

# A RIQUEZA DAS MADEIRAS PORTUGUESAS.

PROPRIEDADES E FICHAS TÉCNICAS



**aimmp**

Associação das Indústrias de Madeira  
e Mobiliário de Portugal







---

# CONTEÚDO

1. INTRODUÇÃO	9
2. PROPRIEDADES FÍSICAS DA MADEIRA	19
2.1 Teor de água	21
2.2 Massa volúmica	23
2.3 Retração / inchamento	24
2.4 Defeitos e singularidades da madeira	25
2.4.1 Fio da madeira	25
2.4.2 Nós	26
2.4.3 Lenho juvenil	28
2.4.4 Cerne e borne	30
3. PROPRIEDADES MECÂNICAS DA MADEIRA	33
3.1 Introdução	35
3.2 Tração paralela às fibras	38
3.3 Tração transversal	41
3.4 Compressão paralela	44
3.5 Compressão transversal	48
3.6 Dureza	51
3.7 Fendimento	52
3.8 Corte paralelo	53
3.9 Corte transversal	59
3.10 Flexão	60
3.11 Módulo de elasticidade à flexão	63
3.11.1 Teoria geral para o cálculo do módulo de elasticidade em flexão	66
3.10.2 Discussão sobre a aplicação de uma ou duas cargas de flexão	68
3.11.3 Normas mais usuais para determinação experimental do módulo de elasticidade à flexão	69

3.12	Coeficiente de Poisson	79
3.13	Módulo de corte	84
3.13.1	Análise no plano	84
3.13.2	Significado físico do módulo de corte para a madeira	87
3.13.3	Avaliação do módulo de corte segundo a EN 408:2010	89
3.14	Módulo de elasticidade volumétrico	91
3.15	Comportamento viscoso da madeira sob tensão	92
3.16	Fluência e relaxação de tensões	93
3.16.1	Comportamento visco-plástico	96
3.16.2	Comportamento mecânico-sortivo	97
3.16.3	Interpretação do fenómeno da fluência	99
3.16.4	Relaxação de tensões	101
3.17	Concentração de tensões	103
3.18	Tratamento estatístico dos resultados dos ensaios	105
4.	PROPRIEDADES QUÍMICAS DA MADEIRA	110
4.1	Resistência ao fogo	114
4.2	Reação ao fogo	114
5.	PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS	119
6.	CLASSIFICAÇÃO E PROPRIEDADES DE MADEIRAS PARA FINS ESTRUTURAIS	125
6.1	Pinho-bravo para estruturas	129
6.2	Eucalipto para estruturas	132
7.	FICHAS DE CARACTERÍSTICAS DE MADEIRAS PORTUGUESAS	135
8.	BIBLIOGRAFIA	139
9.	ÍNDICE REMISSIVO	147

10. ANEXO I - FICHAS TECNOLÓGICAS RESUMIDAS	151
Acácia austrália	154
Carvalho-alvarinho	155
Carvalho-negral	156
Casquinha	157
Castanho	158
Cedro do Buçaco	159
Cerejeira	160
Choupo	161
Criptoméria	162
Eucalipto	163
Eucalipto botrióide	164
Freixo	165
Incenso	166
Nogueira	167
Pinho-bravo	168
Plátano	169
Vidoeiro	170

1





# INTRODUÇÃO



---

## A MADEIRA COMO MATERIAL DE ENGENHARIA

A madeira e alguns dos produtos derivados da madeira viram reforçado o interesse pela sua utilização a partir dos finais do século XX e são um material muito prometededor para o século XXI por razões de se tratar de um material renovável e por contribuir positivamente para a conservação ambiental e estabilidade do clima, pelo facto de ser um captador e reservatório natural do principal gás com efeito de estufa que é o dióxido de carbono. Adicionalmente a madeira requer muito pouca energia para a sua transformação em produtos finais e ainda tem um bom desempenho térmico e estrutural de baixa densidade, e finalmente, a facilidade de reutilização e reciclabilidade. A utilização em larga escala da madeira em objetos de longo período de vida útil, como é exemplo a construção, e na condição de proveniência garantida de florestas certificadas e sustentadas, contribui para o sequestro do carbono ao mesmo tempo que evita a utilização de outros materiais altamente consumidores de energia na sua fabricação e, por este motivo, prováveis emissores brutos de carbono para a atmosfera (se a sua produção e transporte dependerem da queima de combustíveis fósseis). Por cada m<sup>3</sup> da madeira aplicada estima-se uma fixação de 250 kg de carbono, o que equivale mais ou menos a 1 tonelada de dióxido de carbono retido.

A madeira sendo usada desde a antiguidade, teve no século passado uma perda na sua utilização estrutural por motivo de outros materiais alternativos que eram de preço competitivo se não se tivesse em conta o seu impacte ambiental negativo, mas

também, sendo materiais industriais, tinham propriedades mais homogêneas e portanto mais fáceis de dimensionar em projeto. Esta situação alterou-se com a criação de novos e rigorosos regulamentos e normas para a aplicação e projeto em madeira, com a utilização de ferramentas informáticas específicas para o cálculo em madeira. No entanto as ferramentas de software necessitam da introdução de características base dos materiais e mais uma vez a engenharia se deparou com dificuldade em utilizar todo o potencial dos novos sistemas de cálculo, por falta de dados respeitantes às características estruturais da madeira, nomeadamente as constantes elásticas, tensões de segurança, etc. Na pesquisa feita para este trabalho registaram-se referências a esta dificuldade atual de obter os dados de cálculo para diferentes espécies de madeira, diferentes qualidades e diferentes direções ortogonais. Esta falta de dados não é só por falta e dedicação de investigadores neste área, mas sobretudo pela complexidade de modelizar um material natural, com elevadíssima variabilidade e com uma microestrutura extremamente complexa. Pelo interesse atual que a madeira volta a despertar, pela constituição de novas equipas de estudo, é de esperar que a madeira venha a ter de novo um lugar de destaque nos materiais usados pela Homem. Este trabalho pretende ser mais uma pequena contribuição no sentido da valorização e melhor utilização deste material.

A importância científica de um modelo é realçada de forma explícita na mais abrangente norma europeia para o dimensionamento de estruturas em madeira, que é o eurocódigo 5, (EN 1995-1-1:2004), onde se afirma no capítulo relativo a “Bases de dimensionamento”, secção “Regras de dimensionamento” - “Os modelos devem ser suficientemente precisos para permitirem a previsão do comportamento estrutural, tendo em atenção a qualidade esperada da execução e fiabilidade das informações em

que se baseia o projeto”. O texto anteriormente transcrito realça a importância da interpretação das condições reais numa forma simplificada, mas suficientemente abrangente para permitir a aplicação das regras teóricas gerais da mecânica dos materiais, contribuindo assim para um maior aprofundamento destes conhecimentos, e facilitar a sua vez validação através dos ensaios experimentais. Os modelos não são em si mesmos um fim, mas antes um elo de uma cadeia circular de melhoria contínua de compreensão e mais perfeita simulação da realidade.

Na madeira, como noutros produtos naturais de origem biológica, a caracterização científica de qualquer fenómeno é extremamente difícil, já que não se trata de materiais de constituição química imutável, de arquitetura estrutural invariável, nem de homogénea responsabilidade funcional, donde resulta uma enorme variação de propriedades anatómicas, físicas, químicas e mecânicas.

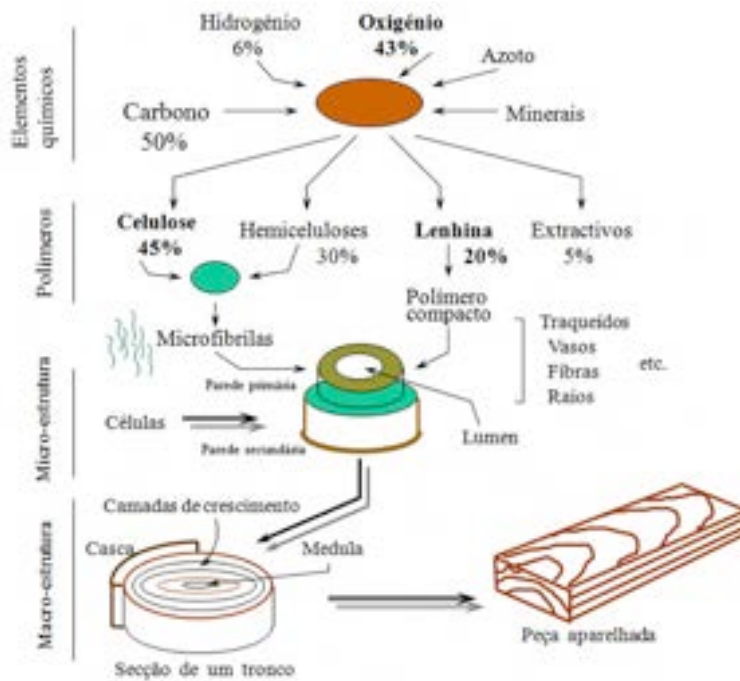
Resultante de uma prodigiosa atividade vital, a madeira reflete os “mistérios” biológicos que determinam a sua formação e sintetiza todas as singularidades que personalizam os indivíduos, e maravilhosamente os identificam. De facto, na Natureza, não há duas coisas iguais; há contudo, famílias de coisas. Como tal devem ser assumidos, em termos tecnológicos e de utilização, os materiais naturais.

Não podendo, na sua origem, renegar herança genética, nem superar variações provenientes, o ser fruto da biologia é sujeitar-se ao longo do seu desenvolvimento a vicissitudes tantas e tão diversas que determinam especificidades mais ou menos tangíveis, fortemente personalizantes, de sorte que as madeiras da mesma espécie possuem qualidades bastante díspares, determinadas pelas condições edafo-climáticas, ecológicas e culturais.

Mas as tecnologias, por via de transformações mais ou menos profundas que operam nos materiais de qualquer natureza, criam também “mistérios”, nomeadamente no que respeita a respostas físicas e prestações mecânicas, nem sempre suficientemente desvendadas pela ciência ou, ainda, incipientemente explicadas. Contudo, as repercussões de tão subtis singularidades só adquirem expressão relevante nas utilizações finais, onde os fenómenos de tensão podem ser irreversíveis, quer por sua natureza, quer por sua complexidade.

Mesmo quando todo o processo de transformação está terminado e uma peça de madeira se encontra com os seus produtos de acabamento superficial e sem solicitações mecânicas exteriores, sofre ainda a influência do condicionamento ambiental, sobretudo humidade relativa do ar. As variações refletem-se internamente em alterações dimensionais do tipo retração ou inchamento, que podem criar em consequência o aparecimento de estados internos de tensões, mais marcantes quando as peças já fazem parte de um conjunto, portanto com impedimento de se movimentar livremente. Esta reflexão mostra, como no caso dos materiais higroscópicos como a madeira, mesmo sem aplicação de cargas exteriores se pode estar perante estados de tensões complexos e atingindo valores suficientemente altos para provocar alterações irreversíveis (rotura e deformações plásticas).

Na figura 1 mostra-se de forma esquemática a composição aproximada, a crescente organização da constituição da madeira, desde os seus elementos químicos preponderantes, passando pelos compostos intermédios até chegar ao material madeira propriamente dito.



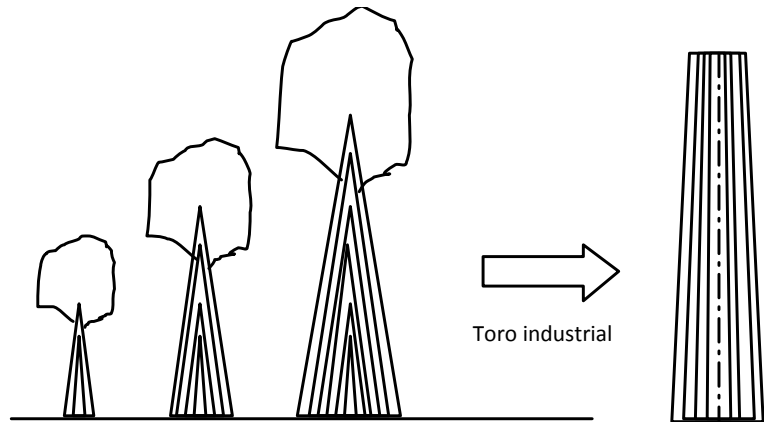
**Figura 1**

Constituição química da madeira e sequência organizacional da sua estrutura.

A formação do lenho resultando do crescimento do tronco de uma árvore, de onde se retira posteriormente o material madeira para todas as suas aplicações, segue determinadas regras geométricas que têm fortes implicações nas propriedades. Primeiro o alinhamento dos elementos fibrosos do lenho, que se diz simplificada como sendo paralelos entre si, são na realidade orientados segundo camadas de crescimento mais ou menos concêntricas em torno de um eixo e dispõem-se ainda numa direção das geratrizes de superfícies cónicas sobrepostas, figura 2.

**Figura 2**

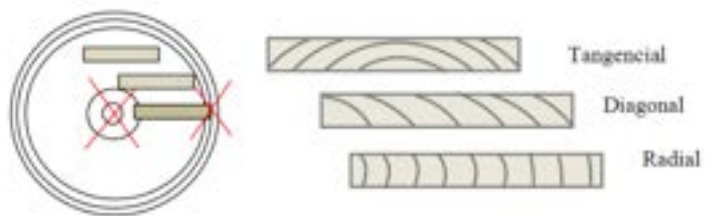
Modelo da orientação axial das camadas de crescimento em superfícies cônicas, sobrepostas ao longo do período de crescimento.



Na transformação industrial de um toro em pranchas de madeira para uso industrial, para além da necessidade de orientação das arestas longitudinais com a orientação axial das fibras, resulta também uma caracterização bem definida no que diz respeito à orientação relativa das camadas de crescimento relativamente às faces das pranchas, segundo o esquema mostrado na figura 3. As zonas assinaladas com X indicam a zona central correspondente à medula e a zona exterior perto da periferia, respetivamente.

**Figura 3**

Resultado da organização interna das peças de madeira (camadas de crescimento) em função do padrão de corte (origem e orientação em relação ao toro).







2

A photograph of a forest with tall, thin trees and a ground covered in fallen autumn leaves. The trees are mostly bare, with some remaining yellow and orange leaves. The ground is covered in a thick layer of brown and orange leaves. The background is a soft, out-of-focus forest scene.

# PROPRIEDADES FÍSICAS DA MADEIRA



As propriedades físicas caracterizam-se por não necessitarem que se atue química ou mecanicamente na estrutura da madeira para avaliação qualitativa e quantitativa. Entre as propriedades físicas, só nos referiremos em pormenor àquelas que interferem com as utilizações da madeira e têm relevância no desempenho mecânico, como acontece com o teor de água, a massa volúmica e a retração/inchamento.

---

## 2.1 TEOR DE ÁGUA

Além de poder conter água no estado livre, nos espaços vazios da sua estrutura, a madeira é um material higroscópico, tende a absorver ou a ceder água conforme as condições de temperatura, estado higrométrico e pressão atmosférica do ar que a rodeia.

O teor de água de uma peça de madeira, expresso em percentagem, é calculado pelo quociente entre a massa de água e a massa de substância lenhosa no estado anidro.

A necessidade e importância do conhecimento, em cada instante, do valor do teor de água, provém da relação que esta propriedade tem com todas as outras, nomeadamente com a massa volúmica, com as variações dimensionais, com as propriedades mecânicas, tecnológicas, entre outros, e da facilidade com que o teor de água varia em forte dependência das condições ambientais a que a madeira esteja exposta.

Com base no que foi dito, pode-se concluir que o valor de teor de água mais conveniente não pode ser dado de uma forma abstrata, mas sim, deve ser o valor para que tenderá no equilíbrio, para as condições médias que vão rodear a peça de madeira durante a sua vida útil. Este valor de teor de água no equilíbrio higroscópico e sua

relação com a temperatura e humidade relativa do ambiente circundante aparece habitualmente sob a forma gráfica, com base em valores médios, já que existem diferenças para cada uma das diferentes espécies.

Existem também expressões matemáticas que permitem calcular os valores das humidades de equilíbrio, como definido na norma ASTM D 4933-2004,

$$EH(\%) = \frac{1800}{A} \left[ \frac{B \cdot HR}{1 - B \cdot HR} + \frac{C \cdot B \cdot HR + 2 \cdot C \cdot D \cdot B^2 \cdot HR^2}{1 + C \cdot B \cdot HR + C \cdot D \cdot B^2 \cdot HR^2} \right] \quad (1)$$

onde,

EH - Equilíbrio Higroscópico [%] ,

HR - Humidade Relativa do ar [%] ,

T - Temperatura (°C) ,

A = 330 + 0,452 . T<sup>2</sup> ,

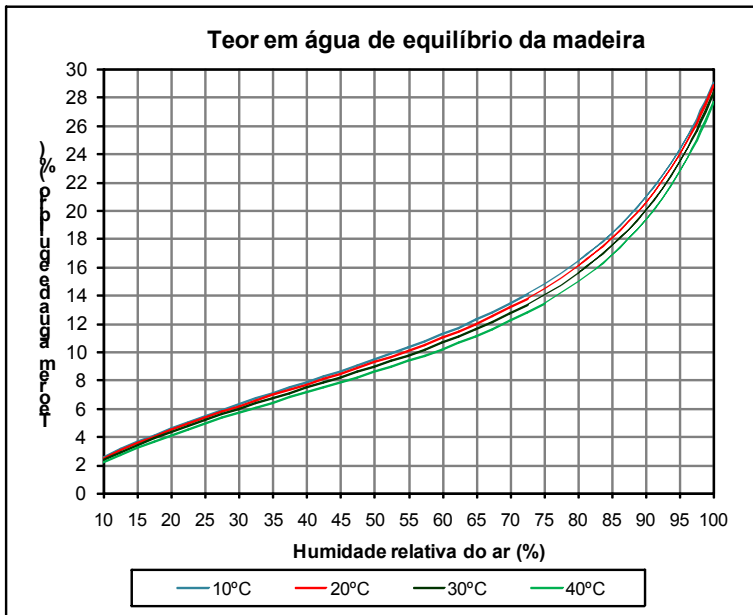
B = 0,791 + 0,000463 . T - 0,000000844 . T<sup>2</sup> ,

C = 6,34 + 0,000775 . T - 0,0000935 . T<sup>2</sup> ,

D = 1,09 + 0,0284 . T - 0,0000904 . T<sup>2</sup> .

Na figura 4 são representadas as curvas para determinados valores de temperatura (10°C; 20°C, 30°C e 40°C), observando-se que a influência da temperatura só por si não é muito significativa, pois as curvas apresentam-se bastante próximas umas das outras. Na realidade, o que condiciona verdadeiramente o teor de água da madeira é a humidade relativa do ar. Contudo, para um ambiente fechado, sem trocas de humidade com o exterior, um aumento de temperatura tem um efeito no teor de água da madeira muito ampliado, pelo facto do aumento da temperatura num ambiente sem alteração do valor de humidade absoluta se

refletir numa diminuição drástica da humidade relativa do ar, como se pode verificar na representação gráfica da Figura 4.



**Figura 4**  
Curvas de equilíbrio higroscópico para determinados valores da temperatura.

## 2.2 MASSA VOLÚMICA

A massa volúmica indica a massa contida na unidade de volume e as unidades mais comuns para a madeira são (g.cm<sup>3</sup>) e menos frequentemente (kg.m<sup>3</sup>).

A massa volúmica varia bastante de espécie para espécie, depende das condições edafo-climáticas, da parte da árvore de onde se retirou a amostra e do teor de água. A madeira dos ramos é normalmente mais densa que a do tronco e a do cerne mais densa que a do borne e a do lenho juvenil menos densa do que todas as outras.

Pelo facto do valor da massa volúmica ser influenciada pelo teor de água deve-se sempre referir o valor deste, ou então, reportar, por meio de de-

terminados cálculos, a um valor designado por massa volúmica de referência, que será a massa volúmica quando a amostra se encontrar a 12 % de teor de água, conforme definido na norma Portuguesa NP-616 e muitas outras normas internacionais.

Em muita bibliografia a propriedade definida como massa volúmica é apresentada com o termo densidade. Na verdade o valor numérico é sensivelmente igual ao da massa volúmica nas unidades (g/cm<sup>3</sup>), mas na densidade não se referem unidades uma vez que a densidade é um conceito relativo à massa volúmica da água.

---

## 2.3 RETRAÇÃO / INCHAMENTO

A retratibilidade é a propriedade que resulta do facto de uma peça de madeira variar as suas dimensões em função da variação do seu teor de água. Designa-se por retração a diminuição de dimensões, quando o teor de água diminui e por inchamento, ou entumescimento, o aumento de dimensões quando o teor de água aumenta.

O valor da retração é diferente conforme a direção em que seja medida, e é uma característica muito importante ligada a cada espécie e às suas particularidades.

Dentro de uma dada espécie caracterizam-se parâmetros ligados à retração, como sejam, a retração na direção tangencial às camadas de crescimento (que apresentam os valores mais elevados), a retração na direção radial (retrações de 1/3 a metade das anteriores), e finalmente a retração na direção das fibras, ou axial (apresentando valores muito pouco significativos). Outras



relações importantes são os coeficientes de retração, linear (em cada uma das diferentes direções) e volumétrico, e ainda a razão entre a retração tangencial e a radial que dá uma primeira indicação quanto à tendência da madeira para empenar.

---

## 2.4 DEFEITOS E SINGULARIDADES DA MADEIRA

Sendo a madeira um material natural, resultante do crescimento de um ser vivo – planta, traz consigo as características associadas à hereditariedade e apresenta particularidades que derivam das necessidades de evolução da planta que lhe deu origem. Neste sentido designam-se por singularidades as características próprias que individualizam a madeira, como por exemplo os nós, o fio da madeira, o cerne e borne, etc. Algumas destas singularidades são indesejáveis sob o ponto de vista de utilização da madeira como material estrutural, ou apenas no especto da sua valorização estética e neste caso passam a considerar-se como defeitos.

Nesta secção são apresentadas as definições de características da madeira, singularidades e defeitos que se relacionam diretamente ou indiretamente com o comportamento mecânico da madeira. Para as características mais relevantes é feita uma breve discussão sobre as suas implicações práticas.

### 2.4.1 FIO DA MADEIRA

Este termo tem vários significados, segundo diferentes autores, mas neste trabalho designaremos o fio da madeira como um conceito geométrico relativo à direção preferencial das fibras.

As subdivisões mais marcantes são as seguintes:

- \* fio reto ou fio direito, quando os elementos fibrosos se dispõem mais ou menos retilinearmente em direções paralelas entre si e às arestas da peça de madeira;

- \* fio entrecruzado, quando os elementos fibrosos, orientados numa dada direção em certa camada de crescimento, mudam bruscamente de direção na camada seguinte. Este fio origina madeiras mais resistentes mecanicamente, mas de laboração e acabamento difícil nas faces radiais;

- \* fio espiralado, quando os elementos fibrosos se distribuem em espiral, ou mais propriamente em hélice, em relação ao eixo da árvore. Esta característica do fio torna a laboração extremamente difícil e originando empenos acentuados;

- \* fio diagonal, não tem já a ver com o lenho em si, mas sim com a conversão. Trata-se de um desvio de direção entre os elementos fibrosos e as faces da peça. É um defeito de laboração que muito vem a prejudicar o comportamento da peça, tanto em operações de acabamento, como na estabilidade de forma e resistência mecânica.

## 2.4.2 NÓS

Os nós são o resultado da presença de antigos ramos que foram englobados na massa do lenho durante o crescimento deste, revelando-se nas superfícies das peças com uma coloração muito mais escura e uma forma e dimensão dependentes da orientação dos planos que os seccionam e do seu grau de desenvolvimento no local da secção. Podendo apresentar-se circulares, elípticos, parabólicos e de contornos retos, caso o plano de seccionamento seja paralelo ao seu eixo. O material que constitui os nós tem as-

peto e características bem distintas do lenho circundante, inserindo-se neste de uma forma sensivelmente cônica com o vértice apontado para a medula e fazendo um ângulo mais ou menos reto com o eixo do tronco. Trata-se de um material de características bem distintas, com elevada densidade, orientação das fibras segundo o seu próprio eixo, elevada dureza, elevado teor em extrativos, entre outros.

A presença dos nós na madeira quando esta se destina a fins estruturais representa sempre um defeito, mais ou menos acentuado e grave conforme as suas características e a exigência que se faz na peça de madeira e do tipo de esforço aplicado. Durante a laboração, os nós dão origem a desgaste das ferramentas, desvios nos cortes, arrancamentos de material, entre outros.

Durante a secagem, as diferenças de retração entre os nós e o material que os rodeia, faz acentuar a sua não aderência ao lenho circundante, podendo mesmo provocar o seu destacamento. A perturbação causada pela presença de um nó vai bastante além dos seus limites, pois existem sempre desvios da direção do fio, que na sua continuidade tende a contornar os nós, o que provoca uma diminuição da resistência mecânica da madeira, arrancamentos de material durante as operações de laboração de superfícies e prejudica também o aspeto estético.

Nas espécies com muitos nós como pinheiros, pseudotsuga, abeto, espruce, criptoméria e outras, a presença de nós faz-se sentir mais ou menos acentuadamente conforme as condições de formação da árvore. Os nós concentram-se em intervalos mais ou menos regulares, que nas árvores que tiveram um desenvolvimento rápido são mais espaçados do que nas árvores que tiveram um desenvolvimento lento. Também o grau de desenvolvimento e dimensões de um nó depende das técnicas culturais,

sendo menos desenvolvidos nas árvores que crescem em povoa-mentos e com desrames naturais ou artificiais, e de maiores di-mensões em árvores que crescem em campo aberto em que os ramos tiveram condições para um desenvolvimento acentuado.

Nas madeiras tropicais e também nalgumas espécies bem nos-sas conhecidas como os castanhos, carvalhos, choupos e euca-liptos a incidência de nós é menos acentuada ou estão totalmente ausentes por grandes espaços, permitindo tirar destas madeiras peças limpas, largas ou compridas, sem perturbações no com-portamento mecânico e ainda fazer-se o desenrolamento e corte plano para extração de folha de madeira, matéria-prima de base para contraplacados e laminados colados (ex. LVL – Laminated Venneer Lumber).

### 2.4.3 LENHO JUVENIL

O material lenhoso primeiramente formado numa dada secção do tronco, portanto o que se encontra mais próximo do seu eixo, rodeando a medula, apresenta uma estrutura celular e proprie-dades diferentes do lenho formado mais tarde. Este lenho forma-do sob a influência direta da copa tem o nome de lenho juvenil e apresenta menor massa volúmica, menor percentagem de lenho tardio (Outono), maior distância entre anéis de crescimento, e maiores retrações na direção axial.

