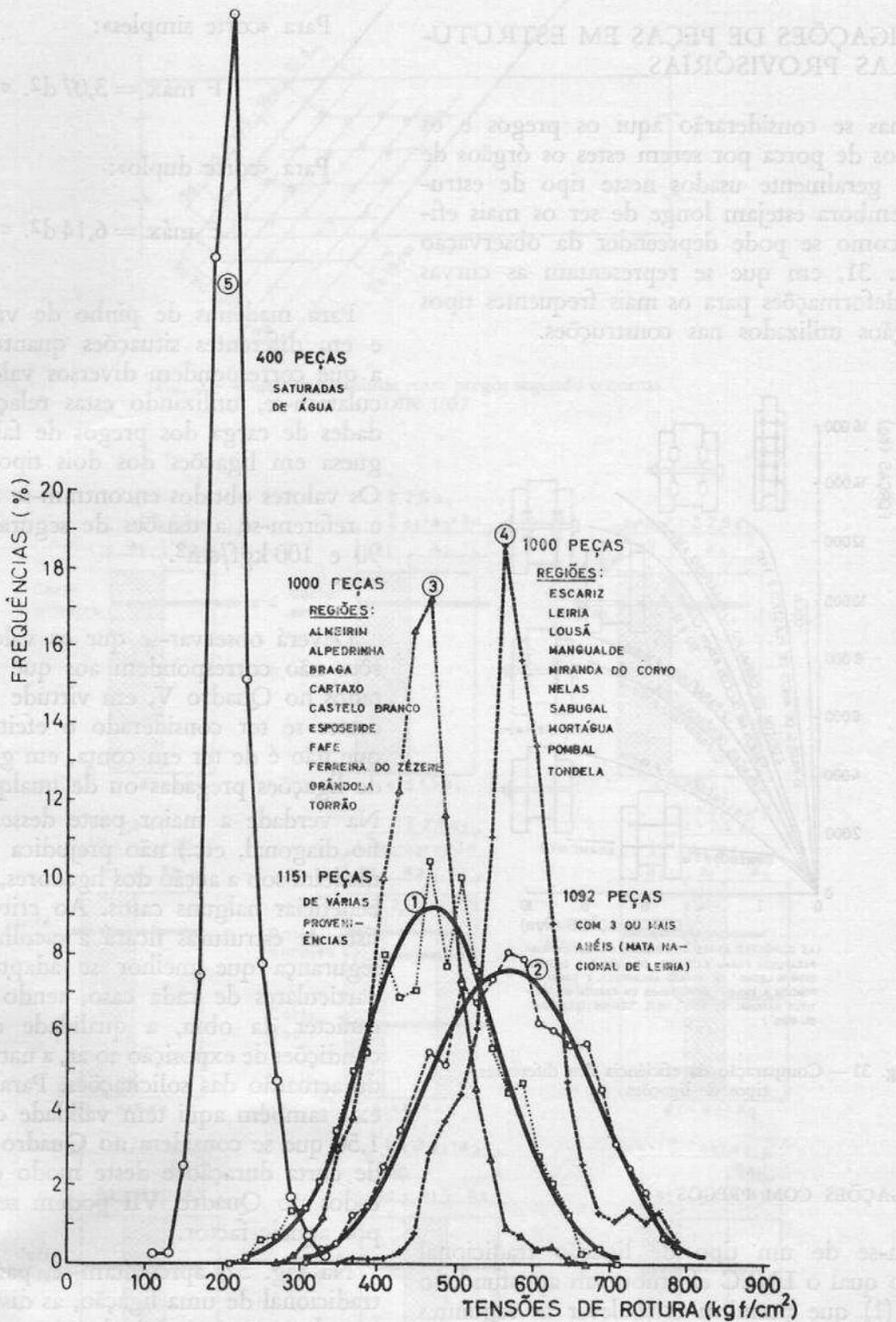


Fig. 30 — Distribuições de resistências, em compressão axial, da madeira de pinho de várias regiões do País

e a segunda à curva correspondente ao material de outras proveniências.

## D — LIGAÇÕES DE PEÇAS EM ESTRUTURAS PROVISÓRIAS

Apenas se considerarão aqui os pregos e os parafusos de porca por serem estes os órgãos de ligação geralmente usados neste tipo de estruturas, embora estejam longe de ser os mais eficazes, como se pode depreender da observação da Fig. 31, em que se representam as curvas forças-deformações para os mais frequentes tipos de órgãos utilizados nas construções.

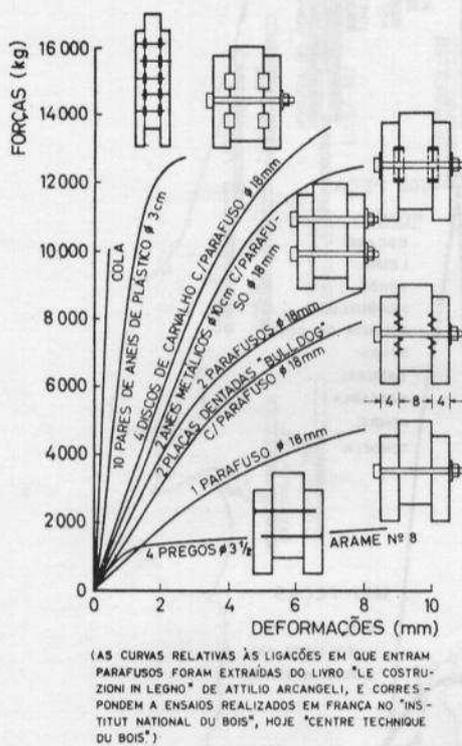


Fig. 31 — Comparação da eficiência dos diferentes tipos de ligações

## I — LIGAÇÕES COM PREGOS

Trata-se de um tipo de ligação tradicional sobre o qual o LNEC efectuou um aprofundado estudo (1) que permitiu estabelecer as seguintes relações simples entre a força máxima ( $F_{máx.}$ ) que estes ligadores podem suportar, o diâmetro  $d$

(1) Consulte-se TOMÁS MATEUS — «Bases para o Dimensionamento de Estruturas da Madeira» — Mem. 179 — LNEC — Lisboa, 1961.

dos pregos e a tensão de segurança  $\sigma_s$  da madeira em compressão axial:

Para «corte simples»:

$$F_{máx} = 3,07 d^2 \cdot \sigma_s$$

Para «corte duplo»:

$$F_{máx} = 6,14 d^2 \cdot \sigma_s$$

Para madeiras de pinho de várias qualidades e em diferentes situações quanto a humidade, a que correspondem diversos valores de  $\sigma_s$ , calcularam-se, utilizando estas relações, as capacidades de carga dos pregos de fabricação portuguesa em ligações dos dois tipos considerados. Os valores obtidos encontram-se no Quadro VII e referem-se a tensões de segurança de 70, 80, 90 e 100 kgf/cm<sup>2</sup>.

Deverá observar-se que os valores destas tensões não correspondem aos que foram apresentados no Quadro V, em virtude de na definição destes se ter considerado o efeito dos defeitos, que não é de ter em conta, em geral, no cálculo de ligações pregadas ou de qualquer outro tipo. Na verdade a maior parte desses defeitos (nós, fio diagonal, etc.) não prejudica a resistência da madeira sob a acção dos ligadores, mas até a pode beneficiar nalguns casos. Ao critério do projectista de estruturas ficará a escolha da tensão de segurança que melhor se adapte às condições particulares de cada caso, tendo em atenção o carácter da obra, a qualidade da madeira, as condições de exposição ao ar, a natureza e o tempo de actuação das solicitações. Para cofragens, por ex., também aqui tem validade o coeficiente de 1,50 que se considera no Quadro VI para cargas de curta duração e deste modo os valores indicados no Quadro VII podem ser multiplicados por aquele factor.

Na Fig. 32, apresentam-se, para um exemplo tradicional de uma ligação, as distâncias mínimas que devem ser respeitadas entre pregos em função do diâmetro destes, e na Fig. 33 os comprimentos mínimos dos pregos em ligações de corte simples e de corte duplo, segundo W. STOY e FONROBERT, («Le Clou dans la Construction» — Paris, 1951).