Além das diferenças apontadas aparecem outras com grande importância nas utilizações da madeira, concretamente, piores características mecânicas: menor resistência; menor dureza; menor valor do módulo de elasticidade; maior fragilidade. Os valores mais elevados da retração axial comparativamente ao lenho circundante tornam as peças com incorporação de lenho juvenil especialmente suscetíveis aos empenos.

Embora haja rigorosa informação sobre as diferenças de calibre e comprimento das células, orientação das microfibrilas, composição química, e outras entre o lenho juvenil e o lenho adulto, os limites do lenho juvenil numa secção são difíceis de definir com precisão, também pelo facto da própria transição ser mais ou menos gradual. Para efeitos práticos pode ser determinada macroscopicamente através da observação do ritmo de crescimento, largura dos anéis e percentagem de lenho tardio.

O início de formação de lenho adulto em seguimento ao lenho juvenil dá-se ao fim de um determinado tempo que é muito variável com a espécie e as condições de desenvolvimento da árvore, sendo de 5 a 10 anos os valores mais frequentes para as nossas espécies.

Resumindo, para utilizações da madeira em carpintaria e mobiliário, a madeira de lenho juvenil apresenta alguns inconvenientes, como sejam, empenos mais acentuados devido a maior retração axial, menor durabilidade natural e menor resistência mecânica. Não obstante estes inconvenientes em muitos casos tem de se aceitar este tipo de material, reconhecendo e aprendendo a solucionar os seus defeitos, pois com tendência para rotações mais curtas na exploração florestal, cada vez aparecerá em maior quantidade. Desde que não tenha ainda um teor em extrativos elevado, apresenta boa aptidão à colagem e a receber produtos de acabamentos, e não tendo fendas presta-se, à fabricação de certos componentes para mobiliário. Deve tentar-se não incorporar nas peças fabricadas a medula.

Estudos levados a cabo por investigadores chineses incidiram muito especificamente nas diferenças de propriedades entre o lenho juvenil e o lenho adulto (F.C.Bao et al., 2001).

Segundo este estudo as diferenças entre o lenho juvenil e o lenho adulto são pequenas ao nível da composição química, mas significativas ao nível morfológico e com grande influência nas propriedades físico-mecânicas. Em geral as diferenças são menores para as Folhosas do que para as Resinosas. O comprimento das fibras e traqueídeos, assim como o seu diâmetro tangencial e radial, são menores no lenho juvenil do que no lenho adulto. As densidades são também menores no lenho juvenil. Todos estes fatores fazem com a que a estabilidade dimensional e as propriedades mecânicas sejam afetadas negativamente, segundo aquele estudo.

A perda de propriedades mecânicas na direção axial, deve-se mais a uma acentuada inclinação da direção das fibras em relação ao eixo do toro, do que à variação de densidade. Estudo de (Tomás Mateus, 1962), relativos a ensaios de compressão paralela às fibras em pinho bravo de todas as qualidades, demonstraram que a madeira da zona circundante da medula apresentou valores médios significativamente mais baixos de resistência, mesmo inferiores a provetes afetados por grandes nós.

#### 2.4.4 CERNE E BORNE

O lenho, através dos seus componentes básicos, desempenha durante o crescimento de uma árvore, funções de suporte, de condução de líquidos e de armazenagem de substâncias de reserva, além de outras funções vitais. No entanto, após um período de tempo não rigorosamente definido, muito variável de espécie para espécie e dependente das condições de desenvolvimento, as células que ainda se mantêm vivas (células de parênquima), vão morrendo e algumas modificações complexas vão dando origem à obstrução progressiva dos seus espaços vazios, traqueídeos (Resinosas) e fibras e vasos (Folhosas), dando-se com a acumulação de substâncias, formação de compostos

pigmentados. A este material mais antigo, com o processo de transformação terminado, dá-se o nome de cerne e ao formado mais recentemente dá-se o nome de borne. A transição de borne para cerne não se dá bruscamente e nas espécies em que não haja alteração de cor torna-se por vezes difícil de os distinguir visualmente, havendo necessidade de recorrer a outros indicadores, como a presença em muito maior quantidade de substâncias extrativas e maior massa volúmica no cerne do que no borne. Um processo expedito confirmado pelo autor desta tese consiste em colocar um pingo de água na zona suposta tratar-se de cerne e um pingo na zona que não haja dúvida tratar-se de borne. Se os pingos estiverem verdadeiramente em zonas diferentes, a velocidade da sua absorção pela madeira é acentuadamente diferente.

A presença de elevado teor em extrativos no cerne reduz fortemente a permeabilidade aos gases e aos líquidos, o que dificulta por sua vez os fenómenos da colagem, impregnação profunda de produtos preservadores e receção de produtos de acabamento superficial.

Embora a durabilidade natural seja muito superior no cerne do que no borne, para mobiliário a usar no interior de habitações, os fabricantes preferem madeira sem cerne pelas vantagens relativas que apresenta e ainda pelo melhor aspeto estético (menos contraste) e maior facilidade de permitir aplicação de diferentes tons de cor.

3



A photograph of a wooden roof truss structure, showing a complex network of light-colored wooden beams and rafters. The structure is viewed from below, looking up. The beams are arranged in a triangular and rectangular pattern, typical of a roof truss. The lighting is bright, highlighting the natural texture and grain of the wood. The background shows some greenery and a blue sky, suggesting an outdoor construction site.

# PROPRIEDADES MECÂNICAS DA MADEIRA



---

## 3.1 INTRODUÇÃO

As propriedades mecânicas e elásticas de muitos materiais homogêneos, também designados isotrópicos, são avaliadas normalmente em ensaios de tração. No caso da madeira, mesmo tratando-se de amostras sem defeitos, tem de se ter presente que esta é formada, não só por sobreposição sucessiva de camadas curvas concêntricas de dois componentes de densidades diferentes, assim como formada por fibras orientadas numa direção preferencial. A orientação axial, também designada longitudinal ou paralela às fibras, não é na realidade perfeitamente paralela ao eixo de simetria representado pelo eixo do tronco. O perfil do fuste de uma árvore é em maior ou menor grau um tronco de cone, portanto há uma certa convergência da direção das fibras em lados opostos da simetria axial. Tendo em conta o que foi referido anteriormente, a informação sobre o comportamento à tração na direção paralela às fibras é apenas uma parte da informação total necessária para caracterização mecânica da madeira. A madeira é um exemplo bem representativo de um material anisotrópico.

A nível macroscópico as características físicas e mecânicas da madeira variam regularmente do centro geométrico do tronco para a sua periferia. Para diferentes amostras há a registar a sua diferente massa volúmica que depende em grande parte da proporção relativa das duas diferentes camadas (lenho inicial e lenho final).

Ao caracterizar a madeira de uma forma genérica, para utilização corrente, pode ser suficiente uma avaliação média das suas propriedades recorrendo a ensaios de um elevado número de amos-

tras de dimensões normalizadas. Também os ensaios de prove-tes com elevada dimensão são satisfatórios a nível de aplicação industrial, pois as variações localizadas à escala microscópica fi-cam distribuídas aleatoriamente, perdendo importância relativa. Para cálculo em projeto estrutural os valores das propriedades da madeira são obtidos por tratamentos estatísticos com vista a determinar os valores dentro da segurança máxima, como são os chamados “valores característicos”. Estes valores são deter-minados como sendo os correspondentes ao quinto percentil de uma distribuição normal, como se define na norma europeia EN 338:2003 Structural timber - Strength classes.

Para uma compreensão mais rigorosa do comportamento mecâ-nico da madeira, mesmo da madeira sem defeitos, e para definir os modelos de comportamento, é necessário encontrar as razões pontuais da inevitável variabilidade. Como primeiro passo para elaboração dos modelos devem considerar-se pelo menos três grupos de variáveis: a variação mais ou menos regular devida ao afastamento do centro geométrico das camadas de crescimento, incluindo células diferentes desde o lenho juvenil até ao lenho adulto; o seu raio de curvatura das sucessivas camadas, o que condiciona uma certa distribuição das tensões mecânicas; a es-pessura relativa de cada uma das camadas. Nos parágrafos se-guintes faz-se uma avaliação teórica do efeito da anisotropia da madeira relativamente ao seu comportamento segundo diferen-tes esforços mecânicos, tanto na direção paralela às fibras, como nas direções perpendiculares às fibras. A madeira é um compó-sito natural, não só no ponto de vista microscópico, consideran-do os componentes básicos celulose e lenhina, mas também no ponto de vista macroscópico, onde há acentuadas diferenças de propriedades entre o lenho inicial e o final, que conferem à ma-deira o verdadeiro significado de um compósito ou bi-material, fortes diferenças segundo a direção de ensaio e ainda diferenças

se os esforços forem de tração ou de compressão, mesmo para uma mesma amostra individual.

Segundo David W. Green et al. (1999) para caracterizar uma única propriedade elástica da madeira são teoricamente necessárias 12 constantes, Quadro I, das quais nove são independentes.

Constantes necessárias para modelação das propriedades elásticas		
Módulo de elasticidade na direção paralela às fibras $E_0$	Módulo de elasticidade na direção tangencial $E_{90,tang}$	Módulo de elasticidade na direção radial $E_{90,rad}$
Módulo de corte $G_{axial/tang}$	Módulo de corte $G_{axial/rad}$	Módulo de corte $G_{tang/rad}$
Coefficiente de Poisson $CP_{tang/axial}$	Coefficiente de Poisson $CP_{rad/axial}$	Coefficiente de Poisson $CP_{tang/rad}$
Coefficiente de Poisson $CP_{axial/tang}$	Coefficiente de Poisson $CP_{axial/rad}$	Coefficiente de Poisson $CP_{rad/tang}$

#### Quadro 1

Constantes necessárias para definir as propriedades elásticas da madeira segundo (David et al. 1999).

Para além do que afirmam os autores do Quadro I é constatação corrente a diferença que existe entre os módulos de elasticidade à tração e à compressão, o mesmo acontecendo com os módulos de corte e coeficientes de Poisson. No desenvolvimento experimental, cujos resultados se apresentam mais adiante nesta tese, foram quantificadas as diferenças destes valores à tração e à compressão, que revelaram alguma variabilidade dentro do mesmo grupo, o que aumenta ainda mais a complexidade de interpretação.

Sabendo-se que o teor de água interfere nas propriedades mecânicas, este parâmetro deve ser controlado e registado. Embo-

ra as normas não obriguem que os ensaios sejam realizados a valores bem definidos do teor de água, está implícito que, caso não haja necessidade de outras condições, deverão prevalecer os valores padrão de  $12 \% \pm 2 \%$ .

---

## 3.2 TRAÇÃO PARALELA ÀS FIBRAS

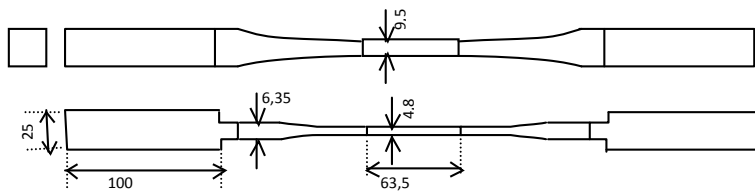
A tração paralela às fibras é a característica que confere maior potencial de utilização da madeira para finalidades estruturais, desde uma grande estrutura de construção civil até aos mais pequenos objetos, desde que a resistência a esforços mecânicos seja uma exigência.

A madeira é um material orientado, onde quase todos os elementos constituintes se orientam na chamada direção paralela às fibras, que é a direção do eixo do tronco das árvores e também dos seus ramos.

Para avaliação desta característica as normas nacionais e internacionais definem dimensões e desenhos de provetes, mais ou menos elaborados, pelo facto de ser difícil conseguir a rotura por tração antes que esta ocorra devido a outros tipos de esforços a que a madeira é marcadamente sensível e que aparecem inevitavelmente nos pontos de amarração. Mesmo as tentativas de estreitamento da secção na zona preferencial de rotura nem sempre são bem-sucedidas quanto ao seu objetivo para espécies com valores de resistência muito elevados.

A norma ASTM D 143 define para o ensaio de tração paralela um provete com um elevado comprimento total para permitir transmitir toda a força de tração a uma pequena zona de ensaio de

secção retangular de  $9,5 \times 4,8 \text{ mm}^2$ , num comprimento de  $63,5 \text{ mm}$ , figura 5. Nesta zona são medidas com rigor as dimensões e são colocados extensómetros de precisão de modo a chegar-se às determinações das características elásticas, módulo de elasticidade, tensão limite de elasticidade, tensão de cedência ou de rotura, entre outros. As reduzidas secção e comprimento de referência limitam o estudo quanto à influência conjunta de lenho inicial, final e inclusão de defeitos, aumentando a variabilidade dos resultados. Nesta norma exige-se uma precisão dos instrumentos de medição da extensão de  $0,002 \text{ mm}$ , com a carga de tração aplicada correspondente a uma velocidade de  $1 \text{ mm por minuto}$ .



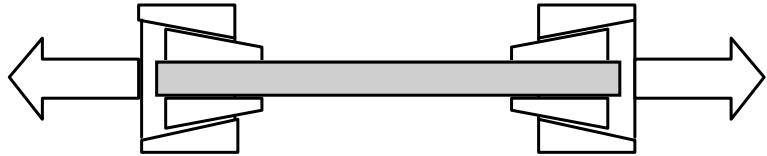
**Figura 5**

Geometria e dimensões em milímetros, do provete de tração paralela às fibras da norma ASTM D 143.

A norma EN 408:2010 está especialmente vocacionada para determinação das características de madeiras para estruturas e componentes estruturais em dimensão real. Nesta norma não estão definidas dimensões específicas para o ensaio de tração paralela, mas antes dá-se a indicação de que os componentes e amostras devem ser ensaiados na sua dimensão real. Este facto levanta enormes dificuldades em encontrar sistemas adequados de amarração e a disponibilidade de forças para ensaio de fortes secções. O sistema de amarração sugerido assemelha-se a uma dupla cunha de aperto ligada ao sistema de tração, de modo que quanto maior for a tração maior a força de aperto transversal, figura 6.

**Figura 6**

Sistema teórico de amarração para ensaio de tração paralelo às fibras.



Em peças de madeira de pequenas dimensões e sem defeitos este método de ensaio não permite atingir as tensões de tração perto dos limites de resistência da madeira, porque a rotura se irá dar por outros esforços, normalmente compressão transversal na zona de amarração. Por esta razão, a própria norma deixa ao critério de cada laboratório a liberdade de encontrar o sistema de amarração mais adequado com a única exigência de este ser claramente identificado e descrito no relatório de resultados. A precisão exigida para a carga é de 1 % da carga máxima necessária para terminar o ensaio. Para a determinação do módulo de elasticidade a precisão da medição da deformação deve ser menor do que 1 % da deformação de ensaio, ou de 0,02 mm para deformações menores do que 2 mm e a velocidade de aplicação de carga não deve ser superior a 0,00005 mm por cada mm de comprimento, em cada segundo (do que resultaria uma velocidade de metade da velocidade definida pela norma ASTM, se aplicado ao provete desta norma). Para determinação da tensão de rotura à tração a norma europeia define que o ensaio até à rotura tem de ter lugar entre  $300 \pm 120$  segundos.

Para cálculo quer do módulo de elasticidade quer para a tensão de rotura são seguidos em todas as normas as definições teóricas, em que o módulo de elasticidade corresponde à relação entre a tensão e a deformação relativa correspondente, na zona de proporcionalidade. A tensão de rotura calcula-se pelo quociente entre a força máxima aplicada e a área inicial da secção resistente, muitas vezes designado de secção nominal.



A dificuldade em encontrar uma forma fácil e eficaz de realizar o ensaio de tração paralelo às fibras da madeira ajuda a justificar a falta de dados na bibliografia e nas fichas tecnológicas das madeiras relativamente a esta propriedade. Em face do que foi referido anteriormente também neste trabalho se deu uma particular ênfase ao ensaio de tração, com a proposta de uma nova metodologia que se encontra detalhadamente explicado no capítulo dedicado ao desenvolvimento experimental.

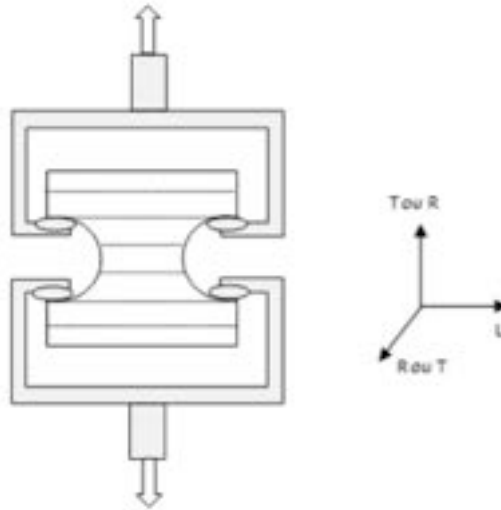
---

### 3.3 TRAÇÃO TRANSVERSAL

A tração transversal é a característica das madeiras que apresenta valores mais baixos de resistência, razão pela qual deve merecer uma atenção especial durante a fase de cálculo de estruturas. É uma característica relativamente simples de avaliar em laboratório e, tal com outras, teve em diferentes normas diferentes abordagens quanto à geometria dos provetes de ensaio. Os procedimentos descritos em diferentes normas sobre o ensaio de tração transversal têm sempre como finalidade encontrar uma superfície onde seja transmitida uma tensão uniformemente distribuída, na direção perpendicular às fibras, aumentando-se gradualmente a tensão até rotura do material. Para conseguir avaliar a tensão máxima desta característica foram pensadas diferentes abordagens, nomeadamente através de diferentes geometrias dos provetes. A norma ASTM D143 estabelece um provete com base num paralelepípedo de  $5 \times 5 \times 5,5 \text{ mm}^3$ , no qual são abertos dois furos que atingem duas faces laterais e que se destinam a permitir a colocação dos acessórios metálicos que aplicam a força de tração, Figura 7.

**Figura 7**

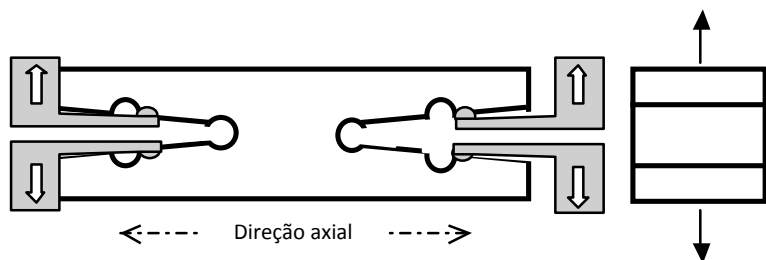
Forma do provete e acessório de ensaio, para determinação da resistência à tração transversal da madeira, segundo a norma ASTM D143.



A norma portuguesa e outras normas nacionais (francesa e espanhola entre outras), recomendam a realização do ensaio de tração transversal e de fendimento com um tipo de provete muito elaborado, difícil e demorado de preparar do que o anterior, figura 8. Neste provete a área da secção à tração transversal às fibras é de  $20 \times 20 \text{ mm}^2$ , sendo fabricado através de uma barra de  $20 \times 20 \text{ mm}^2$  de secção, material acessível através de pranchas finas ou amostras de pequenas dimensões.

**Figura 8**

Forma do provete de tração transversal às fibras, segundo a norma NP-621.

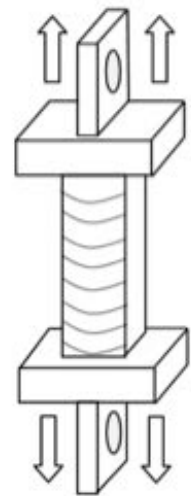


Estas formas anteriormente descritas, que permitem o encaixe de acessórios para aplicar a tração, têm a vantagem de permitirem a realizar os ensaios de imediato após corte dos provetes sem necessidade de tempo de espera da colagem nem a utilização de vários acessórios, possibilitando a realização de ensaios

em sequência rápida. O largo raio de curvatura dos encaixes cilíndricos interiores na norma ASTM tende a reduzir o efeito de concentração de tensões, enquanto o formato estrangulado da NP-621 tem o inconveniente de quase imposição da rotura se dar na zona de menor secção.

Para determinação das propriedades elásticas ambos procedimentos apresentados anteriormente revelam grandes limitações ao nível da medição da extensão no sentido do esforço aplicado.

A norma europeia EN 408:2010 estabelece um provete com forma geométrica simples de 6 faces planas, o que se torna bastante fácil de fabricar em série e em qualquer direção relativa das fibras. Para amarração a norma europeia recomenda a colagem a acessórios metálicos, em duas faces opostas, com uma cola suficientemente forte para que a rotura se dê pela madeira, figura 9. Tal é quase sempre conseguido com uma boa preparação das superfícies e escolha adequada da cola, nomeadamente com uma cola epoxídica. Nos ensaios em que a cedência se dê pela interface madeira – acessório, estes resultados não são considerados para o tratamento estatístico e para madeiras excepcionalmente resistentes pode haver necessidade de cortar um estrangulamento na zona a estudar. A norma Europeia não dá qualquer informação relativa à forma e dimensões dos acessórios auxiliares, assim como é deixada alguma liberdade para escolher as dimensões dos provetes de madeira de acordo com as necessidades específicas de cada estudo. Para avaliação das características elásticas define-se a aplicação de um equipamento de avaliação da força com uma precisão de pelo menos 1 % da carga máxima. A deformação deve ser avaliada com uma precisão de 1 % da deformação média esperada, numa distância de referência de 60 % da altura do provete e lateralmente nunca a menos de 1/3 da dimensão do menor lado da secção retangular.



**Figura 9**  
Forma do provete de tração transversal às fibras, segundo a norma EN 408:2010.



**Figura 10**

Rotura no plano radial por aplicação de tração transversal na direção tangencial.

Na figura 10 mostra-se um exemplo representativo da rotura numa amostra de pinho-bravo retirada da zona central junto à medula, com predominância para presença de lenho juvenil (mais fraco), por onde se iniciou a cedência.

### 3.4 COMPRESSÃO PARALELA

Tal como o próprio nome indica, a compressão paralela consiste em aplicar à madeira uma carga na direção paralela às fibras e no sentido de comprimir a madeira. A norma ASTM D 143 define dimensões preferenciais para os ensaios de compressão paralela, também chamada compressão axial, como sendo 50x50x200 mm<sup>3</sup> ou 25x25x100 mm<sup>3</sup>, dimensões da secção e comprimento, respetivamente. O ensaio com secções muito fortes como é o caso de 50x50 mm<sup>2</sup> é útil a nível estrutural para retirar valores práticos para a engenharia de projeto, pois contemplam normalmente madeira no seu estado natural, incluindo portanto pequenos defeitos e singularidades como nós, desvios do fio, pequenas fendas e materiais diversos não especificados como cerne, borne, lenho juvenil ou medula. Estes ensaios com grandes provetes não são bons para o estudo das propriedades a nível de conhecimento detalhado das propriedades da madeira. Para tal são mais úteis os ensaios com provetes de menores dimensões, por exemplo 25x25x100 mm<sup>3</sup> ou mesmo menores. As normas Europeias mais recentes, como a norma EN 408:2010, relativamente ao ensaio de compressão, entre outros, não define uma dimensão bem determinada, deixando ao critério de tipo de estudo em curso, mas define a geometria básica dos provetes e dimensões relativas entre a secção e o comprimento. Especificamente para o ensaio de compressão define-se a secção quadrada e um comprimento de 6 vezes o lado da secção. Desta forma o provete não

é suficientemente esbelto para se criar o efeito da encurvadura, mas é suficiente longo para aplicar extensómetros fora da zona de influência dos topos, pois pelo critério de Saint Venant a zona de tensões uniformemente distribuídas em toda a secção acontece a partir de uma distância de 1,5 a largura da secção, em relação aos apoios.

Outro aspeto importante também focado nas normas é a necessidade de paralelismo tão rigoroso quanto possível entre as duas superfícies dos topos e a perpendicularidade com as superfícies longitudinais. Uma forma de contornar algum pequeno desvio de paralelismo e assim facilitar uma distribuição uniforme de pressão é usar um acessório metálico de cabeça semi-esférica, aplicado a um dos topos. Na norma europeia EN 408:2010 estabelece-se que este dispositivo seja imobilizado à rotação após uma primeira fase de adaptação à superfície do provete.

A velocidade de aplicação da carga também influencia o resultado das deformações relativamente ao valor da força aplicada. Deste modo as normas regulamentam velocidade, que para a norma ASTM D 143 é de 3/1000 mm por cada 1 mm de comprimento, em cada minuto, ou seja, para um provete de 100 mm de comprimento uma velocidade de 0,3 mm por minuto. A norma Europeia define que a carga máxima deve ser atingida entre  $300 \pm 120$  segundos. Na prática estas regras estabelecem que a tensão máxima não é atingida antes dos 3 minutos, o que garante contemplar a forte contribuição da deformação visco elástica deste material, mas não entrar no domínio da fluência.

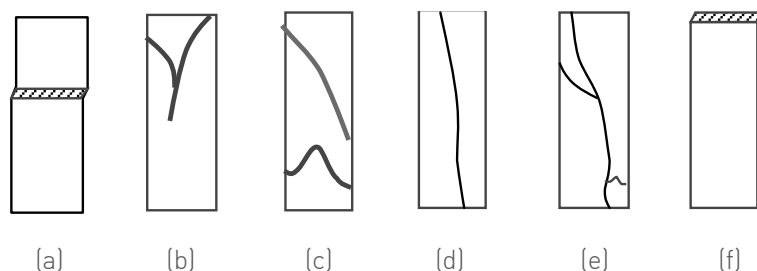
Dos ensaios de compressão paralela às fibras obtêm-se os valores da tensão máxima ou de cedência, o módulo de elasticidade, o limite máximo de elasticidade e a deformação máxima até ao limite elástico ou até à tensão máxima.

A rotura por compressão não se dá por uma separação em duas partes do provete, mas acontece na grande maioria dos casos, mas sim por um enrolamento das fibras sobre si próprias como se de um fio se tratasse, ver exemplo na figura 12. A superfície por onde acontece a cedência, a sua forma, orientação e posição, são indicativas das próprias propriedades ou defeitos da madeira em estudo.

A norma ASTM D 143 faz uma detalhada análise da forma de rotura por compressão, figura 11, definindo os casos mais expressivos e dando uma explicação para as causas. São assim definidas como: a) esmagamento - quando o enrugamento das fibras se dá num plano paralelo aos topos e afastado destes; b) em cunha - quando um ou dois planos são inclinados e por vezes em direções preferenciais quer tangencial quer radial; c) por corte - quando o plano ou planos se apresentam com ângulo superior a 45°; d) fendilhado - quando aparece uma grande fenda de separação entre as fibras; e) compressão e corte; f) em escova ou enrolamento superficial - quando as fibras se dobram logo na superfície de contacto.