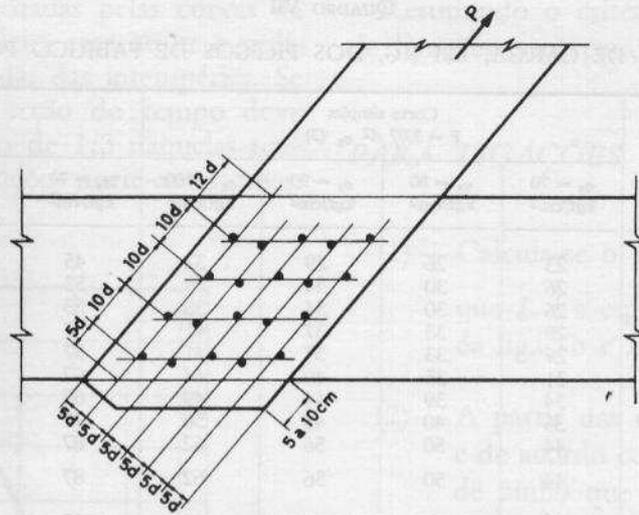


Fig. 32— Distâncias mínimas entre pregos segundo o norma DIN 1052

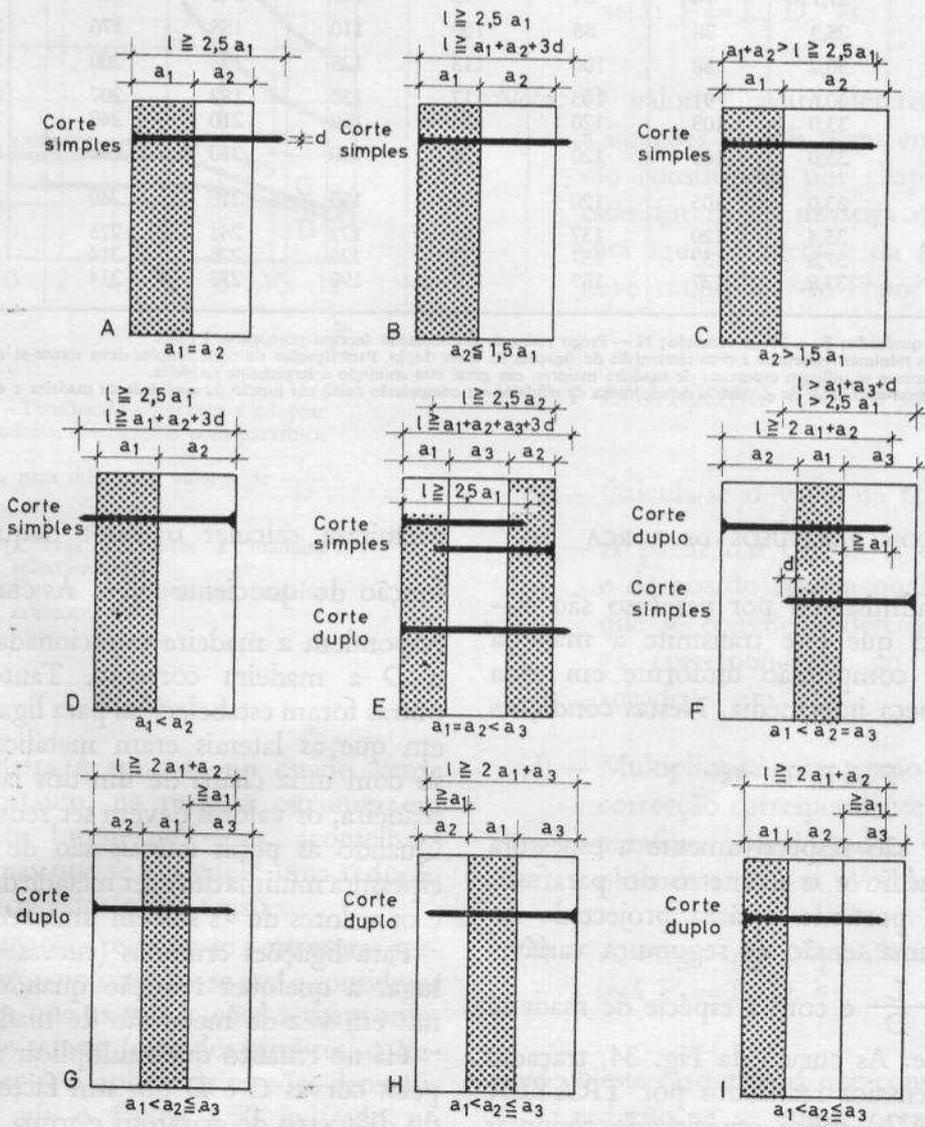


Fig. 33— Comprimentos mínimos dos pregos em ligações de corte simples e de corte duplo