**Figura 11**

Padrões da falha por compressão paralela às fibras, segundo a norma ASTM D 143.



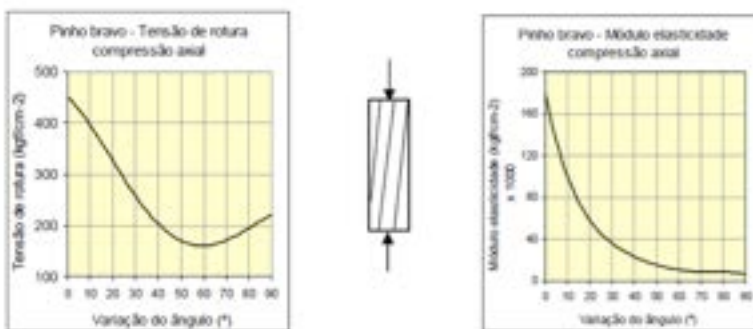
A rotura por compressão em pequenos provetes sem defeitos assume quase sempre um padrão constante, caracterizado por um enrugamento das fibras sobre si mesmo e a maioria das vezes num plano ligeiramente inclinado relativamente ao dos topos de aplicação da compressão, tal como mostrado no exemplo real com madeira de incenso na figura 12.



**Figura 12**

Padrão típico da zona de rotura por compressão paralela, no exemplo prático da madeira de incenso.

Um aspeto muito importante a considerar na avaliação do comportamento mecânico da madeira é a orientação das fibras em relação à geometria do próprio provete de ensaio, e pela mesma ordem de razões o mesmo acontece em elementos estruturais em utilização. Um pequeno desvio da direção do fio, a que se dá a designação técnica de “fio diagonal”, tem um efeito drástico na perda de capacidade estrutural como se pode exemplificar na figura 13, em estudos levados a cabo por (Mateus 1961).

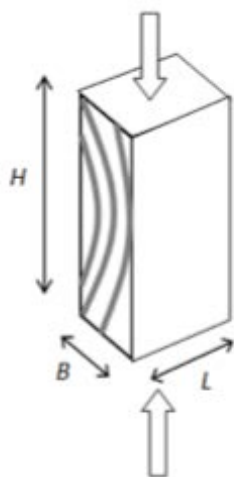


**Figura 13**

Varição da tensão de rotura à compressão paralela às fibras e do módulo de elasticidade, com o ângulo entre a aplicação da força e a direção do fio da madeira (Mateus 1961).

## 3.5 COMPRESSÃO TRANSVERSAL

A compressão transversal tem semelhanças com tração transversal no que diz respeito a serem os pontos fracos no comportamento mecânico da madeira, embora não tanto como a tração particular. Isto deve-se a que a madeira é um material orientado, seja, toda a sua estrutura está preparada para os esforços axiais, e os esforços transversais acontecerem com pouca relevância quando a árvore está viva.



**Figura 14**

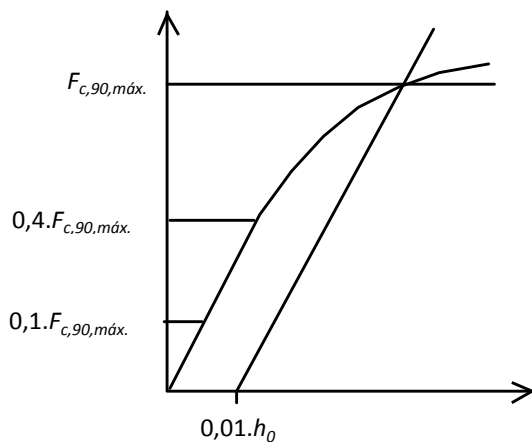
Provete para ensaio de compressão transversal.

A norma europeia EN 408:2010 define um provete de dimensões 70x45 mm<sup>2</sup> de secção e 90 mm de altura. A precisão da medição da intensidade da carga de compressão recomendada é de 1 % da carga máxima e de 0,1 % para cargas menores do que 10 % da carga máxima. A velocidade de progressão da carga deve ser de modo a que seja atingido o valor máximo entre 300 ± 120 segundos. Estes valores de ensaio são determinados em ensaios preliminares para cada espécie de madeira. O ensaio de compressão transversal deve ser feito num provete de 70 mm de comprimento na direção paralela às fibras (L), 45 mm de largura (B), e 90 mm de altura (H), sendo esta dimensão medida num plano tangencial, figura 14.

O ensaio de compressão transversal tem uma dificuldade que é determinar com precisão qual o valor a tomar como tensão máxima, uma vez que à medida que vai decorrendo a compressão a madeira se vai deformando, aumentando a área da secção e compactando cada vez mais o material. Na prática acontece que não há um momento claro para registar a carga máxima e antes pelo contrário a carga tem uma tendência para aumentar lentamente enquanto a deformação progride muito rapidamente. Para resolver este problema a norma europeia definiu um procedimento



com base numa análise gráfica dos ensaios preliminares, figura 15, considerando-se a carga máxima aquela que corresponde ao ponto de encontro da linha de carga deformação com uma reta paralela à sua zona proporcional e que parte da abcissa correspondente a 1 % da altura de referência do provete ( $h_0$ ).



**Figura 15**

Forma de encontrar o valor da carga máxima para compressão transversal, segundo o definido na norma EN 408:2010.

Outras normas definem procedimentos ligeiramente diferentes, como são os exemplos das normas Americanas e Britânicas.

Um ensaio de referência é o descrito na norma Inglesa B.S. 373:1957 em que o ensaio de compressão transversal é efetuado sobre um provete que é um cubo de 50 mm de lado. A aplicação de carga é feita através de dois acessórios metálicos aplicados em duas faces opostas do cubo, uns ensaios comprimindo as faces radiais, ou seja, a direção da força é na direção tangencial, e outros ensaios com aplicação da carga nas faces tangenciais, ou seja, com as forças na direção radial. A carga é aplicada a uma velocidade de constante de 0,0635 mm/min. A curva de carga deformação deve ser traçada até uma deformação de 0,25 mm. Qualquer carga máxima atingida antes da deformação de 0,25 mm deve ser considerada como carga de ensaio.

Devem ser registados os seguintes parâmetros, alguns através da representação gráfica:

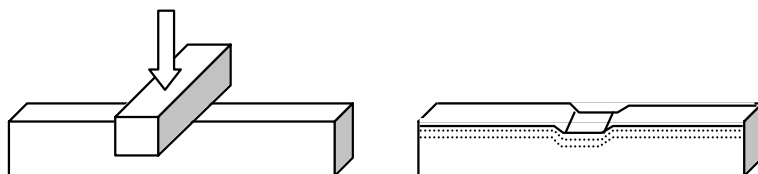
- área da secção sujeita à compressão (A)
- direção da compressão (radial ou tangencial)
- carga no limite de proporcionalidade (P')
- carga correspondente à deformação de 2,54 mm (P'')
- carga máxima, se atingida antes da deformação de 2,54 mm (P)

Os cálculos da tensão de rotura efetuam-se dividindo a carga máxima pela área à compressão. Os cálculos das propriedades elásticas efetuam-se dividindo a força no limite de proporcionalidade (fim da zona reta), pela área inicial à compressão.

Segundo a norma ASTM D143 o ensaio de compressão transversal é efetuado num provete de 50x50x150 mm<sup>3</sup>. A força de compressão transversal é aplicada através um acessório metálico de 50 mm de largura, colocado transversalmente à direção das fibras da madeira, a igual distância dos dois topos, figura 16. Tendo em conta que o comprimento de 150 mm está na posição horizontal e o aplicador da compressão tem uma largura de 50 mm, a área à compressão é o cruzamento destas duas medidas, seja 50x50 mm<sup>2</sup>, exercida numa parte central do provete. A face onde é aplicada a força é num plano radial, ou seja, a força é aplicada paralelamente à direção tangencial das camadas de crescimento.

**Figura 16**

Ensaio de compressão perpendicular, através de um aplicador metálico. Mossa final.



Os valores encontrados experimentalmente por este método não representam os verdadeiros valores da compressão transversal, mas são da maior importância por corresponderem mais de perto ao que acontece na sollicitação mecânica das madeiras aplicadas em funções estruturais.

A velocidade de ensaio é de 0,305 mm/min. Deve ser traçada uma curva carga-deformação até um valor de deformação de 2,5 mm, medidos entre os acessórios de aplicação, seja, uma deformação de 5 %. A tensão de compressão é tomada como sendo o cociente entre a força de esmagamento e a área de contacto do acessório metálico com a face da madeira (seja a largura do aplicador vezes a largura do provete).

---

## 3.6 DUREZA

A dureza é uma propriedade que tem forte correlação com a densidade e com a compressão transversal. Alguns autores consideram a dureza como uma propriedade física, mas, se tivermos em conta o conceito que todos os ensaios em que o material seja submetido a esforços e deformações seja considerado um ensaio mecânico, então, tendo em conta a forma como é realizado o ensaio, a dureza das madeiras deve ser considerada uma propriedade mecânica. Entre os vários métodos de avaliação da dureza foi escolhido o método definido nas normas ASTM D 143 e na norma Inglesa B.S. 373:1957 por serem métodos baseados na penetração de uma esfera de pequeno diâmetro numa face da peça de madeira, o que produz informação útil quanto à potencialidade de utilização das madeiras em pavimentos, ou outras utilizações que sofram fortes cargas concentradas numa reduzida área. O ensaio consiste em avaliar a força necessária para fazer penetrar

na madeira, até à profundidade de meio diâmetro, uma esfera de 11,6 mm de diâmetro (valor que corresponde a uma área projetada de 100 mm<sup>2</sup>). Este ensaio tem a designação de dureza Janka.

$$D = \frac{F}{A} \quad (2)$$

F – Força aplicada para penetração até meio diâmetro da esfera, em Newton.

A – Área projetada da esfera de penetração.

Na figura 17 mostra-se um exemplo pratico do resultado do ensaio de dureza Janka numa amostra de incenso.

**Figura 17**

Mossa residual resultante do ensaio de dureza.



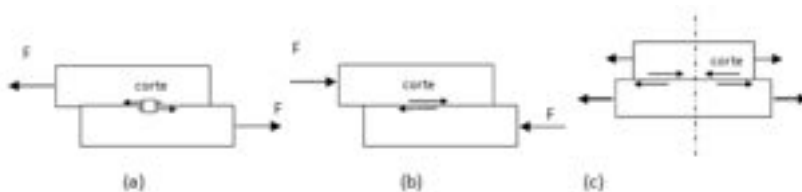
## 3.7 FENDIMENTO

O fendimento tem semelhanças com a tração transversal conjugado com a influência da concentração de tensões. Existem procedimentos definidos em várias normas menos recentes para o ensaio de fendimento, mas na prática do cálculo estrutural atual não é dado um tratamento independente a esta característica. A relação entre o fendimento com a concentração de tensões é desenvolvida na tese de doutoramento (Santos, J.A., 2007), secção 3.25.

## 3.8 CORTE PARALELO

O corte paralelo é o que resulta da ação de uma força na direção paralela às fibras da madeira e sobre um plano também paralelo à direção das fibras. No caso da madeira este plano poderá apresentar-se tangente às camadas de crescimento, resultando um corte sobre uma grande parte de uma única camada de crescimento, quer seja de lenho inicial, quer seja de lenho final, podendo ser causa de uma elevada variabilidade de resultados. Se o plano se apresentar de modo a passar próximo ou pelo eixo geométrico do toro, então a superfície de corte atravessa diferentes camadas de crescimento, tendendo a dar resultados mais homogêneos. O corte paralelo é o responsável por um grande número de fraturas da madeira, em particular, em resultado do esforço de flexão.

As tensões de corte devem-se a tendência para deslizamento entre diferentes planos, o que pode ser provocado por tensões de compressão ou tração de sentidos opostos e atuando em planos afastados entre si (a) e (b), figura 18. Também se criam tensões de corte com tensões de compressão ou tensões de tração no mesmo sentido, quando há uma variação de intensidade de resistência do material nos diferentes planos (c). Por exemplo, no caso da madeira, quando um mesmo provete apresenta, na zona de referência, largas e distintas camadas de lenho inicial e final.



**Figura 18**

Origem das tensões de corte. (a) Tração em planos paralelos; (b) Compressão em planos paralelos; (c) Diferentes forças não colineares.

As tensões de corte correspondentes aos modelos (a) e (b) da figura 17 são definidas pela expressão (3), mas as correspondentes ao desenho (c) são mais difíceis de definir uma vez que têm intensidade diferente em função da distância ao centro geométrico do modelo mas o seu valor médio será dado pela expressão (4),

$$\tau = \frac{F}{S} \quad (3)$$

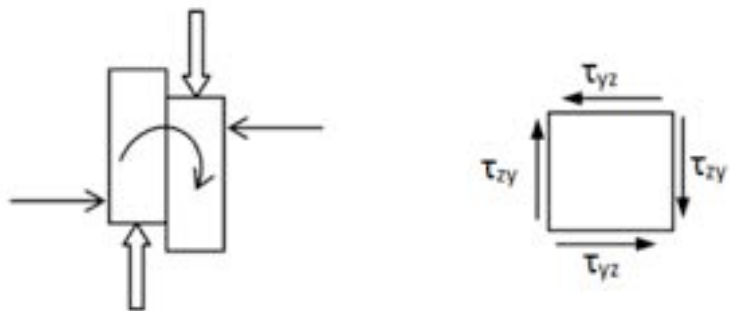
onde  $F$  é a força aplicada,  $S$  a superfície da secção resistente e  $\Delta F$  a diferença de forças na hipótese (c) da figura 17.

$$\tau = \frac{\Delta F \times 2}{S} \quad (4)$$

As tensões de corte têm uma componente na mesma direção das tensões de compressão ou de tração que lhes dão origem, como se pode observar na Figura 3.10 (a), (b) e (c)., mas, por um princípio de equilíbrio, terão outra componente no plano perpendicular, como representado na figura 19.

**Figura 19**

Equilíbrio das tensões de corte em direções perpendiculares.



O corte paralelo, assim como o módulo de corte são propriedades difíceis de quantificar em ensaios experimentais, pelas numerosas interferências que as forças de corte mantêm com outros esforços mecânicos (trações e compressões em planos perpendiculares). Pode dizer-se que um esforço de corte puro é

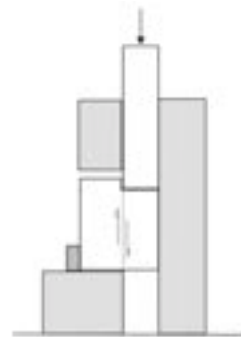
um conceito quase ideal. No caso da madeira, tratando-se, como se tem vindo a afirmar, de um material orientado com grande anisotropia nas suas propriedades, e tendo em conta as fragilidades da madeira relativamente às tensões de tração e de compressão transversais, esta análise e previsão de comportamento real tornam-se bastante complexos.

Algumas normas Europeias e Americanas usam há muitos anos um procedimento de medição da tensão de rotura ao corte paralelo baseado num dispositivo de suporte e gaveta deslizante, que prende uma parte do provete de madeira e permite o deslizamento por corte de uma parte do provete relativamente a outra, figura 20.

O ensaio de corte pelas normas nacionais de alguns países Europeus, nomeadamente NP 618, B.S. 373:1957, e ainda a norma Americana ASTM D 143, usam o acessório metálico do tipo do mostrado na figura 20.

O procedimento anteriormente descrito baseado no chamado “ensaio do bloco de corte” permite determinar a tensão de rotura ao corte, dividindo a força máxima aplicada pela área inicial sujeita ao corte paralelo. Pela razão do corte ser induzido por tensões de compressão numa das meias faces do provete, e por haver criação de tensões transversais (para contrariar a tendência de rotação do provete), torna-se impossível por este método fazer a determinação do módulo de corte.

A norma europeia EN 408:2010 indica um procedimento para a determinação da tensão de rotura ao corte, com base na colagem de duas placas metálicas a duas faces opostas de um provete de madeira, figura 21, e fazendo aplicação das forças através destas peças metálicas que se encarregam de distribuir as tensões



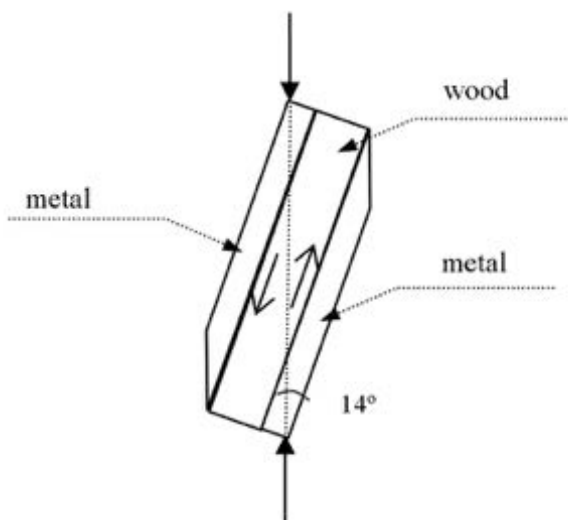
**Figura 20**

Dispositivo para ensaio de corte paralelo para madeira, segundo Normas nacionais de países europeus e pela norma americana.

de corte mais regularmente do que no ensaio com o acessório “bloco de corte”. Embora não elimine as tensões transversais de compressão este procedimento tem em vista claramente eliminar a tendência de rotação do provete e permite a medição do deslocamento e assim chegar ao ângulo de rotação a nível micro.

**Figura 21**

Dispositivo para ensaio de corte paralelo para madeira, segundo a norma Europeia EN 408-2003.



Esta norma Europeia define a determinação da tensão máxima ao corte paralelo através da expressão,

$$\tau_L = \frac{F_{m\acute{a}x} \cdot \cos 14^\circ}{l \cdot b}$$

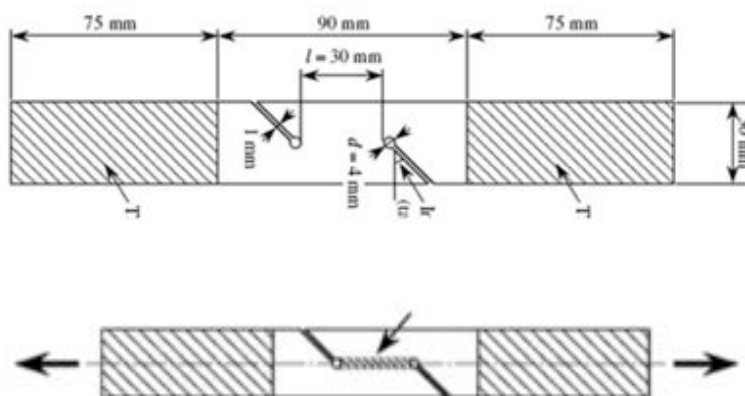
Onde,  $l$  - é o comprimento da secção ao corte;  $b$  - a largura; e  $F_{m\acute{a}x}$  - a força correspondente à rotura.

Embora seja feita a correção da força aplicada pela sua projeção na direção do plano de corte, há uma componente de compressão transversal que eventualmente fará aumentar o valor encontrado por este procedimento experimental, relativamente ao valor real,



devido a uma força de atrito entre as camadas sujeitas ao corte, que aparece somada à força necessária para calcular a tensão efetiva ao corte.

Outros autores tentaram outras soluções para o problema, como é descrito pelos japoneses (Yoshihara e Matsumoto, 2005). Para estes autores a determinação da tensão de corte é feita num provete de pequena secção, com dois furos e dois rasgos simétricos, sendo a força aplicada uma força de tração, figura 22.



**Figura 22**  
Dispositivo para ensaio de corte paralelo para madeira, segundo (Hiroshi Yoshihara e Akira Matsumoto, 2005).

Embora este método seja muito interessante para determinações localizadas da tensão de corte não deixa de conter alguma imprecisão, associada ao facto de na vizinhança dos furos se dar uma concentração de tensões, que faz com que a tensão de rotura ao corte apareça com valores inferiores ao esperado pela teoria geral, pois os cálculos tomam como base uma tensão de tração média na meia secção entre o furo e a superfície, equação (6). A tensão de corte real não é homogénea em toda a secção sujeita a corte, sendo superior na proximidade dos furos, por efeito de deformação axial por tração em cada uma das metades de ligação.

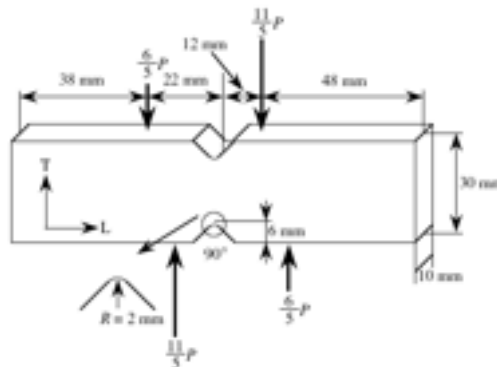
$$t_y = \frac{P}{t \cdot l}$$

onde P é a força aplicada em tração, t a largura do provete e l a distância entre os bordos interiores dos dois furos.

Segundo a opinião de vários autores o método mais rigoroso para determinação das propriedades ao corte e o que mais se aproxima do corte puro é do losipescu, provete da figura 23. Embora também não isento de inconvenientes, nomeadamente o de necessitar um acessório metálico auxiliar que limita a dimensão dos provetes, é um método muito usado, nomeadamente para polímeros artificiais. Vários estudos têm demonstrado a utilidade deste método também para a madeira como [Marcelo, 2004], num estudo sobre o pinho-bravo.

**Figura 23**

Dimensões do provete de losipescu para ensaio de corte paralelo de madeira, [Liu, 1995].



O método seguido para os resultados apresentados neste trabalho é o método que utiliza o aparelho auxiliar mostrado na figura 19, por se tratar de aplicação muito prática e dar resultados relativamente fiáveis. É o método que tem sido mais utilizado nos estudos em Portugal que estão na origem das maiores referências bibliográficas.

Na figura 24 mostra-se um exemplo de dois provetes de incenso depois de submetidos ao ensaio de corte paralelo às fibras.



**Figura 24**

Provetes ensaiados ao corte paralelo às fibras.

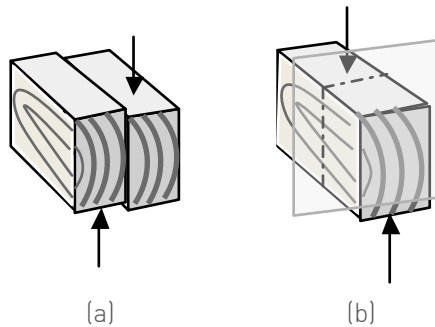
---

## 3.9 CORTE TRANSVERSAL

O corte transversal é o que resulta da ação de uma força numa direção perpendicular à direção das fibras. Geometricamente é possível que o plano de corte seja paralelo ou perpendicular às fibras. No primeiro caso temos forças na direção transversal mas num plano de corte paralelo às fibras, figura 25 (a) é o esforço designado na bibliografia em língua inglesa como “rolling shear”, que neste trabalho designaremos por corte por enrolamento. É uma característica mecânica que, embora não seja das mais problemáticas, pode ser responsável por algumas ocorrências de fraturas. Relativamente à outra hipótese de forças na direção transversal e um plano de corte também transversal, figura 25 (b), temos uma situação em que nunca acontece rotura, porque se atingem outros limites de resistência, nomeadamente a compressão transversal, muito antes da cedência por corte. Em todo o caso, é possível avaliar esta característica tirando partido de provetes de ensaio adaptados, em que é reduzida a área da superfície ao corte, de modo a não se atingirem as tensões limites devidas a outros esforços.

**Figura 25**

Corte transversal. (a) – Paralelo às fibras; (b) – Transversal às fibras.



É muito escassa a informação disponível na bibliografia sobre esta característica mecânica da madeira, incluindo nas normas em vigor para cálculo estrutural.

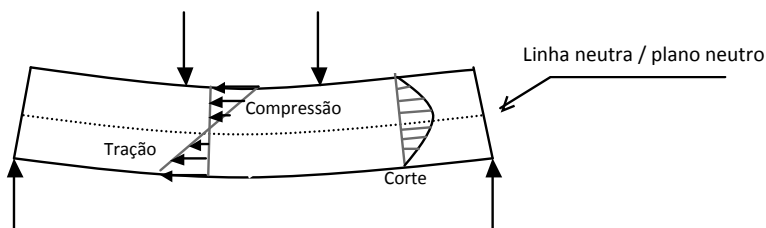
### 3.10 FLEXÃO

A resistência à flexão é uma das características mais exigentes para materiais estruturais, pois as aplicações estruturais em que está presente são as mais diversas, como acontece em coberturas de edifícios, em suportes de pisos, em pontes, embalagens rígidas, entre muitas mais, sempre que se tem de vencer a força da gravidade e obter uma área livre debaixo de apoios pontuais. O paradoxo com que se depara a flexão nas suas mais variadas aplicações é a relação entre as cargas a suportar e o peso próprio do material estrutural, pois os componentes em serviço têm de se suportar a si próprios mais a cargas aplicadas. Neste sentido a análise tem de ser feita procurando a maior capacidade de suporte com menos material ou material mais leve, pois esta relação vai ter importância no peso total sobre a estrutura de apoio e nos respetivos custos. Para uma reflexão tendo em conta os aspetos anteriormente referidos, a madeira tem um papel de eleição, pois é também um dos materiais que apresenta melhor

relação entre capacidade de suportar carga e o seu peso próprio, mesmo em comparação com materiais de engenharia modernos. A madeira, sendo dos materiais estruturais mais antigos para vencer vãos horizontais sobe situações de carga, continua a ser nos dias de hoje um material muito competitivo e eficiente para este tipo de função.

A flexão é um fenómeno complexo, pois tem componentes de quase todos os outros tipos de esforços puros, trações, compressões em diferentes direções, e corte também em diferentes direções. Na prática as flexões aparecem por aplicação de situações de carga muito diversas, como sejam, cargas uniformemente distribuídas, uma ou várias cargas, ou combinações com outros esforços. Em sùmula, a flexão engloba uma grande parte de toda a ciência estrutural.

Da aplicação de cargas exteriores para criar a flexão de um elemento resultam tensões de compressão numa camada acima da linha central (linha neutra) e tensões de tração abaixo da linha central. Estas tensões apresentam, numa fase inicial da flexão, uma distribuição proporcional à distância à linha neutra onde são nulas, figura 26. Além destas existem tensões de corte paralelo que se distribuem com um padrão parabólico, sendo nulas nos extremos e máxima na zona central (linha neutra).

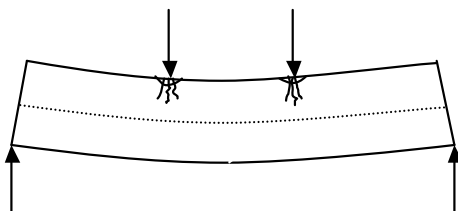


**Figura 26**  
Tensões presentes na flexão.

O progressivo aumento da curvatura por flexão, faz aumentar a zona de esmagamento nos pontos de aplicação da carga, com deformação plástica nas camadas superiores, figura 27, e assim obriga a deslocar para baixo a linha neutra, o que por sua vez origina tensões extremas de tração na camada inferior, e tensões de corte, dando como resultado a cedência catastrófica, que reduz de um instante ao outro a capacidade de contrariar a carga aplicada.

**Figura 27**

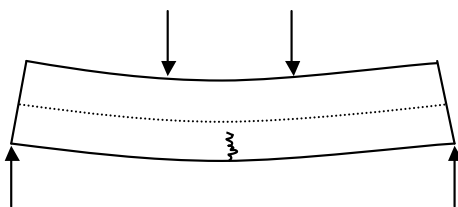
Início de cedência à flexão por esmagamento por compressão das fibras.



O resultado mais visível da rotura no esforço de flexão é a tração paralela às fibras na camada inferior na zona central entre as cargas aplicadas, tal como representado na figura 28. Esta forma de ocorrência da rotura pode ser facilitada por presença na camada inferior de algum ligeiro desvio da direção das fibras, devido à presença ou simples proximidade de um nó, ou ainda por presença de lenho juvenil ou medula (material mais fraco).

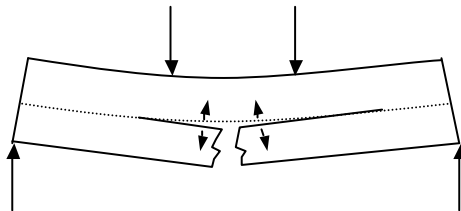
**Figura 28**

Início de falha por tração paralela.



Após a perda de continuidade das fibras, as duas partes da camada inferior tendem a retomar a posição reta por recuperação elástica, o que por sua vez provoca tensões de tração transversal junto da falha por tração, tal como representado na figura 29. Como a madeira é particularmente sensível à tração transversal,

instantaneamente acontece também a falha por tração transversal, ficando a superfície de fratura muito semelhante ao modelo da figura 29. As tensões de tração transversal fazem aumentar a zona de fratura e separação de camadas, por um mecanismo semelhante ao do fendimento.



**Figura 29**

Tensões transversais após falha por tração.

Na figura 30 mostra-se um exemplo real da ocorrência dos comportamentos explicados anteriormente, justificando a complexidade da rotura por flexão no material madeira. Observam-se a cedência por compressão transversal e compressão axial (parte superior), tração axial e tração transversal (camada inferior).



**Figura 30**

Exemplo da complexidade da cedência por flexão num ensaio de flexão de eucalipto, com esmagamento por compressão paralela e finalmente a tração axial e transversal.

## 3.11 MÓDULO DE ELASTICIDADE À FLEXÃO

Entende-se como elasticidade, de um modo lato, a propriedade que os materiais apresentam, em maior ou menor grau, de se deformarem dentro de certos limites, por efeito de uma ação ex-

terior de flexão e recuperarem a sua forma ou dimensões iniciais quando essa ação exterior cessa.

Todos os materiais estruturais, e muito particularmente a madeira, apresentam um certo grau de elasticidade, característica muito vantajosa no que diz respeito ao seu comportamento em serviço, uma vez que, se aproveitada neste sentido, permite uma redistribuição de cargas por todos os elementos de um conjunto estrutural e além disso a própria deformação pode ser um bom indicador do estado de esforço de um componente ou de toda a estrutura.

Sendo uma propriedade importante há necessidade de a quantificar com precisão. Os modelos matemáticos encontrados para outros materiais não respondem com o rigor ao comportamento real da madeira. O parâmetro mais usual para representar a elasticidade é o módulo de elasticidade. O conhecimento quantificado desta característica permite calcular matematicamente qual a deformação esperada para certas condições de solicitação mecânica exterior, utilizando-se conhecimentos gerais da Resistência dos Materiais.

Em resumo, a importância do módulo de elasticidade é fundamental na caracterização de um determinado material, permitindo fazer os cálculos que definem a forma e as dimensões das peças para satisfazer pré-determinadas condições de utilização. Na realidade os limites para a deformação permitida estão antes dos limites da rotura, portanto são aqueles que mais vão condicionar o dimensionamento dos elementos com funções estruturais.

Outro aspeto importante da informação prestada pela determinação experimental do módulo de elasticidade resulta do facto de permitir avaliar o comportamento do material como método não



destrutivo, utilizando-se assim como método de previsão do seu comportamento, ou ainda, como valiosa ferramenta de técnicas de controlo da qualidade. Há uma correlação razoavelmente segura entre o valor do módulo de elasticidade e a tensão de rotura, portanto, se numa avaliação não destrutiva do material como é a determinação do módulo de elasticidade, os valores forem muito inferiores ao esperado, isto dá uma informação muito segura que a rotura também irá aparecer em valores muito mais baixos do que o habitual.

$$\epsilon_0 = \frac{\Delta l}{l_0} \quad E = \frac{\sigma}{\epsilon_0} \quad (7)$$

Teoricamente o módulo de elasticidade; define-se como a relação entre a tensão e a deformação unitária ( $\Delta l/l_0$ ) que lhe corresponde, dentro da chamada zona de proporcionalidade.

$\epsilon_0$  - deformação unitária;  $\Delta l$  - variação de dimensão;  $l_0$  - dimensão inicial;  $E$  - módulo de elasticidade;  $\sigma$  - tensão imposta;).

A utilidade prática mostra-se assim evidente, pois o módulo de elasticidade é uma constante do material que vai permitir fazer cálculos relacionando os esforços aplicados com a deformação correspondente.

O módulo de elasticidade pode ser medido em relação a vários tipos de esforços, compressão, tração, flexão, torção, em diferentes direções para materiais orientados como a madeira, com valores não necessariamente iguais para cada caso. O mais usual é o módulo de elasticidade à flexão, pois é o que tem um efeito mais visível e importante no comportamento de uma peça estrutural em madeira. A madeira apresenta um comportamento elástico quase perfeito até tensões relativamente elevadas, desde que o tempo de atuação seja curto, pois caso contrário começa a

revelar-se um outro fenómeno que é o do comportamento visco-elástico, ao que se segue ainda o comportamento visco-plástico.

Na teoria geral da resistência de materiais o módulo de elasticidade à flexão, num elemento de seção retangular, entre dois apoios nos extremos e com uma carga aplicada a meio vão é dado pela equação,

$$E = \frac{F \cdot L^3}{4 \cdot f \cdot b \cdot h^3} \quad (8)$$

E – módulo aparente de elasticidade; F – força aplicada a meio vão; L – distância entre apoios;  
f – flecha de deformação por flexão a meio vão; b – largura da seção; h – altura da seção.

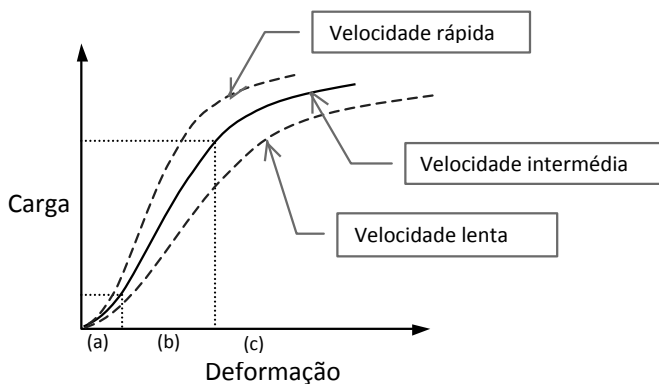
A avaliação do módulo de elasticidade determinado para uma dada espécie de madeira, em condições bem determinadas (presença de defeitos, humidade, massa volúmica, etc.,) passa a representar uma referência que pode ser usada para prever a presença, mesmo que oculta, de algumas anomalias.

### 3.11.1 TEORIA GERAL PARA O CÁLCULO DO MÓDULO DE ELASTICIDADE EM FLEXÃO

Embora o ensaio prático de flexão seja relativamente simples de realizar, já a explicação e a compreensão do que se passa realmente dentro do material é bastante complexo, pois uma simples flexão cria um estado tridimensional de tensões, distribuídas por zonas, umas predominantemente em compressão, outras em tração e ainda zonas sujeitas predominantemente a tensões de corte.

O módulo de elasticidade à flexão é determinado pelo ensaio de flexão estática (assim chamado por ser realizado com pequenos acréscimos de carga). Registam-se ao longo do ensaio, em in-

tervalos pequenos, os pares de valores correspondentes à carga aplicada e correspondente flecha. Uma representação gráfica para a madeira e derivados, apresenta no caso mais geral, a configuração da figura 31.



**Figura 31**

Curva típica da relação carga/deformação, num ensaio de flexão estática em madeira ou derivados de madeira.

No início da deformação, zona (a) da figura, existe uma relação de não proporcionalidade entre a carga e a deformação correspondente. Na zona (b) a linha é praticamente reta, o que significa que para iguais acréscimos de carga resultam iguais acréscimos de deformação, existindo proporcionalidade entre as duas variáveis. Na zona (c) foi já ultrapassado o limite de proporcionalidade e acontece um acréscimo de deformação cada vez maior e não proporcional ao aumento de carga.

A explicação mais provável para o comportamento na zona (a) é, por um lado, a falta de contacto contínuo entre as superfícies da madeira e a dos acessórios de carregamento, devidas à rugosidade da madeira ou imperfeições da superfície, ou ainda a tensões internas da madeira de sinal contrário ao das forças de ensaio. O início de contacto em superfície de menor área provoca tensões locais muito elevadas que levam ao esmagamento desses pontos mais salientes e ao desempenho dos elementos, até se

atingir uma zona de equilíbrio e uniforme distribuição de tensões, correspondendo à zona proporcional de deformação.

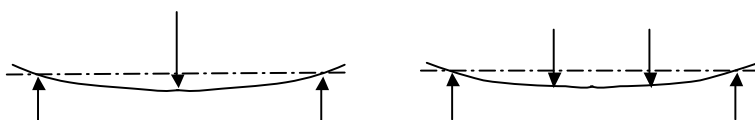
### 3.11.2 DISCUSSÃO SOBRE A APLICAÇÃO DE UMA OU DUAS CARGAS DE FLEXÃO

O ensaio para avaliação do módulo de elasticidade pode ser basicamente efetuado por flexão pelo método baseado na aplicação de uma carga central, ou então no método com dois pontos de carga entre os apoios, figura 32. Na norma B.S.373 esta discussão é feita nos seguintes moldes: para caracterização comparativa de diferentes espécies de madeira, ou com outros materiais, o método da aplicação da força central é suficientemente preciso, sendo de mais fácil execução e cálculo. Quando for necessário uma maior aproximação às condições reais torna-se recomendável ir para o método baseado na aplicação de duas cargas centrais. Neste último método, a zona entre as duas cargas está submetida a um momento fletor constante (flexão pura sem esforço transversal), e também a zona em estudo é mais representativa do conjunto da peça no caso de materiais com heterogeneidades e defeitos, como é o da madeira.

Na norma ASTM D 143 esta discussão também é levantada, optando-se por designar o módulo de elasticidade determinado por apenas um ponto de carga central como o módulo aparente de elasticidade, abreviadamente representado por MOE.

**Figura 32**

Esquema do ensaio de flexão para determinação do módulo de elasticidade. (a) flexão a três pontos; (b) flexão a quatro pontos.



### 3.11.3 NORMAS MAIS USUAIS PARA DETERMINAÇÃO EXPERIMENTAL DO MÓDULO DE ELASTICIDADE À FLEXÃO

Nesta discussão vai ser também considerada uma norma específica para materiais derivados da madeira, na convicção de que haverá a maior vantagem em harmonizar dentro do possível as normas para madeira maciça e seus derivados (contraplacados, aglomerados de partículas e fibras), de modo a poderem comparar-se os resultados e caracterizar materiais estruturais dentro de um mesmo critério.

#### ASTM D 143

O módulo aparente de elasticidade, MOE, como definido nas normas ASTM D143, vem dado pela expressão seguinte, tendo como referência a figura 32.

$$MOE = \frac{P_{ip} \cdot L^3}{4 \cdot b \cdot h^3 \cdot \Delta_{ip}} \quad [9]$$

MOE - módulo aparente de elasticidade [lb./sq.in.] ; [N/mm<sup>2</sup>]

P<sub>ip</sub> - carga aplicada correspondente ao limite de proporcionalidade [lbf]; [N]

L - distância entre os apoios [in]; [mm]

b - largura do provete em ensaio [in]; [mm]

h - espessura do provete em ensaio [in]; [mm]

Δ<sub>ip</sub> - flecha no limite de proporcionalidade, medida no plano neutro [in]; [mm]

As dimensões dos provetes são de 2x2x30 in.<sup>3</sup>, seja 50x50x760 mm<sup>3</sup>, ou em alternativa, quando não seja possível obter desta dimensão: 1x1x16 in.<sup>3</sup>, seja 25x25x410 mm<sup>3</sup>.

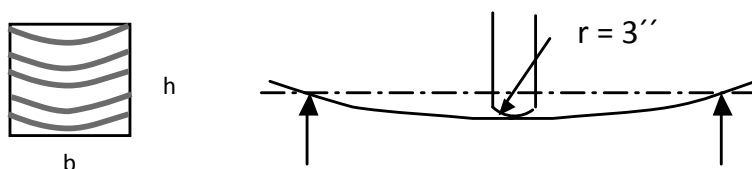
A dificuldade deste método pode nalguns casos encontrar-se na definição exata do ponto correspondente ao limite de proporcio-

nalidade, concretamente se houver irregularidade da curva de carga / deformação, mesmo que pequena, ou se a passagem da zona reta para a zona curva propriamente dita for muito gradual. A velocidade de ensaio é definida como 0,10 in./min ou seja 2,5 mm/min, sendo os intervalos de medição da flecha de 2,5 mm, medidos com uma precisão não inferior a 0,2 mm.

Distância entre apoios deve ser  $L=710$  mm para os provetes de maior secção, e  $L=360$  mm para os de menor secção, mantendo-se a relação de 14 vezes a espessura do provete.

**Figura 33**

Esquema do ensaio de flexão pela norma ASTM D 143.



Para os provetes de secção  $25 \times 25$  mm<sup>2</sup> o raio de curvatura do aplicador de carga passa a ser  $1\frac{1}{2}$  (38 mm), figura 33.

Carga uniformemente distribuída: A expressão que relaciona o módulo de elasticidade com a flecha total na situação de carga uniformemente distribuída ao longo de todo comprimento entre apoios extremos, é dada por,

$$E = \frac{5 \cdot P_p \cdot L^3}{384 \cdot f_p \cdot I} \quad (10)$$

Para o mais habitual perfil retangular da secção transversal a expressão anterior simplifica-se para,

$$E = \frac{5 \cdot P_p \cdot L^3}{32 \cdot f_p \cdot b \cdot h^3} \quad (11)$$

sendo,

$P_{ip}$  – valor total da carga uniformemente distribuída no limite de proporcionalidade [N]

$f_{ip}$  – a flecha de deformação total no limite de proporcionalidade [m]

$L$  – vão total entre apoios [m]

$b$  – largura da secção [m]

$h$  – altura da secção [m]

$I$  –  $(bh^3/12)$ , momento de inércia [m<sup>4</sup>]

### B.S. 373:1957

Esta norma Britânica destina-se exclusivamente a madeira maciça em provetes de pequenas dimensões e sem defeitos. Prevê dois métodos para a realização do ensaio de flexão:

- o “método a”, baseado na aplicação da carga num único ponto; e o “método b”, definindo o ensaio para a aplicação da carga em dois pontos.

### B.S.373 “Método a”

Neste método a configuração do ensaio é semelhante à que se encontra esquematizada na figura 33, sendo os parâmetros definidos como se segue:

$$E_f = \frac{P' \cdot L^3}{4 \cdot b \cdot h^3 \cdot \Delta^2} \quad (12)$$

$E$  – módulo de elasticidade [lb/sq.in.] ; [N/mm<sup>2</sup>]

$P'$  – carga aplicada correspondente ao limite de proporcionalidade [lbf]; [N]

$L$  – distância entre os apoios [in]; [mm]

$b$  – largura do provete em ensaio [in]; [mm]

$h$  – espessura do provete em ensaio [in]; [mm]

$\Delta$  – flecha no limite de proporcionalidade [in]; [mm]

As dimensões dos provetes são de 2x2x30 in.<sup>3</sup>, 50 x 50 x 760 mm<sup>3</sup>. É também dada a hipótese de um provete de menor secção e dimensões em centímetros 2x2x30 cm<sup>3</sup>. A velocidade de ensaio recomendada para o primeiro provete referido é de 0,1 in/min (2,5 mm/min), enquanto que para o provete mais estreito é de 0,26 in./min (6 mm/min). A distância entre apoios é igual a 28 in. para os provetes de 2 in. de espessura e de 28 cm para os de 2 cm, mantendo-se sempre constante a relação de distância entre apoios igual a 14 vezes a espessura.

Este método é muito semelhante ao definido na norma ASTM, com a diferença no raio do aplicador de carga superior, que é aqui ligeiramente menor (r=30mm).

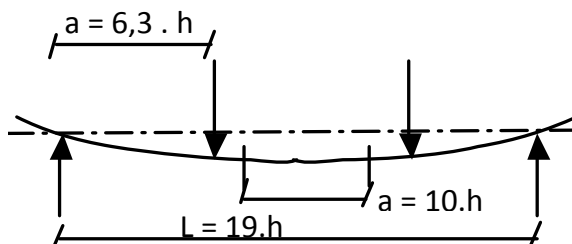
O ponto sensível deste método, tal como o da norma ASTM, é o da escolha exata do limite de proporcionalidade.

#### B.S.373 "Método b"

Este segundo método define a determinação do módulo de elasticidade em flexão com aplicação de duas cargas superiormente, como esquematizado na figura 34.

**Figura 34**

"Método b" da norma B.S.373 para determinação do módulo de elasticidade à flexão.



A expressão de cálculo para o "método b" é a seguinte:

$$E = \frac{3 P' a L^2}{4 \Delta' b h^3} \quad (13)$$



E - módulo de elasticidade [lb/sq.in.] ; [N/mm<sup>2</sup>]

P' - carga aplicada correspondente ao limite de proporcionalidade [lbf]; [N]

a - distância entre apoios e os pontos de carga [in]; [mm]

L - distância entre pontos base para medição da flecha [in]; [mm]

$\Delta'$  - flecha no limite de proporcionalidade na zona indicada na figura [in]; [mm]

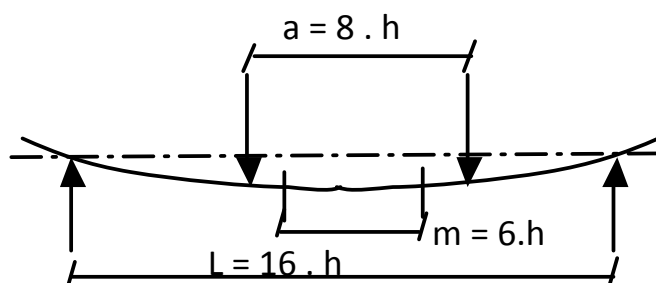
b - largura do provete em ensaio [in]; [mm]

h - espessura do provete em ensaio [in]; [mm]

sendo as dimensões dos provetes 2x2 in.<sup>2</sup>, ou 50x50 mm<sup>2</sup>. A distância entre apoios inferiores é de 38 in., que corresponde a 19 vezes a espessura dos provetes. A consideração dos valores de carga e deformação para cálculo, são entre o zero e o limite de proporcionalidade.

### NF B 51-016

Esta norma francesa destina-se, tal como a B.S. à determinação do módulo de elasticidade em provetes de pequenas dimensões sem defeitos, Figura 35.



**Figura 35**

Montagem para ensaio de determinação do módulo de elasticidade à flexão pela norma NF B 51-016.

$$E_{1,21} = \frac{3P(L-a)m^2}{8bh^3f} \quad (14)$$

ELV - módulo de elasticidade [N/mm<sup>2</sup>]

P - carga total de flexão, igual à média das diferenças entre as cargas máxima P<sub>1</sub> e mínima P<sub>2</sub>, aplicadas ao fim de três ciclos [N]

L - distância entre os suportes de apoio do provete [mm]

a - distância entre os dois pontos de carga [mm]

m - distância entre os pontos de apoio do sistema de medição da flecha [mm]

b - largura do provete em ensaio [mm]

h - espessura do provete em ensaio [mm]

f - flecha na zona de flexão pura, igual à média das diferenças entre as flechas máxima f<sub>1</sub> e mínima f<sub>2</sub>, ao fim dos três ciclos [mm].

sendo o raio de curvatura dos cutelos de aplicação de carga e apoios  $r = 30$  mm, e a dimensão dos provetes  $20 \times 20 \times 360$  mm<sup>3</sup>. A distância entre apoios é de 320 mm, seja 16 vezes a espessura dos provetes. A velocidade de ensaio de modo a atingir a carga de 600 N, aplicada em cerca de 30 s.

Procedimento de ensaio:

Efetua-se um ensaio preliminar para verificar se no intervalo das cargas a aplicar ( $P_1=600$ N e  $P_2=200$ N) a curva "carga-deformação" é ou não linear. Caso não seja, corrigir aqueles valores para as condições convenientes e utilizá-los nos ensaios.

Aplica-se a carga  $P_1=600$ N a velocidade constante e depois diminui-se até ao valor  $P_2=200$ N; repetir duas vezes este ciclo. Registam-se as flechas máxima e mínima f<sub>1</sub> e f<sub>2</sub> nos pontos de carga P<sub>1</sub> e P<sub>2</sub> correspondentes e ao fim de cada ciclo.

### ISO 3349

Esta norma tem por objetivo a determinação do valor do módulo

de elasticidade em flexão estática para madeira. Baseia-se no princípio da avaliação da deformação em função da carga aplicada na zona de flexão pura, seja, pelo esquema com duas cargas superiores representado na figura 35.

Há ainda duas hipóteses a considerar que se prendem com a distância entre as duas cargas superiores, podendo ser de 1/3 da distância entre apoios ou de 1/2 desta distância.

As expressões matemáticas de cálculo em função da distância das cargas superiores são as seguintes:

$$E_w = \frac{PL^3}{36bh^3f} \quad (\text{apoios a } L/3) \quad [15]$$

$$E_w = \frac{3PL^3}{64bh^3f} \quad (\text{apoios a } L/2) \quad [16]$$

sendo,

$E_w$  - módulo de elasticidade em [Giga Pascal; GPa]

P - valor em Newton, igual à diferença entre as médias aritméticas dos limites superiores e inferiores de carga aplicada,

L - distância entre os apoios [cm],

b, h - largura e altura da secção do provete [mm],

f - valor da flecha na zona de flexão pura e igual à diferença das médias aritméticas resultantes das cargas superiores e inferiores em [milímetros; mm].

A distância entre apoios é de 240 a 320 mm, ou seja, 12 a 16 vezes a espessura dos provetes, o raio de curvatura dos cutelos de aplicação de carga e apoios deverá ser  $r = 30$  mm, e a dimensão dos provetes  $20 \times 20 \times 300$  a  $380$  mm<sup>3</sup>. A velocidade de ensaio deve ser de modo a atingir a carga de 18 MPa em cerca de 30 s.

As cargas superiores e inferiores correspondem aos extremos da zona retilínea do gráfico “carga - deformação”. Estes valores são atingidos sucessivamente quatro vezes, verificando-se se se mantém a proporcionalidade, registando todos os valores.

### Norma Europeia EN 408:2010

A norma Europeia EN 408:2010 faz uma abordagem prática sobre os principais procedimentos laboratoriais que permitem realizar ensaios de caracterização física e mecânica da madeira e lamelados colados de madeira, com vista à utilização dos dados obtidos em cálculo estrutural. Na introdução desta norma é referido expressamente que, por motivo da complexidade estrutural interna da madeira, muitas das características são de algum modo influenciadas pelo método de ensaio utilizado. Daqui a necessidade de compreender os diferentes procedimentos e procurar formas e dimensões de provetes que melhor traduzam o real comportamento da madeira.

Nesta norma é patente a tendência para evitar definir as dimensões dos provetes de ensaio, optando-se sim por definir relações entre dimensões e relações entre as dimensões e as montagens de ensaio (por exemplo, as distâncias entre apoios dependentes da espessura, e outras). Deste modo deixa-se mais liberdade para estudos de caracterização da madeira, desde as pequenas dimensões com madeira sem defeitos, até componentes de dimensão estrutural real.

Também nesta norma são dadas várias possibilidades de ensaio para a mesma característica como é o caso da flexão estática. São dadas possibilidades de ensaio e três e a quatro pontos e ainda diferentes possibilidades de medição da flecha de deformação, tendo em conta ao compromisso entre o rigor científico e a realização prática dos ensaios em laboratório e os meios mais usuais de medição de dimensões lineares.

O módulo de elasticidade local é definido como um ensaio de flexão a quatro pontos, com uma distância entre apoios de 18 vezes a espessura do provete, a distância entre as duas cargas aplicadas de 6 vezes a espessura e a distância de referência para medição da flecha 5 vezes a espessura, numa zona centrada em relação à montagem de ensaio. A velocidade de aplicação da carga não deve exceder as 0,003 vezes a espessura do provete em cada segundo. A força máxima não deve exceder os 40% da carga máxima prevista em ensaios preliminares de 10 provetes de características semelhantes. O módulo de elasticidade local é calculado pela expressão,

$$E_{m,l} = \frac{a l_1^2 (F_2 - F_1)}{16 l (w_2 - w_1)} \quad [17]$$

sendo,  $a$  a distância entre o apoio e carga do mesmo lado de simetria,  $l_1$  a distância de referência para avaliação da flecha,  $F_2$  e  $F_1$  as forças aplicadas correspondentes a 40 % e 10 % da carga máxima prevista, e  $w_2$  e  $w_1$  as flechas correspondentes.

Neste método de cálculo o módulo de elasticidade tem um bom suporte teórico, pois a avaliação da flecha faz-se exclusivamente na zona de momento fletor puro, onde a deformada é um arco de circunferência e longe da influência de outros esforços. No entanto, a realização prática dos ensaios em provetes de pequenas dimensões (por exemplo, até cerca de 30 mm de espessura), depara-se com uma dificuldade acrescida na medição da flecha, por ser uma distância muito curta devido ao comprimento do arco ser também reduzido, mas acresce ainda a dificuldade de o ponto base de medição se deslocar com o próprio provete.