QUADRO VII

CAPACIDADE DE CARGA, EM KG, DOS PREGOS DE FABRICO PORTUGUÊS

Dimensões dos pregos dmm/mm	Tipo de prego (1)	Espessura mínima das peças (mm) (2)	Corte simples F = 3,07 d <sup>2</sup> σ <sub>s</sub> (3)				Corte duplo F = 6,14 d <sup>2</sup> σ <sub>s</sub> (3)			
			σ <sub>s</sub> = 70 kgf/cm <sup>2</sup>	σ <sub>s</sub> = 80 kgf/cm <sup>2</sup>	σ <sub>s</sub> = 90 kgf/cm <sup>2</sup>	σ <sub>s</sub> = 100 kgf/cm <sup>2</sup>	σ <sub>s</sub> = 70 kgf/cm <sup>2</sup>	σ <sub>s</sub> = 80 kgf/cm <sup>2</sup>	σ <sub>s</sub> = 90 kgf/cm <sup>2</sup>	σ <sub>s</sub> = 100 kgf/cm <sup>2</sup>
32,5/63	Q	15,4	23	26	29	32	45	52	58	65
35/65	N	16,5	26	30	34	38	53	60	68	75
35/76	Q	16,5	26	30	34	38	53	60	68	75
36,6/63	R	17,3	29	33	37	41	57	66	74	82
36,6/82	R	17,3	29	33	37	41	57	66	74	82
38/89	Q	17,9	31	35	40	44	62	71	80	89
40/75	N	18,8	34	39	44	49	69	78	88	98
40,6/89	R	19,2	35	40	45	50	71	80	90	100
45/90	N	21,2	44	50	56	62	87	99	112	124
45/102	Q	21,2	44	50	56	62	87	99	112	124
48,8/127	R	23,0	51	58	65	73	102	116	132	146
50/100	N	23,6	54	61	69	77	108	122	138	154
53,8/152	Q	25,4	62	71	80	89	124	142	160	178
55/110	N	26,0	65	74	84	93	130	148	168	186
58,9/178	R	27,7	74	84	95	105	148	168	190	210
60/125	N	28,3	78	88	100	110	155	176	200	220
64/203	Q	30,2	88	100	113	125	176	200	226	250
65/150	N	30,6	91	103	117	130	182	207	234	260
70/175	N	33,0	105	120	136	150	210	240	272	300
70,1/228	Q	33,0	105	120	136	150	210	240	272	300
70,1/254	R	33,0	105	120	136	150	210	240	272	300
75/200	N	35,4	120	137	155	172	241	275	310	344
80/225	N	37,8	137	157	177	196	275	314	354	392
80/250	N	37,8	137	157	177	196	275	314	354	392

(1) Q — Pregos quadrado; R — Pregos redondo; N — Pregos redondo normalizado (norma portuguesa I 329).

(2) As espessuras mínimas referem-se à peça intermédia de ligações de corte duplo. Para ligações de corte simples deve tomar-se metade dos valores considerados. Porque normalmente se utilizam espessuras de madeira maiores, em geral esta condição é largamente satisfeita.

(3) Deve considerar-se o valor de σ<sub>s</sub> (tensão de segurança da madeira em compressão axial) em função da qualidade da madeira e das condições de serviço da estrutura.

II — LIGAÇÕES COM PARAFUSOS DE PORCA

As cargas F admissíveis por parafuso são calculadas supondo que este transmite à madeira uma tensão de compressão uniforme em toda a espessura da peça intermédia. Nestas condições ter-se-á:

$$F = L \cdot D \cdot \sigma_s$$

em que L e D são respectivamente a espessura do elemento médio e o diâmetro do parafuso; L.D representa portanto a área projectada do parafuso e σ<sub>s</sub> uma tensão de segurança variável com a relação  $\frac{L}{D}$  e com a espécie de madeira que se considere. As curvas da Fig. 34, traçadas com base nos ensaios realizados por TRAYER (U. S. DEP. AG.) sobre espécies de resinosas que se aproximam do pinho bravo português

permitem calcular o valor daquela tensão em função do quociente  $\frac{L}{D}$ . As curvas A e C correspondem a madeira seleccionada e as curvas B e D a madeira corrente. Tanto umas como outras foram estabelecidas para ligações de 3 peças, em que as laterais eram metálicas. Para uniões só com uma chapa de um dos lados da peça de madeira, os valores devem ser reduzidos de 50%. Quando as peças laterais são de madeira a sua espessura mínima deve ser metade da da peça central e os valores de σ<sub>s</sub> sofrem uma redução de 20%.