Outra forma de calcular o módulo de elasticidade à flexão, segundo a norma EN 408:2010 é o módulo de elasticidade global à flexão, que tem por base uma flexão a 4 pontos, e em que as

bases de referência para avaliação da flecha de deformação são os pontos de apoio fixos do provete e a flecha máxima a meio vão. Além da flecha aparecer ampliada em relação à medida para o módulo de elasticidade local, o medidor de deformação pode estar fixo no mesmo conjunto dos apoios.

A expressão definida na norma para cálculo do módulo de elasticidade global à flexão é o seguinte:

$$E_{m,g} = \frac{l^3 (F_2 - F_1)}{bh^3 (w_2 - w_1)} \left[ \left( \frac{3a}{4l} \right) - \left( \frac{a}{l} \right)^3 \right] \quad (18)$$

onde  $E_{m,g}$  é o módulo global de elasticidade,  $b$  e  $h$  as dimensões da secção,  $l$  a distância entre apoios,  $a$  a distância entre o apoio e a carga de um dos lados do provete e  $F_2$  e  $F_1$  as forças aplicadas, e  $w_2$  e  $w_1$  as flechas correspondentes

A flecha de deformação é medida entre o ponto central de maior deslocamento e os apoios fixos;  $l$  – distância entre apoios; e  $w_2 - w_1$  a diferença de flecha entre o ponto 2 e o ponto 1.

Ainda na norma EN 408:2010 define-se o módulo de elasticidade aparente à flexão, que consiste no ensaio a 3 pontos, sendo calculado pela expressão (19) semelhante a uma já anteriormente referida (8),

$$E_{m,app} = \frac{l_1^3 (F_2 - F_1)}{4 b h^3 (w_2 - w_1)} \quad (19)$$

onde,  $l_1$  é a distancia entre apoios,  $F_2$  e  $F_1$  a força em dois pontos da zona de proporcionalidade, aplicada a meio vão, e  $w_2$  e  $w_1$  as respetiva flechas de deformação, medida no ponto de aplicação da carga. A flecha é a flecha total e  $l_1$  a distância entre os apoios  $a = l_1 = L/2$ .

---

## 3.12 COEFICIENTE DE POISSON

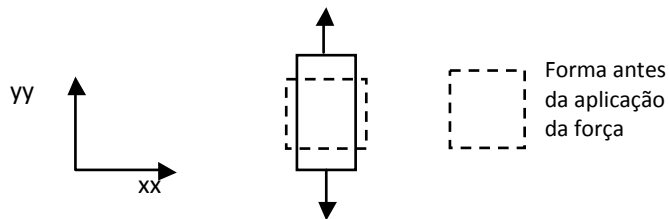
No estudo da teoria da elasticidade constata-se no comportamento dos materiais que, ao se deformarem elasticamente, tendem a manter o seu volume. Neste sentido, a uma expansão no sentido da tração segundo um eixo, corresponde a uma contração de dimensão linear pelo menos numa das direções que lhe são perpendiculares, mesmo não tendo havido nenhuma tensão aplicada nesta direção. Para materiais com elasticidade linear, homogêneos e isotrópicos, esta relação entre a expansão numa direção e as contrações relativas em direções perpendiculares é uma constante do material atribuída ao “efeito de Poisson”. O significado físico deste comportamento diz-nos que a maioria dos materiais resistem mais à variação de volume do que à variação de forma. Este facto compreende-se pelo raciocínio da menor energia, pois em geral a energia para variar o volume é superior à energia para mudar de forma. Assim, nas condições simplificadas da lei de Hooke generalizada para materiais homogêneos e isotrópicos, temos esta constante elástica coeficiente de Poisson que se define matematicamente por,

$$\nu_{xy} = - \frac{\epsilon_{xx}}{\epsilon_{yy}} \quad [20]$$

sendo  $\epsilon_{xx}$  a deformação unitária na direção perpendicular à da aplicação da carga, e  $\epsilon_{yy}$  a deformação unitária na direção da aplicação da carga. A explicação gráfica é a apresentada na figura 36.

**Figura 36**

Esquema da deformação correspondente ao coeficiente de Poisson.



Esta característica elástica é fundamental para definir modelos através de métodos de cálculo computacional, entre outros nomeadamente pelo método dos elementos finitos, pelo que são determinados experimentalmente para diversos materiais.

Embora o significado físico indique que para a maioria dos materiais uma expansão numa direção corresponde a uma diminuição de dimensão nas direções transversais, para estes materiais o coeficiente de Poisson é dado com um valor positivo, pela razão da sua definição incluir o produto pela constante (-1). Segundo (Lakes, 1993) os materiais com coeficiente de Poisson negativo são aqueles em que se dá uma expansão transversal ao mesmo tempo de uma expansão longitudinal por efeito de uma força também longitudinal. Estes materiais pelo seu comportamento não convencional tomam designações de “anti-borracha” ou materiais “auxéticos”. Este comportamento aparentemente estranho deve-se a um arranjo muito particular da sua estrutura, com ligações em forma de favo com interiores vazios (espumas), o que de certo modo acontece também com as madeiras, que apresentam notórias perturbações relativamente a esta propriedade.

Deduções encontradas na bibliografia (Beer, 1962) permitem definir relações matemáticas que respondem à determinação da deformação numa direção quando um elemento é sujeito a um estado de tensão tridimensional ( $\sigma_{xx}$ ,  $\sigma_{yy}$ ,  $\sigma_{zz}$ ,  $\tau_{xy}$ ,  $\tau_{xz}$ ,  $\tau_{yz}$ ), como sendo,



$$\epsilon_{xx} = \frac{\sigma_{xx}}{E} - \frac{\nu}{E}(\sigma_{yy} + \sigma_{zz}) \quad (21)$$

e expressões correspondentes para as outras direções.

Teoricamente seria possível considerar a existência de coeficientes de Poisson em diferentes combinações de alinhamentos direcionais, tal como apresentado na matriz,

$$\begin{pmatrix} \nu_{xx} & \nu_{xy} & \nu_{xz} \\ \nu_{yx} & \nu_{yy} & \nu_{yz} \\ \nu_{zx} & \nu_{zy} & \nu_{zz} \end{pmatrix} \quad (22)$$

Algumas das possibilidades apresentadas na matriz são simplificadas por terem valores fixos ( $\nu_{xx}=1$ ;  $\nu_{yy}=1$ ;  $\nu_{zz}=1$ ), restando assim seis possibilidades. No caso de materiais isotrópicos e por via de várias simplificações, acaba por se chegar a um único valor do coeficiente de Poisson para caracterizar o material, mesmo que solicitado a diferentes direções ortogonais de aplicação de tensões uniaxiais.

Para os materiais ortotrópicos, como é o exemplo da madeira, das seis possibilidades apresentadas admite-se por razões de simetria as seguintes simplificações,

$$\begin{aligned} \nu_{xy} &= \nu_{yx} \\ \nu_{xz} &= \nu_{zx} \\ \nu_{yz} &= \nu_{zy} \end{aligned} \quad (23)$$

ficando um número mínimo de três os valores do Coeficiente de Poisson que é necessário considerar, e determinar experimentalmente, para caracterização destes materiais pelas leis da mecânica dos materiais.

No Quadro II apresentam-se os valores de referência dos Coeficientes de Poisson para alguns materiais mais conhecidos e no Quadro III para algumas espécies de madeira.

#### Quadro II

Valores indicativos do Coeficiente de Poisson de alguns materiais. (Fonte: confirmado em diferentes tabelas técnicas).

Material	Sem unidades
Limite máximo para os materiais isotrópicos	0,50
Borracha	0,48
Ferro	0,29
Aço inox	0,30
Cobre	0,37
Alumínio	0,35
Vidro	0,24
Cortiça natural	≈ 0
Limite mínimo para materiais isotrópicos	- 1

Como definido nos modelos matemáticos, o coeficiente de Poisson só pode ter valores entre [-1] e [1/2].

#### Quadro III

Valores indicativos do Coeficiente de Poisson de algumas espécies de madeiras americanas, a 12 % teor de água (David W. Green, 1999).

Espécie	vLR	vLT	vTR
Carvalho branco	0,37	0,43	0,62
Mogno africano	0,30	0,64	0,60
Pinho Ponderosa	0,34	0,40	0,43
Espruce de Sitka	0,37	0,47	0,44

O conhecimento do coeficiente de Poisson permite assim determinar a variação dimensional transversal num material isotrópico submetido a uma carga axial pela relação,

$$\epsilon_y = \epsilon_z = -\frac{\nu \sigma_x}{E} \quad (24)$$

O facto do coeficiente de Poisson da cortiça ser perto de zero torna-a ideal para a sua maior utilização que é como vedante no gargalo de uma garrafa, pois no momento da aplicação é comprimida axialmente mas não expande lateralmente o que facilita a introdução no gargalo. Se se tratasse de uma borracha com um valor de coeficiente de Poisson perto de 0,48 o engrossamento dificultava imenso ou impedia a introdução, pois à medida que se aumentasse a força para colocar na garrafa, maior seria a expansão lateral e consequentemente maior o atrito. Na madeira, o coeficiente de Poisson é uma característica difícil de determinar, por ser um material acentuadamente ortotrópico e orientado.

Os valores de comportamento mecânico relativo ao efeito de Poisson podem ser manipulados em materiais construídos, através da introdução de alvéolos, fibras, ninhos de abelha, espumas, bi-materiais, entre outros.

Quando um provete de madeira é solicitado mecanicamente numa dada direção, dá-se inevitavelmente uma deformação nessa mesma direção, proporcional ou não, dependendo da intensidade da tensão aplicada e da própria característica da espécie de madeira. Neste mesmo raciocínio o que acontece às dimensões do corpo sólido solicitado, na direção ou direções perpendiculares à da força aplicada? Há três hipóteses, ou a dimensão transversal não se altera, ou se altera para maior dimensão, ou se altera para menor dimensão. Na madeira acontece realmente que as dimensões transversais se alteram, mas diferentemente em diferentes direções transversais.

## 3.13 MÓDULO DE CORTE

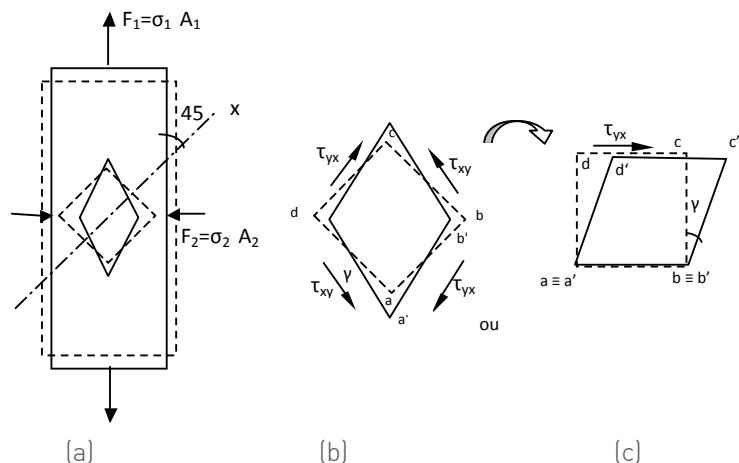
### 3.13.1 ANÁLISE NO PLANO

Considere-se que num corpo à tração se pretende analisar a distribuição local de tensões numa figura elementar infinitesimal, constituída por um pequeno quadrado (representativo do ponto), constituída por um pequeno quadrado (representativo do ponto), com os seus lados orientados a  $45^\circ$  relativamente à direção da força de tração, conforme representado na figura 37 (a).

Por definição o tensor de tensões de qualquer ponto de uma peça pode ser obtido através do círculo de Mohr, Figura 3.39. Segundo o diagrama de equivalência entre as tensões de tração / compressão e as tensões de corte (círculo de Mohr), temos a deformação do quadrado representado na Figura 3.40 (b).

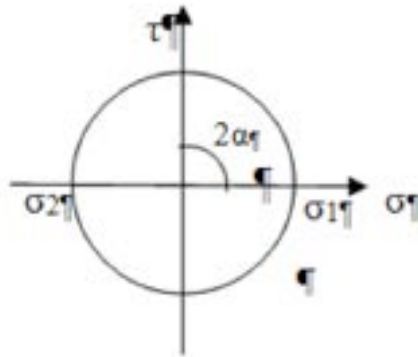
**Figura 37**

Representação da equivalência de tensões e deformações de um ponto: (a) forças sobre o elemento; (b) deformação e tensões de corte equivalentes; (c) reorientação do elemento com as tensões de corte.



Sendo a peça elementar sujeita a um esforço de tração  $F_1$  e de compressão  $F_2$ , nas superfícies  $A_1$  e  $A_2$ , de tal modo que  $\sigma_1 = \sigma_2$ , temos a situação do estado de tensão representada no círculo de Mohr da figura 38. Este auxiliar da mecânica dos materiais

permite visualizar e calcular a “troca” de tensões (tração, compressão e corte) em função do ângulo na análise que esteja a ser estudada.



**Figura 38**

Representação das tensões pelo círculo de Mohr.

Tendo em conta a situação de partida anteriormente referida, se considerarmos uma rotação de eixos da figura 37 num ângulo de  $\alpha = 45^\circ$ , resulta pela equivalência definida pelo círculo de Mohr, que as tensões normais,

$$\sigma_x = \sigma_y = 0 \quad [25]$$

e as tensões de corte atingem o seu valor máximo,

$$\tau_{xy} = \tau_{yx} = \tau_{\text{máx}}. \quad [26]$$

Se o material em estudo obedece à lei de Hooke (no domínio elástico) então haverá uma relação direta entre a intensidade da tensão de corte  $\tau_{yx}$  e a deformação angular  $\gamma$  ( $\tau_{yx}$  daqui em diante representada apenas por  $\tau$ ), o chamado módulo de corte, representado matematicamente pela expressão,

$$\tau = \gamma \cdot G \quad [27]$$

O módulo de corte representa fisicamente a rigidez à deformação angular e à torção. Exemplos de valores do módulo de corte para materiais isotrópicos no Quadro IV.

**Quadro IV**

Módulos de corte de alguns materiais isotrópicos.

Material	MPa
Borracha	0,30
Aço	79 300
Cobre	63 400
Alumínio	25 500
Vidro	26 200

Na realidade, para materiais isotrópicos o módulo de corte é definido como a relação entre a tensão pura de corte e a deformação unitária de corte, o que segundo alguns autores vem representado por,

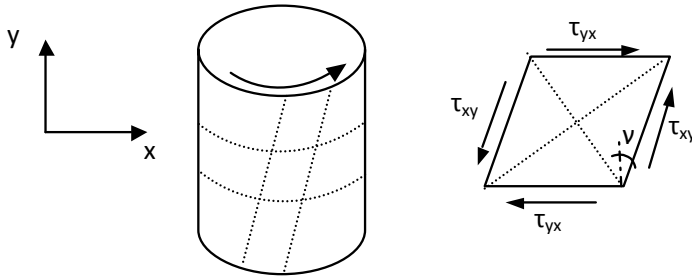
$$G = \frac{\tau_{xy}}{\epsilon_{xy} + \epsilon_{yx}} = \frac{\tau_{xy}}{2 \cdot \epsilon_{xy}} \quad [28]$$

mas, tendo em conta as simplificações, vem dar na mesma expressão muito útil para o cálculo matemático do comportamento mecânico da madeira,

$$G = \frac{E}{2 \cdot (1 + \nu)} \quad [29]$$

Do ponto de vista físico a forma mais evidente da presença do módulo de corte é num cilindro sujeito a um momento de torção centrado no mesmo eixo do cilindro, aparecendo o módulo de corte como a “elasticidade” à deformação angular, seguindo a lei de Hooke, (equação 30), correspondendo ao modelo da figura 39.

$$\tau_{xy} = \gamma \cdot G \quad [30]$$



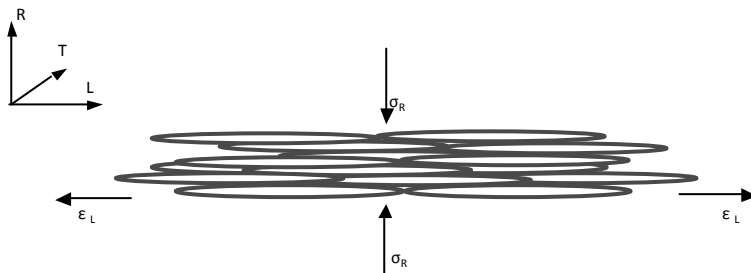
**Figura 39**

Condição ideal de criação de tensão de corte puro à superfície de um cilindro em torção.

Esta constante dos materiais, representada por  $(G)$ , está presente em outras sollicitações, nomeadamente sempre que estejam presentes tensões de corte, em qualquer direção que estas apareçam.

### 3.13.2 SIGNIFICADO FÍSICO DO MÓDULO DE CORTE PARA A MADEIRA

No caso particular da madeira, muitas das simplificações usadas para obter as equações anteriormente apresentadas, nomeadamente a expressão (30), não são possíveis. Temos de ter em conta que a madeira é um material orientado, acentuadamente ortotrópico, e constituído por uma organização interna baseada num arranjo estrutural em tubos justapostos. Para melhor compreender a influência que o arranjo geométrico tem no comportamento físico e mecânico recorreremos ao modelo da figura 40.



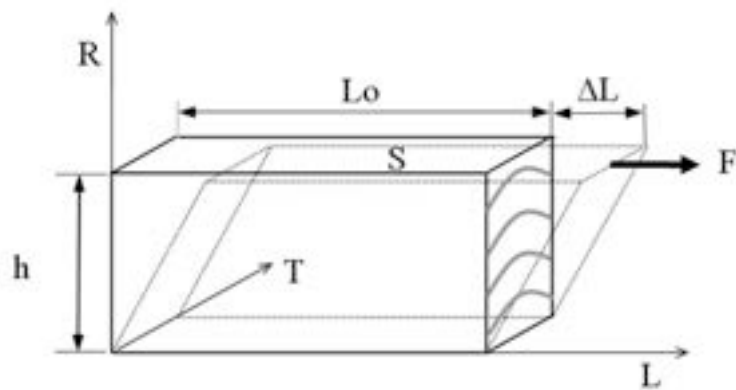
**Figura 40**

Relação entre a deformação por compressão transversal e a extensão longitudinal.

O facto de ter células ocas orientadas no sentido longitudinal faz com que uma compressão transversal tenha uma muito fraca resposta na expansão longitudinal, mas caso se tratasse de compressão longitudinal a expansão numa das direções, tangencial ou radial, seria enorme. Não existe simetria de comportamentos. Partindo da definição teórica explorada anteriormente e aplicando a um modelo real em madeira, teremos que o módulo de corte tem um significado físico associado a uma deformação angular da geometria do provete, tal como representado na figura 41 quando este é solicitado por duas forças de sinal contrário, mas não alinhadas, F1 e F2.

**Figura 41**

Representação da deformação que aparece associada à definição do módulo de distorção, na deformação por corte paralelo às fibras da madeira.



Para materiais ortotrópicos, como é claramente a madeira, o módulo de corte  $G_{xy}$  vem dado pela expressão validada experimentalmente e usada em muitos códigos de elementos finitos no plano  $xy$ , (Zienkiewicz, 1977).

$$G_{xy} = \frac{E_x \cdot E_y}{E_x \cdot E_y \cdot + 2\nu_{xy} \cdot E_x} \quad [31]$$

onde  $E_x$  e  $E_y$  são os módulos de elasticidade em direções perpendiculares e  $\nu_{xy}$  o respetivo coeficiente de Poisson entre essas duas direções.



A utilização desta expressão permite relacionar os módulos de distorção nas várias direções ortogonais com os módulos de elasticidade e com os coeficientes de Poisson. Para as diferentes direções – longitudinal, radial e tangencial – fazem-se rodar os índices xy em conformidade com as respetivas direções.

### 3.13.3 AVALIAÇÃO DO MÓDULO DE CORTE SEGUNDO A EN 408:2010

Segundo a própria norma EN 408:2010 é reconhecida a dificuldade em obter valores experimentais do módulo de corte em componentes reais de dimensão estrutural. Mesmo assim esta norma define duas possibilidades de realizar os ensaios. No primeiro procedimento, começa-se por determinar o chamado módulo de elasticidade local, o que corresponde ao módulo de elasticidade medindo a flecha apenas numa zona de momento fletor puro, com base na flexão a quatro pontos. No mesmo provete, segue-se o procedimento desta mesma norma, na opção de determinação do módulo de elasticidade aparente, ou seja, um procedimento de flexão a três pontos.

A primeira das expressões para estes cálculos, para seções quadradas ou retangulares, é a expressão (32) baseada em ensaios de flexão simples a três pontos.

$$G = \frac{1,2 \cdot h^2}{l_1^2 \cdot \left( \frac{1}{E_{m,app}} - \frac{1}{E_{m,l}} \right)} \quad (32)$$

G – módulo de corte [MPa]

$l_1$  – distância entre apoios na determinação do módulo de elasticidade aparente [mm]

h – altura da secção transversal do provete [mm]

$E_{m,app}$  – módulo de elasticidade aparente [MPa]

$E_{m,l}$  – módulo de elasticidade local [MPa]

As formas de cálculo do módulo de elasticidade aparente e do módulo de elasticidade local são apresentados na seção 3.11.3 relativa aos módulos de elasticidade.

Outra possibilidade permitida pela norma EN 408:2010 tem por base vários ensaios de flexão a três pontos, com diferentes distâncias entre apoios até um valor de 21 vezes a altura da secção retangular ou quadrada. As distâncias entre apoios são incrementadas de valores aproximados de  $\left(\frac{h}{l}\right)^2$

dentro de limites entre 0,0025 e 0,035.

O módulo de corte é calculado pela expressão,

$$G = \frac{k_G}{K_1} \quad [33]$$

em que,

$$K_1 = \frac{\Delta \frac{1}{E_{m,app}}}{\Delta \cdot \left(\frac{h}{l}\right)^2} \quad [34]$$

sendo,

$K_1$  – coeficiente angular da reta definida no gráfico da figura 42,

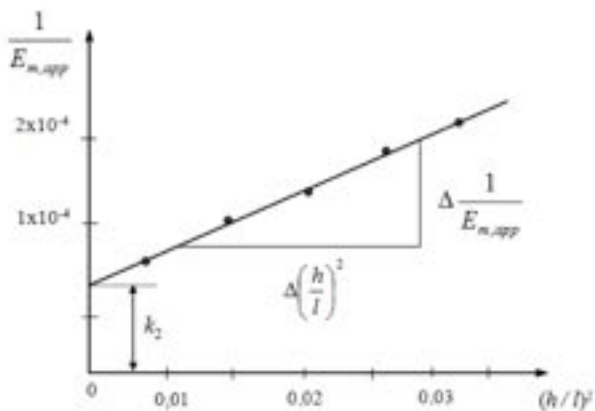
$k_G = 1,2$  para secções quadradas ou retangulares,

$\Delta$  – valores dos incrementos correspondentes a cada parcela da expressão respetivamente.

Em todos os ensaios de flexão devem ser utilizadas placas metálicas planas de comprimento ligeiramente superior à largura do provete e largura não superior a metade da altura da secção,

tendo como função evitar a indentação na madeira dos pontos de aplicação das cargas e dos suportes. A velocidade de ensaio para a determinação do módulo de corte não pode exceder a valor calculado pela expressão (35).

$$velocidade = 5 \cdot \frac{10^{-5} \cdot l^2}{6 \cdot h} [mm/s] \quad (35)$$



**Figura 42**

Determinação do módulo de distorção pelo método do vão variável. (Adaptado de EN 408:2010).

A carga máxima a aplicar não pode exceder a carga no limite de proporcionalidade, nem provocar nenhum tipo de dano tal como esmagamento ou micro roturas.

### 3.14 MÓDULO DE ELASTICIDADE VOLUMÉTRICO

O módulo de elasticidade volumétrico representa a elasticidade de um corpo sólido quando sujeito a uma pressão hidrostática, ou seja, a relação entre a pressão exercida e a respetiva variação de volume unitário,

$$K_v = v_0 \frac{dp}{dv} \quad (36)$$

em que  $v_0$  representa o volume inicial e  $dp$  e  $dv$  representam as variações de pressão e de volume correspondente, na zona de proporcionalidade elástica.

Para materiais isotrópicos esta propriedade relaciona-se com o módulo de elasticidade por uma equação já anteriormente referida, que agora se apresenta na forma,

$$K_v = \frac{E}{3(1-2\nu)} \quad (37)$$

As unidades do módulo de elasticidade volumétrico são as mesmas de uma tensão.

Para materiais ortotrópicos, em particular a madeira, as relações matemáticas anteriormente estabelecidas não se aplicam com rigor, pois além da estrutura orientada da madeira há ainda as interferências da compressibilidade do ar aprisionado no interior das células e do equilíbrio do teor de água e respetiva retração da madeira, que sempre aparecem e são difíceis de controlar, por efeito da mínima alteração da pressão.

---

## 3.15 COMPORTAMENTO VISCOSO DA MADEIRA SOB TENSÃO

Embora muitas vezes se assuma que a deformação de um componente é perfeitamente reversível quando cessa a aplicação de uma carga, e também que a deformação é constante após aplicação de uma carga permanente, sabe-se que em ensaios e medições rigorosas o comportamento elástico da madeira é bastante complexo. É uma constatação evidente que a madeira sujeita a uma carga permanente tem uma deformação que não atinge

imediatamente um ponto estável, e também que ao ser retirada a carga há uma recuperação que não é total e imediato. O retorno à dimensão ou geometria iniciais vai-se dando lentamente como uma função do tempo, seja, muito rapidamente de início e depois cada vez mais lentamente até próximo da condição de partida. Este comportamento é a indicação do carácter acentuadamente visco-elástico da madeira.

A adoção de modelos simplificados é uma necessidade da engenharia, no sentido de separar em diferentes componentes, relacionados ou não, do modelo de comportamento real, que é muito complexo para alguns materiais como é o caso concreto da madeira. Para compreender o comportamento mecânico da madeira exige-se a combinação de vários modelos simplificados.