Para ligações cruzadas (curvas C e D) não há lugar a qualquer redução quando as peças laterais em vez de metal são de madeira.

Há no entanto que multiplicar as tensões dadas pelas curvas C e D por um factor que é função do diâmetro do parafuso e toma os valores indicados no Quadro VIII.

Os valores das tensões dadas pelas curvas da Fig. 34, referem-se a madeira seca ao ar e utilizada em estruturas abrigadas das intempéries. Se estas ficarem expostas à acção do tempo deve considerar-se uma redução de 1/3 naquelas tensões, segundo as especificações norte-americanas.

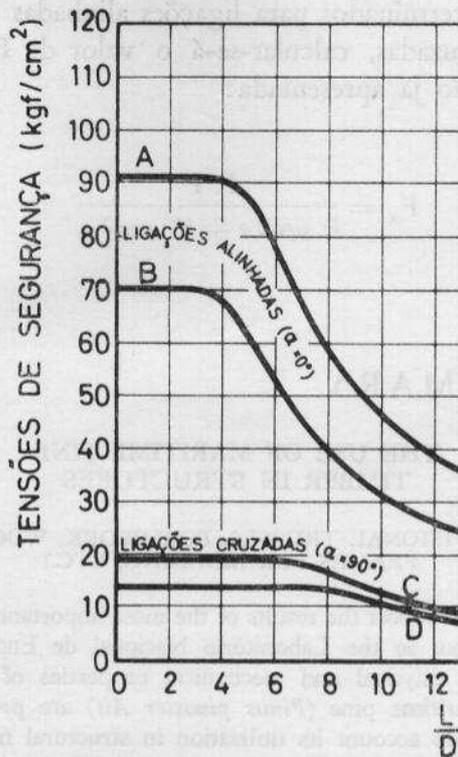


Fig. 34— Tensões de segurança a adoptar para a madeira, em ligações com parafusos de porca, para diferentes valores de  $\frac{L}{D}$

A e C— Curvas referentes a madeira seleccionada.  
B e D— Curvas referentes a madeira corrente.

Quando a madeira é aplicada no estado verde e vai secar, portanto, na própria estrutura em que os parafusos forem utilizados, aconselham as mesmas normas que se considere uma redução de 40 % sobre os valores das tensões.

Estas recomendações referem-se a estruturas permanentes e por isso, no caso que se está a considerar de estruturas em que as solicitações actuam num curto período de tempo (caso dos cimbres, cofragens, etc.), poder-se-á aplicar às tensões determinadas por esta via o factor 1,50 indicado no Quadro VI.

Resumindo o critério exposto para o cálculo de ligações com parafusos de porca, ter-se-á:

#### PARA LIGAÇÕES ALINHADAS ( $\alpha=0^\circ$ )

- (1) — Calcula-se o valor da relação  $\frac{L}{D}$ , em que  $L$  é a espessura do elemento central da ligação e  $D$  o diâmetro do parafuso;
- (2) — A partir das curvas A e B da Fig. 34, e de acordo com a qualidade da madeira de pinho que se considera, determina-se a tensão  $\sigma_s$  correspondente ao valor de  $L/D$  achado;
- (3) — A carga que o parafuso pode suportar será:  $F = L \cdot D \cdot \sigma_s$ .

Nota: O valor  $F$  assim determinado refere-se a ligações de três peças em que as laterais são constituídas por chapas metálicas. Se estas forem de madeira com uma espessura igual a metade da da peça central, deve multiplicar-se  $F$  por 0,8.

#### PARA LIGAÇÕES CRUZADAS ( $\alpha = 90^\circ$ )

- (1) — Calcula-se o valor da relação  $\frac{L}{D}$ ;
- (2) — A partir das curvas C e D da Fig. 34 e de acordo com a qualidade do pinho que se considera, determina-se a tensão  $\sigma_s$  correspondente ao valor de  $L/D$  achado;
- (3) — Multiplica-se esta tensão pelo factor de correcção correspondente ao diâmetro do parafuso considerado (Quadro VIII) obtendo-se assim o valor  $\sigma_s$ ;
- (4) — A carga que o parafuso pode suportar será  $F' = L \cdot D \cdot \sigma_s$ .

Nota: Neste caso não há que considerar qualquer redução se se empregarem peças laterais de madeira em vez de metal.

QUADRO VIII  
FACTORES DE CORRECÇÃO PARA AS LIGAÇÕES  
CRUZADAS

Diámetro do parafuso (em pol)	Factor de correcção	Diámetro do parafuso (em pol)	Factor de correcção
1/4	2,50	1 1/4	1,19
3/8	1,95	1 1/2	1,14
1/2	1,68	1 3/4	1,10
5/8	1,52	2	1,07
3/4	1,41	2 1/2	1,03
7/8	1,33	3 ou mais	1,00
1	1,27		

## SOMMAIRE

### L'EMPLOI DU BOIS DE PIN MARITIME EN CHARPENTES

(FERMES PROVISOIRES, COFFRAGES, CINTRES, ETC.)

Dans ce rapport on présente les résultats des études les plus importantes effectuées au Laboratório Nacional de Engenharia Civil sur les caractéristiques physiques et mécaniques du bois de pin maritime (*Pinus pinaster Ait*), tenant compte de son utilisation dans les éléments résistants de la construction. On discute les principaux facteurs qui influencent ces propriétés et, ayant pour base des principes qui permettent de les considérer dans la sélection de différentes catégories de bois, on établit les contraintes de travail admissibles pour les structures dans diverses conditions d'exposition à l'humidité. Bien que ces contraintes s'appliquent aussi à des solutions définitives, on envisage seulement, dans ce travail, des ouvrages de caractère provisoire tels que les coffrages, les cintres pour mouler des voutes ou des aros, etc, dans les quelles on emploie des organes métalliques de liaison comme les clous et les boulons.

Tanto para as ligações alinhadas como para as ligações cruzadas, quando se trate de estruturas provisórias como é o caso que se está a considerar, deve atender-se às correcções referidas anteriormente em relação ao estado de humidade da madeira e ao tempo de actuação das solicitações.

Se as ligações forem oblíquas, a partir de  $F$  e  $F'$  determinados para ligações alinhadas e ligações cruzadas, calcular-se-á o valor de  $F_\alpha$  pela expressão já apresentada:

$$F_\alpha = \frac{F \cdot F'}{F \sin^2 \alpha + F' \cos^2 \alpha}$$

## SUMMARY

### THE USE OF MARITIME PINE TIMBER IN STRUCTURES

(PROVISIONAL TRUSSES, FORMWORK, WOODEN  
FRAMES FOR MOLDING, ETC.)

In this report the results of the most important studies carried out in the Laboratório Nacional de Engenharia Civil on physical and mechanical properties of timber from maritime pine (*Pinus pinaster Ait*) are presented, taking into account its utilization in structural members used in building construction. The chief factors influencing those characteristics are discussed and, based on criteria which allow their consideration in the selection of distinct grades of timber, the working stresses are established for different situations of weather exposure of the structures. Although these stresses can be used in the design of definitive resistant elements, this report only concerns the provisional work in the buildings, like formwork, scaffolding, wooden frames to mold arches, etc, in which metallic connectors like nails and bolts are used.