### 3.16 FLUÊNCIA E RELAXAÇÃO DE TENSÕES

A fluência é por definição o nome que se dá ao fenómeno da deformação dependente do tempo, numa situação em que a intensidade de uma carga aplicada se mantém constante no tempo. O modelo matemático da fluência é dado pela equação (Lee, 2004),

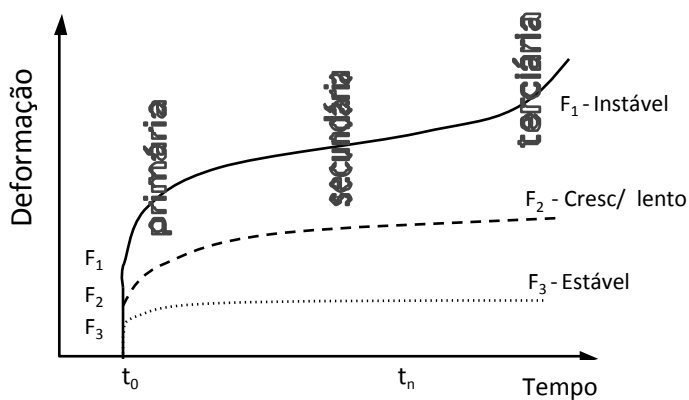
$$\epsilon(t) = \epsilon_e + \epsilon_e(t) + \epsilon_{ve}(t) + \epsilon_{vp}(t) = \frac{\sigma}{k_e} + \left(\frac{\sigma}{k_k}\right) \left(1 - e^{(-k_k)/\eta_k t}\right) + \frac{\sigma}{\eta_v} \quad (38)$$

em que  $\epsilon(t)$  é a deformação unitária total,  $\epsilon_e(t)$  é a deformação elástica unitária,  $\epsilon_{ve}(t)$  é a deformação viscoelástica unitária,  $\epsilon_{vp}(t)$  é a deformação visco-plástica unitária,  $\sigma$  é a tensão aplicada,  $k_e$  é a constante elástica da mola de Hooke,  $k_k$  é a constante de amortecimento do corpo de Kelvin,  $\eta_k$  é a constante viscosa elástica do corpo de Kelvin e  $\eta_v$  é a constante viscosa de deformação permanente.

A fluência visco-elástica é a deformação não instantânea mas recuperável, que ocorre para valores de tensão abaixo do limite de proporcionalidade, e apenas é possível de quantificar sob condições constantes do teor de água da madeira e de temperatura. A este tipo de fluência corresponde um aumento gradual da deformação no tempo, tendendo para um valor constante, mas que, depois de superada a carga, recupera também gradualmente até completa anulação.

Por exemplo, para os ensaios de flexão, se a carga fosse mantida constante ao longo do tempo, registrar-se-ia um aumento lento da deformação, que tanto poderia tender para um valor constante, como aumentar progressivamente até à rotura, dependendo da intensidade da tensão imposta ao material. Isto acontece devido ao efeito da fluência.

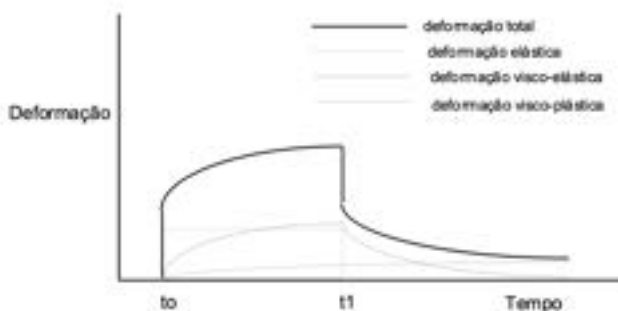
A deformação por fluência apresenta três tipos de comportamento típicos, apresentados no modelo da figura 43. Ou se dá uma progressão lenta numa primeira fase e aumento numa fase final até rotura (se a carga inicial for muito elevada F1), ou tende para um crescimento lento (cargas médias F2), ou tende para um valor constante (o que acontece para tensões muito fracas F3). Numa curva de deformação do tipo F1, o primeiro segmento com a concavidade voltada para baixo, representa a fluência primária (primeira derivada negativa), o segundo segmento aproximadamente reto, representa a fluência secundária, e o terceiro segmento com a concavidade voltada para cima (primeira derivada positiva), representa a fluência terciária, em que a fluência aumenta de forma crescente até à rotura.



**Figura 43**

Exemplo das curvas de deformação por fluência, para diferentes níveis de tensão. (Adaptado de Bodig, 1982).

Na figura 44 representa-se uma curva de deformação por fluência, do tipo da figura 43, mas decomposta nos seus vários componentes.



**Figura 44**

Decomposição da curva de deformação em suas componentes. (Adaptado de Bodig, 1982).

A importância do conhecimento das propriedades de fluência para diferentes espécies de madeiras e materiais derivados, resulta de se ter verificado que ações de longa duração têm provocado a rotura de elementos de madeira para níveis de tensão muito abaixo daqueles alcançados em ensaios de curta duração. Em termos simples isto significa que, dependendo do nível de tensões aplicadas, uma ação que pode ser suportada sem problema durante um curto intervalo de tempo, poderá levar à rotura do elemento estrutural se aplicada durante um longo período de

tempo. Saliente-se que é corrente verificarem-se deformações devidas à fluência, da mesma ordem de grandeza das deformações instantâneas iniciais, mas sem que isso corresponda a uma redução significativa da resistência mecânica.

Quanto aos fatores que intervêm neste fenômeno, e para além do nível de tensões, salienta-se o teor de água da madeira como um dos parâmetros a atender quando da estimativa do coeficiente de fluência. Assim, foi observado, por exemplo, que a madeira quando aplicada verde e deixada a secar em obra, apresentava uma deformação quatro a seis vezes superior à deformação inicial (Forest Prod. Laboratory, 1987).

O coeficiente de fluência tende a ser maior se o teor de água da madeira for elevado ou variar ciclicamente, do que se o teor de água for constante e baixo durante o período de atuação da força. Face a resultados obtidos experimentalmente, tem-se dividido o fenômeno de fluência na madeira e seus derivados em duas categorias principais distintas: fluência visco-elásto-plástica e a fluência mecânico-sortiva.

### 3.16.1 COMPORTAMENTO VISCO-PLÁSTICO

Em ensaios de fluência sob cargas elevadas, regista-se que, mesmo após suspensa a carga e recuperada a fluência visco-elástica, a amostra não volta à forma inicial. Este efeito de deformação permanente pode acentuar-se ao longo do tempo, e tem a designação de fluência visco-plástica. O valor desta deformação permanente corresponde ao esquematizado na figura 44 a traço interrompido longo, fazendo parte de um dos componentes da deformação da fluência total. Excluindo os instantes próximos da aplicação ou retirada de cargas, a fluência total depende quase exclusivamente dos movimentos lentos internos do material, ou seja, da fluência visco-plástica.

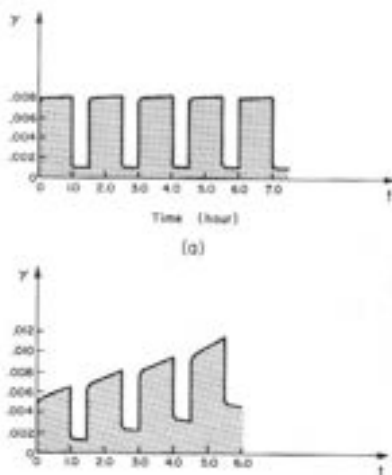


### 3.16.2 COMPORTAMENTO MECÂNICO-SORTIVO

A fluência mecânico-sortiva é a deformação que ocorre quando a madeira, sob a ação de uma força de valor constante, sofre alteração de teor de água e/ou de temperatura, o que acontece quando sujeita a variação das condições ambientais.

Na figura 45 mostra-se que o tipo de deformação por fluência nas madeiras, não depende apenas da intensidade da tensão constante aplicada como sugerido na figura 44, mas também do teor de água, ou da sua variação. A figura 45 (a) refere-se a uma condição cíclica de compressão de faia submetida a 68,6 MPa com a madeira completamente seca, enquanto na figura 45 (b) o ciclo de carga e descarga foi com uma tensão inferior, 49 MPa, mas com a madeira a 12 % de teor de água. Registou-se então que, com a madeira completamente seca a fluência nos patamares de carga se assemelham à classificação de fluência secundária, enquanto com a madeira a uma humidade normal, os patamares de carga se assemelham a uma fluência terciária (figura 43).

Como regra, pode afirmar-se que para o mesmo padrão de carga a fluência é tanto maior quanto mais elevado for o teor de água.



**Figura 45**

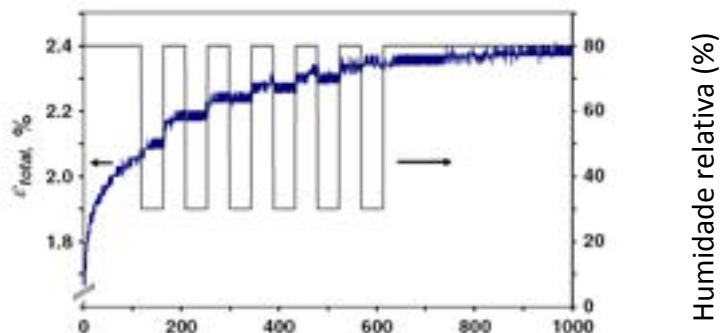
Aplicação cíclica de carga e fluência, para duas situações de teor de água na madeira de faia em compressão transversal: (a) Teor de água a 0%; (b) Teor de água a 12%. (Bodig, 1982).

No exemplo anterior analisou-se a diferença de comportamento à fluência para dois níveis diferentes mas estáveis de teor de água, mas está provado por inúmeros estudos, que as variações cíclicas da humidade têm efeitos ainda mais acentuados no comportamento à fluência da madeira, com uma característica semelhante ao que é mostrado na figura 46, embora neste caso não se trata de madeira natural. A fluência tem tendência para estabilizar nos períodos secos e para aumentar fortemente nos períodos de humidade elevada.

Para estudar a influência das variações ambientais no comportamento mecânico das fibras celulósicas, Olsson e outros (2006) estudaram o fenómeno da fluência mecano-sortiva em fibras de papel, tendo demonstrado que as fibras sujeitas a uma tensão de tração constante sob um ambiente com variações cíclicas de humidade entre 30 % e 80 % apresentaram uma deformação por fluência muito superior ao que apresentou o mesmo material sujeito a uma condição constante de elevada humidade. Num ensaio de apenas 16 horas Olsson et al. (2006) conseguiram provar o efeito do aumento irreversível do maior aumento da extensão durante os períodos de humidade elevada, após um período mais ou menos estável de humidade baixa, Figura 3.64.

**Figura 46**

Deformação mecânico-sortiva num provete de fibras de papel sob uma tensão constante de 450 MPa, com introdução a partir do tempo 120 minutos, de períodos de 45 minutos de variação cíclica de humidade. [Olsson et al., 2006].



### 3.16.3 INTERPRETAÇÃO DO FENÓMENO DA FLUÊNCIA

A interpretação do fenômeno da fluência da tem sido explicada através do estudo fenomenológico que consiste em criar modelos nos quais se tenta estabelecer uma relação entre o comportamento previsto matematicamente e os resultados observados através de estudos experimentais. Devido à complexidade estrutural da madeira esta abordagem permite pelo menos fazer uma previsão do comportamento esperado em situações concretas, o que muito ajuda nas aplicações estruturais.

Os modelos propostos até à data têm tentado explicar a existência de uma deformação elástica instantânea, uma deformação elástica retardada ou viscosa e uma deformação sem recuperação.

A aproximação fenomenológica compreende no ajustamento de modelos puramente matemáticos aos dados observados, particularmente através do uso de funções do tipo da apresentada na equação (39), a qual tem sido muito utilizada para estimar o comportamento de provetes pequenos, sem defeitos, e sob o efeito de ações permanentes.

$$d_t = d_o + t (a.m) \quad (39)$$

em que,

$d_t$  – deformação total;

$d_o$  – deformação inicial devida à aplicação da força;

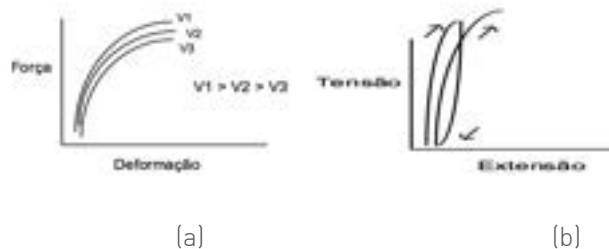
$t$  – tempo de atuação da força;

$a, m$  – constantes relativas ao teor de água e à velocidade de carregamento.

Esta aproximação engloba os ditos modelos reológicos, pelo que, para o caso da madeira, devido ao conceito de recuperação total e de limite de deformação, os modelos propostos são do tipo representado na figura 47 (Hunt, 1991). Nesta figura realçam-se dois aspetos importantes relacionados com a fluência, o primeiro é o efeito da velocidade de aplicação da carga na relação força-deformação, sendo o segundo o efeito da repetição cíclica de forças. Estes dois efeitos acontecem mesmo em situação de curta duração, quer na velocidade relativamente rápida de aplicação da carga (a), quer em intervalos curtos de repetição da carga (b). Nos dois casos não houve tempo para reposição das tensões e no segundo evidencia-se o que se define por histerese.

#### Figura 47

Modelo reológico geral para materiais que sofrem fluência (excetuando casos onde não existe limite de fluência. (Hunt, 1991).



Outros autores (Johns e Madsen, 1982) apresentam modelos baseados em mecânica da fratura, onde é assumido que a degradação mecânica da madeira, causada por uma ação de longa duração, tem lugar em três fases. A primeira fase é caracterizada pela formação de fendas, sem que estas, pelas suas reduzidas dimensões, afetem a resistência da peça de madeira. Durante a segunda fase, as fendas aumentam de dimensão, perdendo gradualmente o elemento estrutural resistência mecânica. Caso a ação tenha uma duração suficientemente longa, as fendas atingem uma dimensão crítica e neste ponto as tensões aplicadas igualam a tensão de rotura, que se dá de um modo rápido, característica que define a terceira fase.

Outras interpretações do tipo composição estrutural do fenômeno da fluência mecânico-sortiva, são baseadas na influência da variação da temperatura e da humidade relativa do ar nos ambientes confinantes da peça de madeira, provocarem fenômenos de retração ou de intumescimento diferenciados nas diversas lamelas da parede celular.

Finalmente, a explicação para a incidência do teor de água e da temperatura da madeira no seu comportamento à fluência, assenta na circunstância do acréscimo do teor de água e do eventual aumento da temperatura provocarem a plastificação da parede celular, com reflexos negativos na viscosidade da matriz.

Este efeito da fluência acontece não só com a madeira, mas em muitos outros materiais tais como os polímeros e até metais como é o caso do alumínio. Na madeira o efeito da fluência é relativamente frequente, observando-se em estruturas de cobertura de edifícios antigos, alguns após muitos anos, onde o efeito das cargas permanentes das telhas associado às variações cíclicas de temperatura e humidade provocaram as deformações típicas da fluência com o efeito de ondulamento, revelando claramente os locais com suporte e as zonas em flexão, figura 48. Na maior parte das situações semelhantes às da imagem referida, desde que não haja degradação biológica da madeira (podridão ou ataques de insetos), não há grande risco de colapso da estrutura, apenas o desagradável efeito visual revelador do longo tempo de existência da cobertura. Um sobredimensionamento adequado minimiza os efeitos da fluência a níveis que a tornam impercetível, mas sem a eliminar totalmente.



**Figura 48**

Exemplo real do fenómeno de fluência numa cobertura antiga.

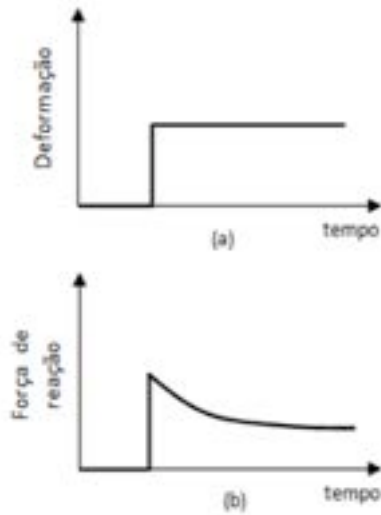
### 3.16.4 RELAXAÇÃO DE TENSÕES

Quando se submete uma peça de madeira a uma deformação mantida constante no tempo, as tensões internas que se opõem

à ação exterior vão diminuindo gradualmente. Este comportamento dos materiais tem o nome de relaxação de tensões, cuja representação esquemática correspondente é da figura 49.

**Figura 49**

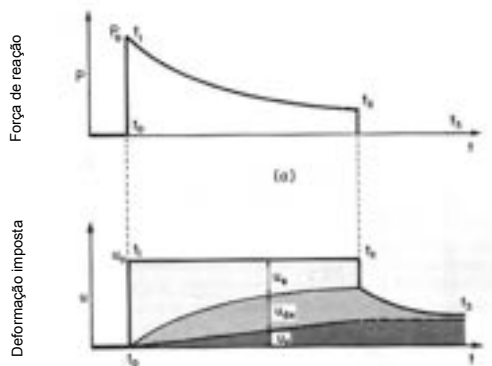
Curva de relaxação de tensões: (a) deformação imposta e mantida constante; (b) força de reação exercida pelo material em função do tempo. [Adaptado de vários autores].



A relaxação é explicada por mecanismos internos do material muito semelhantes aos da fluência. Durante o tempo em que é mantida constante a deformação total, há trocas da contribuição relativa por parte de deformação puramente elástica, visco-elástica e visco-plástica, tal como se representa na figura 50.

**Figura 50**

Perda de carga por relaxação e componentes da deformação. (a) Diminuição da resposta em força de reação; (b) Componentes da deformação. [Bodig, 1982].



Terminada a imposição exterior de deformação no ponto  $t_2$ , fica o corpo livre sem oferecer mais força de reação, mas, por outro lado, a deformação não recupera totalmente, ficando com o valor residual de  $uv$  correspondente ao instante de tempo  $t_3$  de recuperação total da deformação visco-elástica.

Como se viu anteriormente, tanto na fluência como na relaxação, há um componente da deformação e/ou recuperação, que aparece como que um comportamento elástico amortecido no tempo (com um certo atraso em relação ao tempo real). É, mais uma vez, o comportamento visco-elástico, que tanto se manifesta durante a aplicação de uma carga como quando da sua suspensão. Um exemplo prático importante da manifestação deste fenómeno aparece na fabricação de uma placa de aglomerado de fibras ou partículas. Os pratos da prensa funcionam segundo o princípio da imposição de uma deformação constante, pois têm travamentos em espessuras bem determinadas. Ao sair da prensa a espessura da placa recupera instantaneamente um certo valor, mas vai continuando a recuperar durante mais algum tempo até estabilizar na espessura final.

---

## 3.17 CONCENTRAÇÃO DE TENSÕES

Sempre que há uma diminuição local de secção numa área em que se transmite uma tensão de tração regista-se um aumento da tensão. Este efeito é ampliado quando a variação de secção é brusca, por exemplo num estreitamento com uma concordância com raio pequeno em relação à largura ou na presença de um furo de pequeno raio relativamente à largura. No caso da madeira o efeito da concentração de tensões pode ainda provir da presença de pequenas fendas, de nós, etc., para além de furos

por onde passam acessórios de ligação mecânica entre peças. Define-se como fator de concentração de tensões (k) a relação,

$$k = \frac{\sigma_{m\acute{a}x.}}{\sigma_{m\acute{e}d.}}$$

em que  $\sigma_{m\acute{a}x.}$  corresponde ao pico de tensão mais elevado, provocado pela concentração de tensão e  $\sigma_{m\acute{e}d.}$  corresponde à tensão calculada com a carga total a transmitir e a área resistente na zona mais estreita. O efeito da concentração faz-se sentir tanto mais no valor do fator k quanto maior for a redução de secção e quanto mais rápida for essa transição.

O efeito da concentração de tensões por efeito da presença de nós da madeira carece de uma análise muito atenta, por motivo de haver uma enorme diferença entre um simples furo numa peça de madeira de fibras paralelas e de um nó, ou pelo furo deixada pela saída de um nó. Esta decisiva diferença entre um furo “natural” e um furo cortado do mesmo diâmetro deve-se ao seguimento das fibras da madeira. Na figura 51 exemplificam-se as duas situações. As fibras ao redor de um nó continuam a manter a sua continuidade, aproximando-se entre si de modo a contornar o nó, com um aspeto semelhante ao que acontece nas linhas de fluxo de um fluido em movimento ao redor de um obstáculo. No caso de um furo feito com uma ferramenta a descontinuidade das fibras faz acentuar o fator de concentração de tensões.

**Figura 51**

Concentração de tensões atribuídas a um defeito natural da madeira – um pequeno nó e num furo artificial.



Nó da madeira  
ou buraco de nó



Furo cortado  
com ferramenta



O facto anteriormente referido, da diferença entre um furo efetuado artificialmente na madeira e num furo deixado por libertação de um nó, reflete-se de forma muito diferente na tração paralela às fibras e na compressão paralela às fibras.

---

## 3.18 TRATAMENTO ESTATÍSTICO DOS RESULTADOS DOS ENSAIOS

Nos ensaios de características dos materiais existe a regra realizar um número significativo de ensaios para se fazer algum tratamento estatístico, sendo o mais habitual, a média, desvio padrão máximo e mínimo de variância. Acontece que o que se pretende é num dado momento, ao fornecer informação sobre um material, poder dizer de modo simples, quais os limites esperados das suas características. Os eventuais desvios podem dever-se a defeitos locais, a imprecisão dos equipamentos ou método de avaliação, ou, como é o caso dos materiais naturais, à própria variabilidade destes materiais. A madeira enquadra-se neste grupo de materiais. Tendo em conta a elevada variabilidade natural da madeira, e ainda a complexidade da sua estrutura interna, há uma imperiosa necessidade de controlar todas as variáveis externas que seja possível, tal como o método de ensaio, o teor de água, a orientação das fibras, o estado sanitário, a espécie, a origem da madeira e ainda informação sobre os processos de preparação, essencialmente a secagem. Assim, como regra, são sempre indicadas as informações complementares associadas à madeira, tendo em conta as suas singularidades e defeitos. O tratamento estatístico deverá ser feito por grupos de características e dentro de critérios de classificação bem definidos. A atribuição de valores quantificados a uma dada propriedade tem de levar associada toda a informação complementar, incluindo

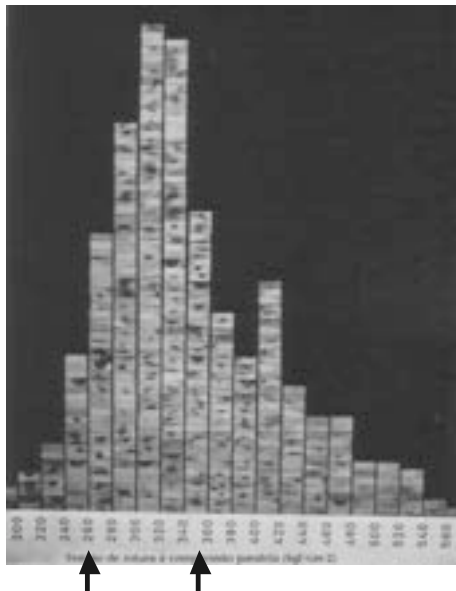
algumas com base em observação visual, mas sem esquecer que muitas das singularidades ou defeitos da madeira podem estar escondidos no seu interior.

Quando os valores das propriedades se destinarem a servir de base de cálculo estrutural, os conjuntos de resultados da informação experimental têm de ter tratamento estatístico com base na distribuição de frequências, e serem calculados os valores dos quantis correspondentes para a distribuição estatística utilizada (normalmente distribuição normal, ou ainda distribuição de Student), normalmente o 5-percentil inferior, segundo as normas em vigor para o cálculo estrutural. Estes valores tratados estatisticamente, para garantia de menos de 5% de incerteza, designam-se por valores característicos.

Os valores característicos das propriedades mecânicas e da massa volúmica são determinadas por tratamento estatístico de resultados de grandes séries de ensaios de amostras bem caracterizadas e representativas das disponibilidades de madeira para uso industrial. O procedimento é o descrito na norma europeia EN 384:2010-en “Structural timber – Determination of characteristic values of mechanical properties and density”.

Os valores característicos são identificados por um sub-índice com a letra  $\{k\}$  junto às indicações de se tratar de ensaios de compressão  $\{c\}$ , tração  $\{t\}$  ou flexão  $\{m\}$  e ainda os sub-índices  $\{0\}$  ou  $\{90\}$  conforme se trate de esforço paralelo ou perpendicular às fibras, respetivamente. Os valores característicos são na prática muito aproximados aos do 5-percentil inferior, afetados em muitos casos por fatores de correção que dependem do tipo de ensaio, do número de amostragens e ainda do número de provetes em cada amostragem.

Na figura 52, mostra-se como num trabalho de meados do século XX era já bem evidente a consciência da necessidade de um tratamento estatístico adequado para encontrar os valores de cálculo estrutural em madeira, tendo em conta a sua inevitável variabilidade. Neste simples exemplo, de ensaio de 430 provetes de uma mesma espécie e origem na mesma proveniência, os mesmos foram empilhados em grupos segundo a sua frequência de ocorrência num intervalo pré-estabelecido. A média simples daria um valor de 354 kgf/cm<sup>2</sup>, mas o valor correspondente ao quinto percentil inferior é de 260 kgf/cm<sup>2</sup>. Nesta figura também é evidenciada a tendência para a madeira não seguir a distribuição normal, pois a curva imaginária não é simétrica nem a média se situa a meio do intervalo. Com este tratamento assegura-se estatisticamente que dos 430 provetes só 16 (contagem real), ou 22 provetes (cálculo de 5 % do universo ensaiado), apresentam um valor de resistência inferior ao valor característico.



**Figura 52**

Exemplos da distribuição estatística de ensaios de compressão paralela às fibras em pinho bravo. [Tomás Mateus, 1961].


**Quadro V**

Valores característicos para o pinho bravo, segundo a norma Europeia EN 338:2003, classe de resistência C18.

Propriedades	Símbolo / Unidades (MPa)	Classe de resistência C18
Valor característico da tensão de rotura à flexão estática	$f_{m,k}$	18
Valor característico da tração paralela	$f_{t,0,k}$	11
Valor característico da tensão de tração transversal	$f_{t,90,k}$	0,5
Valor característico da tensão de compressão paralela	$f_{c,0,k}$	18
Valor característico da tensão de compressão transversal	$f_{c,90,k}$	2,2
Valor característico da tensão de corte paralelo	$f_{v,k}$	2,0
Média do módulo de elasticidade paralelo	$E_{0,méd.}$	9000
5 % do módulo de elasticidade paralelo	$E_{0,05}$	6000
Média do módulo de elasticidade transversal	$E_{90,méd.}$	300
Média do módulo de corte	$G_{méd.}$	560
Valor característico da massa volúmica [kg/m <sup>3</sup> ]	$\rho_k$	320
Valor médio da massa volúmica [kg/m <sup>3</sup> ]	$\rho_{méd.}$	380



4



PROPRIEDADES  
QUÍMICAS DA  
MADEIRA





A madeira é particularmente resistente ao sal da água do mar, o que a tornou desde a antiguidade até aos dias de hoje particularmente apta para ambientes marítimos, tendo como exemplos a construção de embarcações e ainda casas nas orlas marítimas, passadiços, vedações, etc., em condições onde outros materiais se revelam muito suscetíveis e mesmo inadequados.

No entanto a madeira não suporta o contacto prolongado com ácidos e bases fortes, sendo que alguns compostos químicos dissolvem um dos componentes principais da madeira, a lenhina, e assim destroem toda a organização estrutural da madeira.

No comportamento químico da madeira, sem dúvida o mais importante é o fato da madeira ser um material combustível. No entanto a aspeto mais importante a avaliar não é o de a madeira arder ou não arder, é o comportamento ao fogo, seja, perante um fogo, saber como a madeira se comporta: no que se refere à propagação da chama e quanto tempo leva a perder a capacidade resistente.

A madeira inflama-se espontaneamente quando submetida a um ambiente a  $\pm 350$  °C e com disponibilidade de oxigénio. Grosso modo, a velocidade de carbonização da madeira não protegida é de 0,6 a 0,7mm/ minuto/face exposta.

Um dos paradoxos da madeira é que, contrariamente aquilo que a nossa sensibilidade imediata nos transmite, ela resiste particularmente bem ao fogo, mantendo inalteráveis as suas características mecânicas, dependendo a estabilidade estrutural das construções somente da manutenção da secção resistente dos diferentes elementos da construção.

---

## 4.1 RESISTÊNCIA AO FOGO

A resistência ao fogo indica o tempo (em minutos), durante o qual um determinado sistema construtivo mantém, em condições de fogo normalizado (ISO 834), as exigências que lhe são solicitadas em termos de segurança dos utilizadores:

- Estabilidade / Capacidade portante;
- Ausência de emissão de gases inflamáveis pela face não exposta ao fogo;
- Estanqueidade à passagem de chamas e gases quentes;
- Resistência térmica suficiente para impedir que na face não exposta se alcancem temperaturas superiores às estabelecidas pela Norma. (140 °C – Média, 180°C- Máxima).

---

## 4.2 REAÇÃO AO FOGO

A reação ao fogo traduz-se pela resposta dos materiais ao ataque inicial do fogo e inclui parâmetros como o tempo de ignição, a velocidade de propagação do fogo, o calor total libertado e a emissão de fumos, entre outros.

A avaliação destes parâmetros é relevante nos primeiros momentos de desenvolvimento do fogo, que é o estágio em que os elementos da madeira podem contribuir mais fortemente para o desenvolvimento do fogo.

Segundo as mais recentes normas Europeias a reação ao fogo é definida por um conjunto de letras, segundo os critérios definidos no Quadro VI.

Quadro VI – Classificação da reação ao fogo. NP EN 13501-1:2007+A1:2013-p

Euro classes						
Materiais não combustíveis		Materiais combustíveis				
A1	A2	B	C	D	E	F
Ex. Pedra				madeira		
Produção de fumos						
-	s1	s1; s2; s3	s1; s2; s3	s1; s2; s3	-	-
Queda de partículas ou gotas inflamadas						
		d0; d1	d0; d1	d0; d1	-	-

**Quadro VI**

Classificação da reação ao fogo. NP EN 13501-1:2007+A1:2013-p

A1 – não combustível; A2 – pouca combustibilidade mas não produz chama; B – arde sem chama; C – produção de chama após 10 minutos; D – produção de chama antes de 10 minutos; E – produz chama antes de 2 minutos; F – não determinado

s1 – pouco ou nenhum fumo produzido; s2 – produção média de fumo; s3 – muito fumo produzido.

d0 – sem produção de partículas ou gotículas; d1 – produção de partículas ou gotículas mas não ardem durante mais de 10 segundos; d2 – pior do que os anteriores.

A madeira maciça natural e os lamelados colados sem tratamentos químicos de acabamento ou preservação classificam-se em geral na classe D-s2,d0.

A mais fácil, mais económica e mais eficaz proteção contra o fogo, no ponto de vista da segurança estrutural, é aumentar as espessuras dos componentes de madeira. Tendo em conta que a madeira arde da superfície para o interior e que o interior mantém a sua total capacidade estrutural enquanto não for atingida pelo fogo, basta aumentar a espessura numa proporção de cerca de 0,7 mm por cada minuto de resistência ao fogo e assegura-se

a estabilidade de todo o conjunto. Para meia hora de segurança a espessura e largura das peças têm de ser aumentada em cerca de 2,1 cm. Também os elementos auxiliares metálicos devem ser recobertos com madeira na mesma proporção de sobre espessura. Um exemplo bem elucidativo do foi dito mostra-se na figura 53, em que após um intenso fogo, os elementos finos de madeira desapareceram, os elementos grossos mantiveram-se, mas os elementos de ferro cederam antes de todos os outros.

**Figura 53**

Exemplos de um intenso fogo numa habitação onde os elementos espessos de madeira se mantiveram no lugar. Perda de seção após fogo.





5

A low-angle, upward-looking photograph of a wooden roof truss structure. The beams are light-colored wood, and the background is a bright blue sky with scattered white clouds. The perspective creates a sense of height and structural complexity.

PROPRIEDADES

TECNOLÓGICAS





As propriedades tecnológicas são as que conferem ao material uma maior ou menor facilidade de se deixar trabalhar pelos processos de fabricação usuais. Para a madeira as propriedades tecnológicas mais importantes correspondem às operações de transformação desde o fuste de uma árvore abatida até aos diferentes produtos finais. Neste sentido consideram-se pela sequência natural: a serragem; a secagem; o corte de folha natural; o aplainamento; a fresagem ou molduração; a furação; a colagem e o acabamento. Este conjunto de propriedades operações pode agrupar-se em diferentes conjuntos, cada um com características diferentes, como sejam, o corte em verde (madeira com teor de água acima do ponto de saturação das fibras), a preservação em autoclave de vácuo e pressão, e as várias operações de corte em seco. Um esquema simplificado é apresentado na figura 54. Usualmente a secagem serve de fronteira aos principais grupos de operações, podendo neste critério a preservação atribuída à primeira transformação.



**Figura 54**

Resumo das operações de transformação da madeira.

A trabalhabilidade ao corte com arranque de aparas, onde se englobam a serragem com serra de fita e disco, e molduração com fresas são muito importantes para o fabrico de peças com dimensões precisas a superfícies de boa qualidade de acabamen-

to. Algumas propriedades intrínsecas das madeiras interferem grandemente na sua trabalhabilidade, por exemplo, uma madeira demasiado dura e com fio em curva ou ondulado tornam estas operações extremamente difíceis, com frequentes defeitos nas superfícies por fio arrancado, desvios do corte, aquecimentos e queimaduras, etc. Também uma madeira com excessivo teor em extrativos pode tornar as operações de corte em seco muito difíceis devido ao embotamento dos gumes das ferramentas de corte.

Outro tipo de operações como a colagem e a recetividade aos produtos de acabamento das superfícies (pintura, velaturas, lacagem) dependem também da organização estrutural da madeira, mas essencialmente das propriedades químicas como sejam a composição e maior ou menor quantidade de extrativos. Numa mesma peça de madeira podem coexistir materiais com propriedades à colagem e acabamento muito diferentes, como seja a presença de borne ou cerne.

Estes temas relacionados com a transformação da madeira são tratados em detalhe num outro manual técnico complementar deste.



6



CLASSIFICAÇÃO  
E PROPRIEDADES  
DE MADEIRAS  
PARA FINS  
ESTRUTURAIS



As afirmações feitas em capítulos anteriores permitem perceber da dificuldade em apresentar valores quantificados de algumas características de madeiras, tanto pela variabilidade natural deste material, como da influência de singularidades e defeitos de cada exemplar de árvore individualmente, como da grande diferença entre espécies. Por este motivo os projetistas teriam dificuldade em escolher os valores a utilizar no cálculo estrutural, razão pela qual se criaram uma metodologia que contempla regras para análise visual, definição de métodos de ensaio de caracterização física e mecânica em laboratório, tratamento estatístico de resultados, chegando por fim a valores universalmente aceitáveis como seguros para dimensionamento de elementos estruturais. Estes valores têm o nome de valores característicos, como referido anteriormente (seção 3.18). Para cada espécie em particular esta avaliação tem de ser feita e os valores estatísticos enquadrados em tabelas de normas Europeias.

No caso de madeiras portuguesas só o pinho bravo aparece nas normas Europeias com todos estes procedimentos anteriormente descritos cumpridos. O Eucalipto também se encontra referido nas normas Europeias para estruturas, mas enquadrado em resultados de estudos de caracterização feitos com amostras provenientes da Galiza. É de esperar que madeiras de eucalipto de regiões edafo-climáticas portuguesas semelhantes à Galiza, e tendo em conta a proximidade geográfica e tratar-se da mesma espécie (*Eucalyptus Globulus*), poderemos admitir que poderemos utilizar esses valores de cálculo para utilização com madeiras portuguesas das regiões norte e centro litoral.

A norma Europeia EN 338:2009-en - Structural timber - Strength classes, define os valores característicos de resistência, rigidez e massa volúmica para espécies Resinosas e Folhosas com origem em países da Europa. As características mínimas para cálculo es-

trutural que estão definidas nesta norma são as que constam do Quadro VII, embora certos programas informáticos de cálculo necessitem de mais propriedades.

#### Quadro VII

Símbolos e valores característicos das classes de qualidade, segundo a norma EN 338.

Símbolos	Unidades	Significado
$E_{0,mean}$	N/mm <sup>2</sup>	Valor médio do módulo de elasticidade paralelo às fibras
$E_{0,05.5}$	N/mm <sup>2</sup>	Valor característico do módulo de elasticidade paralelo às fibras
$E_{90,mean}$	N/mm <sup>2</sup>	Valor médio do módulo de elasticidade perpendicular às fibras
$f_{c,0,k}$	N/mm <sup>2</sup>	Valor característico da tensão de compressão paralela
$f_{c,90,k}$	N/mm <sup>2</sup>	Valor característico da tensão de resistência à compressão perpendicular
$f_{m,k}$	N/mm <sup>2</sup>	Valor característico da tensão de resistência à flexão
$f_{t,0,k}$	N/mm <sup>2</sup>	Valor característico da tensão de resistência à tração paralela
$f_{t,90,k}$	N/mm <sup>2</sup>	Valor característico da tensão de resistência à tração perpendicular
$f_{v,k}$	N/mm <sup>2</sup>	Valor característico da tensão de resistência ao corte paralelo
$G_{mean}$	N/mm <sup>2</sup>	Valor médio do módulo de corte
$\rho_k$	Kg.m <sup>3</sup>	Valor característico da massa volúmica
$\rho_{mean}$	Kg.m <sup>3</sup>	Valor médio da massa volúmica

A modelação do comportamento mecânico da madeira necessita dos mais avançados conhecimentos da ciência da resistência dos materiais, caso não se façam as simplificações de parâmetros que se permitem para outros materiais industriais. Alguns programas de cálculo informático necessitam, para além destas, das seguintes características não referidos na norma EN 338, (Quadro VII), e utilizando a simbologia mais geral da resistência de materiais, Quadro VIII.



Símbolos	Unidades	Significado
$\sigma_{t,L}$	MPa	Tração paralela às fibras
$E_{t,L}$	MPa	Módulo de elasticidade à tração paralela
$\nu_{LR}$ e $\nu_{LT}$	adimensional	Coefficientes de Poisson na tração paralela (planos LR e LT)
$\sigma_{c,L}$	MPa	Compressão paralela às fibras
$E_{c,L}$	MPa	Módulo de elasticidade à compressão paralela
$\sigma_{t,R}$	MPa	Tração transversal na direção radial
$\sigma_{t,T}$	MPa	Tração transversal na direção tangencial
$E_{t,R}$ e $E_{t,T}$	MPa	Módulos de elasticidade à tração transversal (radial e tangencial)
$\zeta_{LR}$ e $\zeta_{LT}$	MPa	Corte paralelo às fibras nos planos radial e tangencial
$\zeta_T$	MPa	Corte transversal
$\zeta_{TR}$ e $\zeta_{RT}$	MPa	Corte por enrolamento
$G_{LR}$ e $G_{LT}$	MPa	Módulos de corte no corte paralelo (planos LR e RT)
$\sigma_{c,R}$ e $\sigma_{c,T}$	MPa	Tensão de compressão transversal (radial e tangencial)
$f_m$	MPa	Tensão de flexão a quatro pontos
$E_f$	MPa	Módulo de elasticidade à flexão
$w_{f,t}$	MPa	Fluência à flexão
$\sigma_{c,L}$	MPa	Tensão de compressão sob concentração de tensões

#### Quadro VIII

Características mecânicas necessárias para um completo modelização do comportamento mecânico da madeira.

Nota: MPa = N.mm<sup>2</sup>






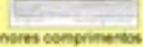
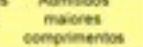


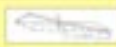

## 6.1 PINHO-BRAVO PARA ESTRUTURAS

A primeira fase da classificação da qualidade da madeira de pinheiro-bravo para fins estruturais consiste numa classificação

visual baseada na norma NP 4305:1995-pt - Madeira serrada de pinheiro bravo para estruturas. Classificação visual. Esta norma define um conjunto de regras de classificação de pranchas em duas classes de qualidade: E (Estruturas); e EE (Especial para Estruturas). Basicamente avalia a dimensão dos nós e a sua posição e proximidade relativas, a direção do fio ou os seus desvios, o ritmo de crescimento das camadas anuais, as dimensões e tipologia das fendas, e ainda a presença de descaio e limites para os empenos. Todos estes parâmetros de avaliação se encontram definidos num quadro da referida norma, mas baseiam-se essencialmente nos critérios mostrados simplificados na figura 55.

**Figura 55**

Características para classificação visual de pinho-bravo segundo a norma NP-4305.

NP 4305	Qualidade melhor EE	Qualidade pior E
<b>Nós</b> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Menos secção afectadas</li> <li>- Mais próximo das superfícies superior e inferior</li> <li>- Proximidade entre os nós</li> </ul>	O mesmos critérios mas com limites menos apertados
<b>Inclinação do fio</b>	< 1/10 	< 1/6 
<b>Taxa de crescimento</b>	Menor 	Maior 
<b>Fendas</b>	Superficiais admitidas  Menores comprimentos	Superficiais admitida  Admitidos maiores comprimentos
<b>Descaio</b>	Menor 	Maior 
<b>Empenos</b>	Menor 	Maior 
<b>Medula</b>	Não admitida	Admitida
<b>Degradações, descolorações, etc.,</b>	Não permitidas	Não permitidas

A norma Europeia traduzida para português, NP EN 1912:2013-pt - Madeira para estruturas; Classes de resistência; Atribuição de classes de qualidade e espécies, faz a ligação entre as normas de classificação visual, Europeias ou nacionais, com as respetivas classes de qualidade.

Para o caso do pinho-bravo, esta norma NP EN 1912 no seu quadro "Table I", classifica esta espécie na classe C18 da norma EN 338, Quadro IX, para a madeira classificada visualmente pela nor-

Table 1 – Strength classes - Characteristic values													
Poplar and softwood species													
		C14	C16	C18	C20	C22	C24	C27	C30	C35	C40	C45	C50
Strength properties (in N/mm <sup>2</sup> )													
Binding	$f_{b,0}$	14	16	18	20	22	24	27	30	35	40	45	50
Tension parallel	$f_{t,0}$	8	10	11	12	13	14	16	18	21	24	27	30
Tension perpendicular	$f_{t,90}$	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Compression parallel	$f_{c,0}$	16	17	18	19	20	21	22	23	25	26	27	29
Compression perpendicular	$f_{c,90}$	2,0	2,2	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,1	3,2
Shear	$f_{v,0}$	1,7	1,8	2,0	2,2	2,4	2,5	2,8	3,0	3,4	3,8	3,8	3,8
Stiffness properties (in kN/mm <sup>2</sup> )													
Mean modulus of elasticity parallel	$E_{0,050}$	7	8	9	9,5	10	11	11,5	12	13	14	15	16
5% modulus of elasticity parallel	$E_{0,050}$	4,7	5,4	6,0	6,4	6,7	7,4	7,7	8,0	8,7	9,4	10,0	10,7
Mean modulus of elasticity perpendicular	$E_{0,050}$	0,23	0,27	0,30	0,32	0,33	0,37	0,38	0,40	0,43	0,47	0,50	0,53
Mean shear modulus	$G_{0,050}$	0,44	0,5	0,56	0,59	0,63	0,69	0,72	0,75	0,81	0,86	0,94	1,00

#### Quadro IX

Valores característicos do pinho-bravo na classe C18 segundo a norma Europeia EN 338.

Embora não contemplada nas normas referidas, a experiência e estudos nacionais têm mostrado que o pinho-bravo em pequenas peças sem defeitos apresenta valores médios de resistência muito superiores aos atribuídos pela classificação na classe C18, como se mostra na figura 56, relativo a estudos realizados para tese de doutoramento (Santos, 2007).

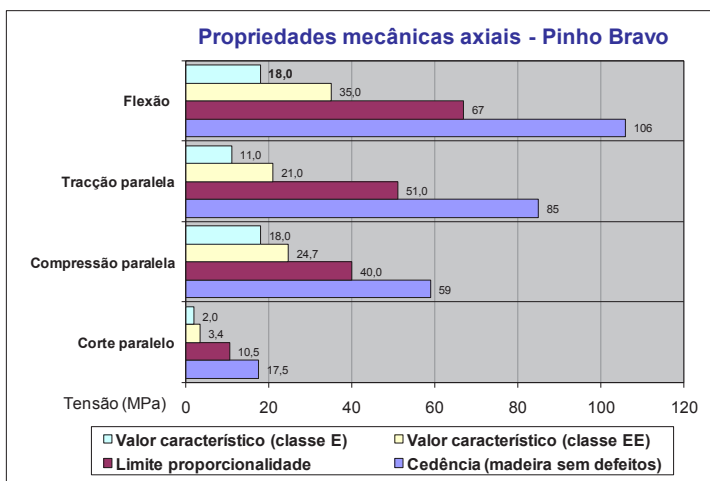


Figura 56

Propriedades mecânicas axiais do pinho bravo em ensaios de pequenas amostras sem defeitos (Santos, 2007).

## 6.2 EUCALIPTO PARA ESTRUTURAS

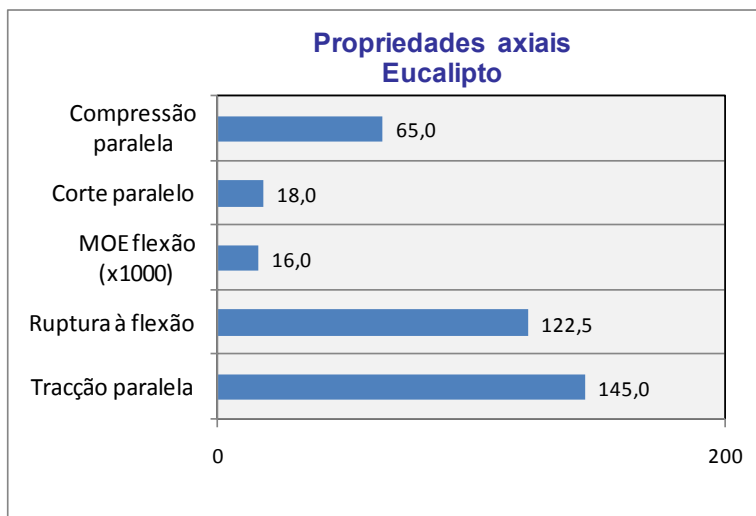
Numa abordagem semelhante à que se fez anteriormente para o pinho-bravo também o eucalipto comum se encontra referido na norma Europeia NP EN 1912:2013-pt - Madeira para estruturas; Classes de resistência; Atribuição de classes de qualidade e espécies, com a classe de resistência D40, Quadro X. Para tal o eucalipto tem de ser classificado visualmente na classe MEF pelas regras definidas na norma espanhola UNE 56546:2011 - Clasificación visual de la madera aserrada para uso estructural. Madera de frondosas.

### Quadro X

Valores característicos do eucalipto comum na classe D40 segundo a norma Europeia EN 338.

	Símbolo	Classes de resistência – Valores característicos					
		Espécies Folhosas					
		D30	D35	D40	D50	D60	D70
<b>Propriedades de resistência [MPa = N/mm<sup>2</sup>]</b>							
Flexão	$f_{m,k}$	30	35	40	50	60	70
Tração paralela	$f_{t,k}$	18	21	24	30	36	42
Tração perpendicular	$f_{t90,k}$	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Compressão paralela	$f_{c,k}$	23	25	26	29	32	34
Compressão transversal	$f_{c90,k}$	8,0	8,4	8,8	9,7	10,5	11,5
Corte paralela	$f_{v,k}$	3,0	3,4	3,8	4,6	5,3	6,0
<b>Propriedades elásticas [MPa = N/mm<sup>2</sup>]</b>							
Média do módulo de elasticidade	$E_{0,05k}$	10	10	11	14	17	20
5ª percentil do módulo de elasticidade	$E_{0,05}$	8,0	8,7	9,4	11,8	14,3	16,8
Média do módulo de elasticidade transversal	$E_{0,05k,90}$	0,64	0,69	0,75	0,93	1,13	1,33
Média do módulo de corte	$G_{0,05k}$	0,60	0,65	0,70	0,88	1,06	1,25

Na figura 57 mostram-se os valores médios das propriedades axiais do eucalipto, resultantes de ensaios em pequenos provetes de madeira sem defeitos, em madeira de proveniência da região centro de Portugal. Também aqui se vê a grande diferença entre os valores atribuídos para cálculo dentro dos limites máximos de segurança e os valores médios esperados em pequenas peças limpas de defeitos.



**Figura 57**

Valores de algumas propriedades do eucalipto comum em ensaios de laboratório em pequenas peças sem defeitos (Santos, 2007).

7



FICHAS DE

CARACTERÍSTICAS

DE MADEIRAS

PORTUGUESAS





O valores a atribuir às propriedades das madeiras pode deparar-se com uma dificuldade que tem a ver com a particularidade da madeira ser um produto natural com uma variabilidade muito acentuada e dependente, para além de fatores genéticos não controláveis, também fortemente influenciadas pelas condições climáticas, solo, topografia e ainda a condução humana dos povoamentos e situações acidentais (temporais, fogos, doenças, etc.).

Pelas razões referidas anteriormente nunca será possível atribuir um valor numérico a uma propriedade sem referir também a origem da madeira a idade e os procedimentos seguidos para ensaio.

Neste trabalho, sempre que possível são utilizados valores bem referenciados de trabalhos levados a cabo pelo autor, seguindo-se indicação dos valores de outros autores e, quando disponível, os valores de referência atribuídos em normas Europeias e nacionais.

As fichas tecnológicas com as informações mais essenciais, tanto da avaliação geral da espécie como das propriedades mais relevantes e principais campos de utilização são apresentadas como anexos a este trabalho.

8

# BIBLIOGRAFIA





ASTM D 143:2000. Standard Test Methods for Small Clear Specimens of Timber.

ASTM D 4933:2004. Moisture Conditioning of Wood and Wood-based Materials.

B.S. 373:1957. Methods of Testing Small Clear Specimens of Timber.

Beer, F. P. et al. (1992). Mechanics of Materials. McGraw-Hill Book Company. London.

Bodig, J; Jayne, B. A. (1982). Mechanics of Wood and Wood Composites. Van Nostrand Reinhold Company. New York.

Branco, C. A. G. M., (1985). Mecânica dos Materiais. Fundação Calouste Gulbenkian. Lisboa. 1078pp.

Carvalho, A. A. P. (1997). Madeiras Portuguesas. Vol I e Vol. II. Estrutura anatómica. Propriedades. Utilizações. Direção-Geral das Florestas. Lisboa.

Carvalho, J.P.; Santos, J.A.; Reimão, D.C.. (2005). O Carvalho Negro. Programa Agro – UTAD. Vila Real.

Carvalho, J.P.; Santos, J.A.; Reimão, D.C.. (2007). Árvores e Florestas de Portugal - A Valorização dos Carvalhais. Capítulo - Utilizações do Carvalho-roble. Fundação Luso Americana, Público e LPN. Lisboa.

Carvalho, J.P.; Santos, J.A.; Reimão, D.C.; Santos, J.M. . (2007). Árvores e Florestas de Portugal - A Valorização dos Carvalhais. Capítulo - A Valorização dos Carvalhais. Fundação Luso Americana, Público e LPN. Lisboa.

David W. Green et al. (1999). Wood handbook—Wood as an engineering material. Mechanical properties of wood, Chapter 5. Forest Products Laboratory. Gen. Tech. Rep. FPL–GTR–113. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service. 463 p.

Dumail J-F., K. Olofsson and L. Salmén, (2000). “An analysis of rolling shear of spruce wood by the Iosipescu method”, *Holzforschung*, 54, pp. 420-426.

EN 1912:2004 – Structural timber – Strength classes – Assignment of visual grades and species. CEN Comité Européen de Normalisation. Bruxelles.

EN 338:2003 – Structural timber – Strength classes. CEN Comité Européen de Normalisation. Bruxelles.

EN 338:2009-en – Structural timber; Strength classes. CEN Comité Européen de Normalisation. Bruxelles.

EN 408:2010+A1:2012-en – Timber structures; Structural timber and glued laminated timber; Determination of some physical and mechanical properties. CEN Comité Européen de Normalisation. Bruxelles.

F. C. Bao, et al . (2001). Differences in wood properties between juvenile and mature wood in 19 species grown in China. *Wood Science and Technology* 35(2001) 363-375. Springer-Verlag

Frese, M. (2008), Visual strength grading supported by mechanical grading. COST E53 Conference proceedings. Delft, The Netherlands. ISBN/EAN: 978-90-5638-202-5. p 19-30.

Garrido, N. (2003). Determinação do comportamento ao corte da madeira de Pinus Pinaster, AIT., usando o ensaio "off-axis": Análise por elementos finitos. Tese de Mestrado. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro. Vila Real.

Lakes, R. S., (1993). "Design considerations for negative Poisson's ratio materials". ASME Journal of Mechanical Design, 115, 696-700.

Lee, Sun-Young, et al. (2004). Creep behavior and manufacturing parameters of wood flour filled polypropylene composites. Composite Structures Volume 65, Issues 3-4, September 2004, Pages 459-469.

Liu, J. Y., et al. (1996). Improved Arcan Shear Test For Wood. USDA Forest Service, Forest Products Laboratory, 1 Madison, WI. International Wood Engineering Conference. USA.

Liu, J. Y.. (...). Shear test fixture design for orthotropic materials. USDA Forest Service, Forest Products Laboratory, One Gifford Pinchot Dr., Madison, WI 53705-2398.

Louzada, J. L. P. C. (2000). Variação Fenotípica e Genética em Características Estruturais na Madeira de Pinus pinaster Ait.. O comprimento das fibras e a densidade até aos 80 anos de idade das árvores. Parâmetros genéticos na evolução juvenil-adulto das componentes da densidade da madeira. UTAD, Série Didáctica, Ciências Aplicadas nº 143, Vila Real, 293pp.