## MEMÓRIAS DO L. N. E. C.

## ÚLTIMOS NÚMEROS PUBLICADOS

- 469 — LEMOS F. OLIVEIRA — *Directivas para a colocação das comportas nos descarregadores das barragens*. Lisboa, 1975. 18 p. 210 × 297.
- 470 — NEVES, E. Maranhã das — *Determinação «in situ» da deformabilidade de aluviões no local da barragem de Crestuma*. Lisboa, 1975. 8 p. 210 × 250.
- 471 — ROCHA, Manuel; SILVEIRA, A. Ferreira da; AZEVEDO, M. Cruz — *Barragens de abóbadas múltiplas*. Lisboa, 1975. 38 p. 175 × 250.
- 472 — SILVA, P. Martins da — *Pavimentos flutuantes. Ensaio em modelo para qualificação de isolamento à transmissão de ruídos de percussão*. Lisboa, 1975, 8 p. 210 × 297.
- 473 — HEITOR, A. Teixeira; PEDRO, J. Oliveira — *Aplicações do método dos elementos finitos do estudo das espirais em betão da central de Fratel*. Lisboa, 1975, 12 p. 175 × 250.
- 474 — CUNHA, L. Veiga da; MEGRE, F. Lacerda e — *Utilização de modelos aerodinâmicos no estudo de problemas fluviais*. Lisboa, 1976, 32 p. 175 × 250.
- 475 — CASTILHO, A. J. de — *Study on the influence of the road on accidents*. Lisboa, 1976. 42 p. 175 × 250.
- 476 — BORGES, J. Ferry — *Les actions aléatoires*. Lisboa, 1976. 36 p. 175 × 250.
- 477 — CUNHA, L. Veiga da — *Time evolution of the local scour*. Lisboa, 1976. 20 p. 175 × 250.
- 478 — RODRIGUES, J. Delgado — *Estimation of the content of clay minerals and its significance in stone decay*. Lisboa, 1976. 14 p. 175 × 250.
- 479 — PEDRO, J. O. — *Dimensionamento das barragens-abóbada pelo método dos elementos finitos*. Lisboa, 1977, 304 p. 175 × 250.
- 480 — SANTOS, S. Pompeu dos — *Matriz dos coeficientes técnicos da indústria da construção*. Lisboa, 1977. 15 p. 175 × 200.
- 481 — SANTOS, Lusitano dos — *Barragens de enrocamento galgáveis*. Lisboa, 1977. 65 p. 175 × 250.
- 482 — BORGES, A. R. Janeiro — *Aerodinâmica das estruturas verticais esbeltas. Aspectos da constituição da camada limite atmosférica e do comportamento dinâmico das estruturas*. Lisboa, 1977. 242 p. 175 × 250.
- 483 — RODRIGUES, F. Peres — *Anisotropia das rochas e dos maciços rochosos. Aplicação de quárticas fechadas ao estudo da deformabilidade e da rotura*. Lisboa, 1977. Volume I 258 p., Volume II 246 p. 175 × 250.
- 484 — HEITOR, A. Mexia; PEDRO, J. O. — *Estudo de uma barragem de abóbadas múltiplas pelo método dos elementos finitos*. Lisboa, 1977. 20 p. 175 × 250.
- 485 — RODRIGUES, F. Peres — *Cónicas. Estado das principais características a partir da sua equação focal*. Lisboa, 1977. 18 p. 210 × 297.
- 486 — MARTINS, Rui — *Cinemática do jacto livre no âmbito das estruturas hidráulicas*. Lisboa, 1977. 24 p. 175 × 250.
- 487 — REIS, Maria Olinda Braga — *Análise por difracção de raios X. Utilização da câmara plana*. Lisboa, 1977. 46 p. 175 × 250.
- 488 — CASTRO, Guy de — *Acerca do projecto de fundações em estacas de betão armado*. Lisboa, 1977. 56 p. 175 × 250.
- 489 — OLIVEIRA, Ricardo — *Cartografia geológica de túneis*. Lisboa, 1977. 12 p. 175 × 250.
- 490 — CASTRO, Elda de — *Determination de la porométrie et de la surface spécifique des pierres par des essais de succion*. Lisboa, 1977. 20 p. 175 × 250.
- 491 — ROCHA, Manuel — *Alguns problemas relativos à mecânica das rochas dos materiais de baixa resistência*. Lisboa, 1977. 28 p. 175 × 250.
- 492 — CASTRO, Maria Fernanda de — *Durabilidade de tintas para protecção de construções metálicas*. Lisboa, 1977. 36 p. 175 × 250.
- 493 — NASCIMENTO, Úlpio do — *Goniometer for determining the friction angle between particles of granular materials*. Lisboa, 1977. 16 p. 175 × 250.
- 494 — RODRIGUES, Luís Fialho — *Techniques for «in situ» measurement of shear wave velocity*. Lisboa, 1978. 18 p. 175 × 250.
- 495 — ROCHA, Manuel; FRANCIS, Fernando — *Determination of permeability in anisotropic rock-masses from integral samples*. Lisboa, 1978.
- 496 — MATEUS, Tomás J. E. — *Condições de aplicação de madeiras em edificios tendo em vistas minimizar os riscos de ataque por agentes biológicos*. Lisboa, 1978. 20 p. 210 × 297.
- 497 — BAU, João; CUNHA, L. Veiga da; ROCHA, João S. — *Fundamentals of aerodynamic models for the study of river problems*. Lisboa, 1978. 16 p. 175 × 250.
- 498 — ESTEVES, J. Moura — *Control of vibrations caused by blasting*. Lisboa, 1978. 12 p. 175 × 250.
- 499 — RODRIGUES, J. Delgado — *About the quantitative determination of rock weatherability. A case history*. Lisboa, 1978. 18 p. 175 × 250.