Machado, J. M. S., (2000). Avaliação da variação das propriedades mecânicas de pinho bravo (Pinus pinaster AIT.) por meio de ultra-sons. Universidade Técnica de Lisboa. Instituto Superior de Agronomia. 204 p. Lisboa.

Mateus, J. E. Tomás., (1961). Bases para dimensionamento de estruturas de madeira. Laboratório Nacional de Engenharia Civil. 301 p. Lisboa.

Morozov, E. V., Vasiliev , V. V. . (2003). Determination of the shear modulus of orthotropic materials from off-axis tension tests. Composite Structures. Volume 62, Issues 3-4. Pág. 379-382.

NP EN 13501-1:2007+A1:2013-p. Classificação do desempenho face ao fogo de produtos e de elementos de construção; Parte 1: Classificação utilizando resultados de ensaios de reação ao fogo. NP EN 1995-1-1:2004/A2:2014-en. Eurocode 5: Design of timber structures; Part 1-1: General - Common rules and rules for buildings.

Oliveira, J. M. Q., (2004). Aplicação do ensaio de Arcan na determinação do comportamento ao corte da madeira de Pinus Pinaster, AIT. Tese de Mestrado. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro. Vila Real. 145pp.

Olsson, Anne-Mari; Salmén, L; Burgert, M. E. I. (2007). Mechano-sorptive creep in wood fibres. Wood Science and Technology, 41: 59-67.

Santos, J.A.. (2000). Propriedades Físicas e Mecânicas da Madeira de Pinheiro Bravo, com Implicações nas Utilizações Industriais. Seminário: A Indústria da Madeira de Pinheiro Bravo. 9 de Junho de 2000. Escola Superior Agrária de Castelo Branco.

Santos, J. A.. (2007). Estudo de modelos e caracterização do comportamento mecânico da madeira. Tese de Doutoramento. Universidade do Minho. Departamento de Engenharia Mecânica. Guimarães.



Timoshenko, S. P. (1976). Resistência dos Materiais. Livros Técnicos e Científicos Editora, S.A.. São Paulo.

Tsoumis, G., (1991). Science and Technology of Wood. Structure, Properties, Utilization. Van Nostrand Reinhold, 494 pp.

Xavier, J. C., et al. (2004). A comparison between the Iosipescu and off-axis shear test methods for the characterization of Pinus Pinaster Ait. Science direct. Elsevier. 14pp.

Xavier, J., et al. (2003). Measurement of the Shear Modulus of Wood Pinus Pinaster AIT., by Iosipescu Test: Numerical Aspects. Zihui Xia; Shen, X; Ellyin, F., (2006). An Assessment of Nonlinearly Viscoelastic Constitutive Models for Cyclic Loading: The Effect of a General Loading/Unloading Rule. Mechanics of Time-Dependent Materials; 9: 281-300. Springer.

Zobel, B. J.; Buijtenen, J. P. (1989). Wood Variation – Its Causes and Control. In Springer Series in Wood Science. Ed: T. E. Timell. Springer-Verlag. Berlin Heidelberg, New York, London, Paris, Tokyo, 240 pp.

9

A large stack of cut logs in a forest setting. The logs are piled high, with some showing the light-colored wood grain and others showing the dark bark. The background is a blurred forest scene with trees and a blue sky.

ÍNDICE

REMISSIVO



anti-borracha, 80  
ASTM D 143, 38  
ASTM D143, 41  
auxéticos, 80  
B.S. 373, 49  
B.S.373, 51  
borne, 23  
cerne, 23  
círculo de Mohr, 84  
coeficiente de Poisson, 79  
compressão paralela, 44  
compressão transversal, 48  
concentração de tensões, 103  
corte paralelo, 53  
corte transversal, 59  
deformação visco-plástica, 93  
EN 408:2003, 56  
EN 408:2010, 89  
equilíbrio higroscópico, 11  
extensômetros, 21  
fendimento, 52  
fio, 25  
flexão, 60  
fluência, 93  
fluência mecânico-sortiva, 97  
fluência visco-elástica, 94  
ISO 3349, 74  
lei de Hooke, 79  
lenho juvenil, 28  
massa volúmica, 23  
módulo aparente de elasticidade, 66  
módulo de elasticidade, 63  
módulo de elasticidade aparente, 78  
módulo de elasticidade global, 77  
módulo de elasticidade local, 77  
módulo de elasticidade volumétrico, 91  
NF B 51-016, 72  
nós, 26  
ortotrópico, 81  
reação ao fogo, 114  
relaxação de tensões, 101  
resistência ao fogo, 114  
retração, 24  
rolling shear, 59  
tração paralela, 38  
tração transversal, 41  
traqueídeos, 31  
visco-elástico, 66

10



ANEXO 1

FICHAS

TECNOLÓGICAS

RESUMIDAS





Acácia austrália  
Carvalho-alvarinho  
Carvalho negral  
Casquinha  
Castanho  
Cedro do Buçaco  
Cerejeira  
Choupo branco  
Criptoméria  
Eucalipto comum  
Eucalipto botrioide  
Freixo  
Incenso  
Nogueira  
Pinho-bravo  
Plátano  
Vidoeiro

# ACÁCIA



Nome científico: *Acacia melanoxylon* R.Br.

Nomes comuns: Acácia austrália,  
austrália, acácia-preta.

Local proveniência: Portugal - Região Centro

Idade (anos): 30

Altura média do fuste: 4 m

DAP (cm): -

## ASPECTO GERAL DA MADEIRA

Cerne bem distinto, castanho escuro. Borne de cor branco amarelado. Camadas de crescimento distintas e bem visíveis. Estrutura heterogênea. Fio relativamente direito. Textura grosseira. Sem cheiro característico. Poucos nós na zona utilizável.

## RESUMO DE PROPRIEDADES

Madeira com densidade moderadamente pesada. Retracção média. Resistência à coesão transversal forte. Resistência perpendicular média. Dureza mediana. Resistente ao choque.

## Propriedades físicas

RETRACÇÕES		Coeficiente de retracção (%)
Total (saturado -> 0%)		
Tangencial (%):	8,0 Média	0,53 Med. Nervosa
Radial (%):	3,9 Fraca	
Volumétrica (%):	12 Média	Teor de saturação das fibras (%)
Anisotropia	2,1 Média	

MASSA (a 12%)	VOLÚMICA (kg/m <sup>3</sup> )
645	Moderadamente pesada

## Propriedades mecânicas

Compressão paralela	(MPa)	60 Média
Módulo de elasticidade à flexão	(MPa)	Cerne 13 500 Meio rígida

DUREZA JANKA	(MPa)	48 Média
--------------	-------	----------

FLEXÃO	(MPa)	154 Forte
--------	-------	-----------

Tracção transversal	(MPa)	6,5 Forte
---------------------	-------	-----------

## Propriedades tecnológicas

Serragem	Deve ser feita em verde para evitar tensões de secagem.
Secagem	Boa qualidade na secagem lenta em secador e ao ar.
Fendas	Não ocorrência em secagem controlada.
Colapso	Não revelado.
Durabilidade	Excelente no cerne.
Laboraçoão	Possibilidade de fio arrepelado no aplainamento. Corte fácil em seco.
Utilizaçoões	Mobiliário, folheados, revestimentos de piso e parede, componentes de carpintaria para a construção, elementos estruturais de média dimensão.
Observaçoões	Madeira com elevao potencial futuro. Pode substituir exóticas tropicais.

## CARVALHO-ALVARINHO



Nome científico: *Quercus robur*

Nomes comuns: Carvalho-alvarinho

Carvalho-roble

Local proveniência: Norte de Portugal

Idade média das árvores: Até 200 anos

Altura média do fuste: 8 m

DAP médio: 60 cm

### ASPECTO GERAL DA MADEIRA

Madeira apresenta um cerne distinto castanho escuro brilhante e bome mais claro. Camadas de crescimento bem distintas com porosidade em anel como é característico de outros carvalhos. Fio por vezes ondulado. Superfícies radiais com veio espelhado.

### Propriedades físicas

RETRACÇÕES		Coeficiente de retracção (%)
Total (saturado / 0%)		
Tangencial (%):	10,7 Média	0,55 Nervosa
Radial (%):	4,9 Média	
Volumétrica (%):	16,8	Teor de saturação das fibras (%)
Anisotropia	2,2 Média	31 Normal

### RESUMO DE PROPRIEDADES

Madeira moderadamente pesada. Retracção média a elevada. Dureza média a elevada. Resistente ao choque. Durabilidade do cerne muito elevada, mas bome muito vulnerável a larvas e insetos.

### MASSA VOLÚMICA (kg/m<sup>3</sup>)

(a 12%) 710 Pesada

### Propriedades mecânicas

Compressão paralela	(MPa) 50,5
Módulo de elasticidade à flexão	(MPa) 12 500 (resistente)

DUREZA JANKA	(MPa) 40 Média
--------------	-------------------

Resistência à flexão	135 (MPa)
----------------------	-----------

Tração transversal	3,8 (MPa)
--------------------	-----------

### Propriedades tecnológicas

Serragem	Fácil em verde.
Secagem	Secagem necessariamente lenta, mas de boa qualidade.
Fendas	Alguns riscos de abertura de fendas durante a secagem.
Colapso	Pode ocorrer em programas de secagem artificial mal conduzidos.
Durabilidade	Cerne muito durável. Madeiras velhas são mais suscetíveis aos insetos.
Laboraço em seco	Corte fácil, mas necessidade de equipamento robusto e lâminas bem
Utilizações	Mobiliário rústico, componentes de carpintaria, revestimentos de piso, elementos estruturais em ambientes de classe de risco elevada, suportes de
Observações	Características físicas e mecânicas semelhantes a carvalhos americanos.

Fonte principal: OS CARVALHAIS. Vários autores.

## CARVALHO-NEGRAL



Nome científico: *Qurecus pyrenaica* Willd.

Nomes comuns: Carvalho-negral

Carvalho pardo das Beiras

Local proveniência: Portugal - Trás-os-Montes

Idade média das árvores: 80 anos

Altura média do fuste: 8 m

DAP médio: 50 cm

### ASPECTO GERAL DA MADEIRA

Cerne distinto, castanho amarelado. Borne de cor branco amarelado. Camadas de crescimento visíveis com regular camada de poros em anel. Estrutura heterogénea. Fio podendo apresentar por vezes ligeiras curvaturas. Textura desigual. Veio radial espelhado. Poucos nós mas de grande dimensão.

### Propriedades físicas

	RETRACÇÕES		Coeficiente de retracção (%)
	Total (saturado / 0%)		
Tangencial (%):	12 Elevada		0,53 Med. Nervosa
Radial (%):	8 Elevada		
Volumétrica (%):	17,5 Elevada		Teor de saturação das fibras (%)
Anisotropia	1,5 média		24 Baixo

### RESUMO DE PROPRIEDADES

Madeira pesada. Retracção média a elevada. Resistência à coesão transversal forte. Resistência perpendicular média. Dureza elevada. Média resistente ao choque. Durabilidade do cerne muito elevada, mas borne muito vulnerável a larvas e insetos.

### MASSA VOLÚMICA (kg/m<sup>3</sup>)

(a 12%) 750 Pesada

### Propriedades mecânicas

Compressão paralela	(MPa) 54 (média)
Módulo de elasticidade à flexão (MPa)	11 200 (meio rígida)
Resistência à flexão	120 (MPa)

DUREZA	(MPa)
JANKA	61 Média

Compressão transversal	14 (MPa)
Tração transversal	6,5 (MPa)

### Propriedades tecnológicas

Serragem	Fácil se for feita em verde, revelando por vezes algumas tensões internas.
Secagem	Secagem ao ar muito lenta (? 8 meses), conveniente antes de secador.
Fendas	Possíveis de evitar em secagem controlada (não demasiada exposição e vento).
Colapso	Ocorre em secagem artificial a temperaturas elevadas (> 45 ?C)
Durabilidade	Cerne muito durável. Resistente a térmitas.
Laboração em seco	Possibilidade de fio lascado no aplainamento. Corte fácil em serra e fresa.
Utilizações	Mobiliário rústico, equipamentos de jardim. Revestimentos de piso e parede, componentes de carpintaria para a construção de média dimensão.
Observações	Características físicas e mecânicas semelhantes a outros carvalhos.

# Casquinha



Nome científico: *Pinus sylvestris* L.

Nomes comuns: Casquinha

Pinho silvestre

Local proveniência: Portugal

Idade média das árvores: 80

Altura média do fuste: 15 m

DAP médio: 40 cm

## ASPECTO GERAL DA MADEIRA

Cerne distinto de cor vermelha ou vermelho acastanhado. Borne mais claro. Camadas de crescimento visíveis com limites bem definidos, permitindo com facilidade a contagem da idade no disco da base. Fio perfeitamente reto, dando nas superfícies radiais o típico veio listado.

## Propriedades físicas

RETRACÇÕES		
	Total (saturado / 0%)	Coefficiente de
Tangencial (%):	7,5 Média	retracção (%)
Radial (%):	4 Média	0,45 Meio nervosa
Volumétrica (%):	13,4	Teor de saturação das fibras (%)
Anisotropia	1,8 elevada	24 Baixo

## RESUMO DE PROPRIEDADES

Madeira com excepcional boa relação entre a massa volúmica e a resistência. Retracção média a fraca. Resistência à coesão transversal forte. Dureza média. Boa resistente ao choque. Durabilidade média do cerne.

MASSA VOLÚMICA	(kg/m <sup>3</sup> )
(a 12%)	550

## Propriedades mecânicas

Compressão paralela	(MPa)	36,8 Fraca
Módulo de elasticidade à flexão	(MPa)	9800 (meio rígida)

DUREZA	(MPa)
JANKA	24,5

Resistência à flexão	100 MPa
Tração transversal	2,4 (MPa)

## Propriedades tecnológicas

Serragem	Fácil de serrar.
Secagem	Secagem ao ar rápida e também fácil em secador.
Fendas	Pouca incidência de fendas.
Colapso	Não ocorre.
Durabilidade natural	Cerne medianamente durável aos fungos, mas susceptível aos insetos. EN 350-2: (3-4) - Mediana/ durável aos fungos; (S) - Suscetível insetos e
Laboração em seco	Possibilidade de fio lascado no aplainamento. Corte fácil em serra a fresa.
Utilizações	Muito procurada como madeira maciça para a construção, lamelados colados e mesmo revestimentos de piso de interiores de pouco exigência ao desgaste.
Observações	Pinho silvestre de origem em Portugal de qualidade inferior ao do Norte da

# CASTANHO



Nome científico:	<i>Castanea sativa</i> Mill.
Nomes comuns:	Castanho Madeira de castanheiro
Local proveniência:	Portugal - Trás-os-Montes
Idade média das árvores:	Até 200 anos
Altura média do fuste:	8 m
DAP médio:	60 cm

## ASPECTO GERAL DA MADEIRA

Madeira de ceme distinto de cor castanha. Borne mais esbranquiçado. Camadas de crescimento bem distintas com camadas de poros em anel na zona do lenho dinicial. Fio por vezes ondulado. Superfícies tangenciais com desenho acentuado de madeira com as linhas de porosidade a marcar fortemente a superfície.

## Propriedades físicas

RETRAÇÕES		
	Total (saturado / 0%)	Coefficiente de retracção (%)
Tangencial (%):	7,9 Média	0,42 Nervosa
Radial (%):	4,1 Média	
Volumétrica (%):	12,5	Teor de saturação das fibras (%)
Anisotropia	1,9 Média	30 Normal

## RESUMO DE PROPRIEDADES

Madeira moderadamente pesada. Retracção média a elevada. Resistência à coesão transversal forte. Resistência perpendicular média. Dureza elevada. Média resistente ao choque. Durabilidade do ceme muito elevada, mas borne muito vulnerável a larvas e insetos.

## MASSA VOLÚMICA (kg/m<sup>3</sup>)

(a 12%) 600 Média a Leve

## Propriedades mecânicas

Compressão paralela	(MPa) 44
Módulo de elasticidade à flexão	8500 (pouco rígida)

DUREZA JANKA	(MPa) 40 Média
--------------	-------------------

Resistência à flexão	118 (MPa)
Tração transversal	2,9 (MPa)

## Propriedades tecnológicas

Serragem	Fácil, assim como o desenrolamento.
Secagem	Secagem lenta mas sem muito risco de defeitos.
Fendas	Pouco risco de abertura de fendas durante a secagem.
Colapso	Pode ocorrer em programas de secagem artificial mal conduzidos.
Durabilidade natural	Ceme muito durável. Madeiras velhas são mais suscetíveis aos insetos. EN 350-2: (2) Durável aos fungos; (S) Sustetível insetos; (M) Mediana/ às
Laboraço em seco	Possibilidade de fio lascado no aplainamento. Corte fácil em serra a fresa.
Utilizações	Mobiliário rústico, componentes de carpintaria, fabrico de folheados de madeira, elementos estruturais em ambientes de classe de risco elevada,
Observações	Características físicas e mecânicas semelhantes a alguns carvalhos.

Fonte principal: Albino de Carvalho.

## CEDRO DO BUÇACO



Nome científico: *Cupressus lusitanica* Mill.

Nomes comuns: Cipreste do Buçaco  
Cedro do Buçaco

Local proveniência: Portugal - Região centro

Idade média das árvores: 120

Altura média do fuste: 12 m

DAP médio: 40 cm

### ASPECTO GERAL DA MADEIRA

Cerne relativamente distinto de cor castanho claro. Borne de cor mais amarelada. Camadas de crescimento de limites imprecisos mas bem visíveis. Estrutura homogênea. Fio geralmente reto. Textura uniforme. Cheiro característico intenso quando é cortado, mesmo nos cortes em seco. Pocos nós e em geral pequenos.

### RESUMO DE PROPRIEDADES

Madeira leve. Retração fraca. Resistência à coesão transversal, resistência perpendicular e flexão médias. Dureza relativamente fraca. Média resistente ao choque. Durabilidade do cerne muito elevada.

### Propriedades físicas

RETRAÇÕES		
	Total (saturado / 0%)	Coefficiente de
Tangencial (%):	5,4 Fraca	retração (%)
Radial (%):	3 Fraca	0,35 Pouco nervosa
Volumétrica (%):	9 Pouco retrátil	Teor de saturação das fibras (%)
Anisotropia	1,8 Média	26 Baixo

MASSA VOLÚMICA (kg/m <sup>3</sup> )	
(a 12%)	465 Leve

### Propriedades mecânicas

Compressão paralela	(MPa) 36,3 (média)
Módulo de elasticidade à flexão	(MPa) 10 000 (pouco rígida)

DUREZA JANKA	(MPa) 23,5 Branda / Média
--------------	------------------------------

Resistência à flexão	93 (MPa)
Tração transversal	1,7 (MPa)

### Propriedades tecnológicas

Serragem	Fácil mas apresentando por vezes alguns nós soltadiços.
Secagem	Secagem muito fácil e de boa qualidade.
Fendas	Poucas ou nenhuma fendas.
Colapso	Sem ocorrência.
Durabilidade	Cerne muito durável. Resistente a larvas de insetos e térmitas.
Laboraçoem em seco	Muito fácil, libertando pó muito fino e com odor intenso.
Utilizações	Mobiliário de qualidade. Revestimentos de parede, componentes de carpintaria para interior e exterior.
Observações	Uma das madeiras mais nobres da floresta portuguesa.

Fonte principal: Albino de Carvalho.

# CEREJEIRA



Nome científico: *Prunus avium* L.

Nomes comuns: Cerejeira

Local proveniência: Portugal

Idade média das árvores: 60

Altura média do fuste: 8 m

DAP médio: 30 cm

## ASPECTO GERAL DA MADEIRA

Cerne distinto de cor castanho avermelhada. Borne branco rosado. Camadas de crescimento bem visíveis. Estrutura uniforme. Fio geralmente reto. Textura uniforme. Veio radial e tangencial com desenho típico de madeira, apenas com ligeiras e graduais variações de tonalidade de cor.

## RESUMO DE PROPRIEDADES

Madeira relativamente leve. Retrações elevadas. Resistência à coesão transversal, resistência perpendicular e flexão médias. Dureza também média. Devido a alguma suscetibilidade do cerne só aconselhada para usos interiores. Enclarece quando exposta a luz solar direta.

## Propriedades físicas

RETRAÇÕES		
	Total (saturado / 0%)	Coefficiente de
Tangencial (%):	8,7 Média	retração (%)
Radial (%):	4,4 Média	0,46 Nervosa
Volumétrica (%):	13,8 Muito retrátil	Teor de saturação das fibras (%)
Anisotropia	2 Elevada	30 Elevado

## MASSA VOLÚMICA (kg/m<sup>3</sup>)

(a 12%) 540 Meio leve

## Propriedades mecânicas

Compressão paralela	(MPa) 49 (média)
Módulo de elasticidade à flexão	(MPa) 10 000 (pouco rígida)

DUREZA (MPa)  
JANKA 48,8 Média

Resistência à flexão 140 (MPa)

Tração transversal 2,9 (MPa)

## Propriedades tecnológicas

Serragem	Fácil mas apresentando por vezes alguns nós soltadiços.
Secagem	Secagem fácil, conseguindo-se boa qualidade, mas lenta e requerendo cuidado
Fendas	Poucas ou nenhuma se bem conduzida secagem (gradientes de secagem baixos)
Colapso	Sem ocorrência.
Durabilidade	Cerne suscetível a fungos e insetos quando exposto a classes de risco.
Laboraço em seco	Fácil, mas com algumas fibras arrancadas no corte transversal.
Utilizações	Mobiliário de qualidade. Componentes de carpintaria para interior de alto valor. Molduras, instrumentos vários.
Observações	Uma das madeiras nobres da floresta portuguesa.



# CHOUPO



Nome científico: *Populus alba* L.

Nomes comuns: Choupo-branco

Local proveniência: Portugal

Idade média das árvores: 40 anos

Altura média do fuste: 15 m

DAP médio: 40 cm

## ASPECTO GERAL DA MADEIRA

Existem em Portugal três espécies principais muito semelhantes, tratadas em conjunto nas normas Europeias ( choupo híbrido, choupo negro e choupo branco). O choupo-branco tem madeira de cerne distinto de cor rosada, mas pouco abundantes no tempo médio de exploração. Fio reto e textura uniforme. Camadas de crescimento bem definidas.

## Propriedades físicas

RETRACÇÕES			
	Total (saturado / 0%)		Coefficiente de
Tangencial (%):	10,2	Média	retracção (%)
Radial (%):	5,2	Média	0,49 Nervosa
Volumétrica (%):	16,3		Teor de saturação das fibras (%)
Anisotropia	3,5	Elevada	34 Elevado

## RESUMO DE PROPRIEDADES

Madeira leve de muito rápido crescimento. Retracção média a elevada. Resistência à coesão transversal e outras propriedades mecânicas em geral fracas.

## MASSA VOLÚMICA (kg/m<sup>3</sup>)

(a 12%) 510 Leve

## Propriedades mecânicas

Compressão paralela	(MPa) 40
Módulo de elasticidade à flexão (pouco rígida)	(MPa)

DUREZA	(MPa)
JANKA	24

Resistência à flexão	102 (MPa)
Tração transversal	2,7 (MPa)

## Propriedades tecnológicas

Serragem	Serragem muito fácil, assim como o desenrolamento.
Secagem	Secagem ao ar muito fácil e rápida.
Fendas	Pouco ou nenhum risco de abertura de fendas durante a secagem.
Colapso	Não ocorre.
Durabilidade natural	Sensível aos carunchos, acentuando-se em madeiras velhas. EN 350-2: (5) Não durável aos fungos; (S) Suscetível aos insetos e às térmitas.
Laboração em seco	Fácil em seco, mas com possibilidade de levantamento de pêlo no
Utilizações	Interiores e estrutura leve de mobiliário e carpintarias.
Observações	Madeira muito procurada para interiores e estrutura de portas planas coladas.

Fonte principal: Albino de Carvalho.

# CRIPTOMÉRIA



Nome científico: *Cryptomeria japonica* D. Don

Nomes comuns: Criptoméria  
Cedro do Japão

Local proveniência: Açores

Idade média das árvores: 60 anos

Altura média do fuste: 15 m

DAP médio: 60 cm

## ASPECTO GERAL DA MADEIRA

Madeira de cerne distinto. Existem nos Açores três variedades com cores diferentes: cerne rosa (castanho rosado claro); cerne castanho (castanho claro); e cerne escuro (castanho acinzentado). O mais durável é o de cerne mais escuro. Camadas de crescimento distintas e largas. Grão fino e fio reto.

## RESUMO DE PROPRIEDADES

Madeira moderadamente pesada. Retração média a elevada. Resistência à coesão transversal forte. Resistência perpendicular média. Dureza elevada. Média resistente ao choque. Durabilidade do cerne muito elevada, mas bome muito vulnerável a larvas e insetos.

## MASSA VOLÚMICA (kg/m<sup>3</sup>)

(a 12%) 260 a 320 Muito Leve

## Propriedades físicas

RETRAÇÕES			
	Total (saturado / 0%)		Coefficiente de
Tangencial (%):	6,1	Muito estável	retração (%)
Radial (%):	1,7	Muito estável	0,30
Volumétrica (%):	8,4		Teor de saturação das fibras (%)
Anisotropia	3,5	Elevada	28
			Normal

## Propriedades mecânicas

Compressão paralela	(MPa)	20,6
Módulo de elasticidade à flexão	(MPa)	8500 (pouco rígida)

DUREZA JANKA	(MPa)	9,6
--------------	-------	-----

Resistência à flexão	43 (MPa)
Tração transversal	1,2 (MPa)

## Propriedades tecnológicas

Serragem	Muito fácil, mas difícil de desenrolamento.
Secagem	Secagem ao ar muito fácil e rápida.
Fendas	Pouco ou nenhum risco de abertura de fendas durante a secagem.
Colapso	Não ocorre.
Durabilidade natural	Cerne durável na variedade de cerne escuro. EN 350-2: (5) Não durável aos fungos; (D) Durável aos carunchos; (S)
Laboraço em seco	Alguma dificuldade em seco devido a lascamento de fibras e mossas das
Utilizações	Forro de tetos e paredes (lambrii). Interiores de contraplacados e lemelados de alta qualidade para mobiliário. Embalanes leves para a agricultura. Coberturas.
Observações	Beleza excepcional após vários anos de exposição ao Sol (cinzento prateado).

Fonte principal: Albino de Carvalho.

# EUCALIPTO



Nome científico:	<i>Eucalyptus globulus</i> Labill.
Nomes comuns:	Eucalipto Eucalipto comum
Local proveniência:	Portugal
Idade (anos):	35 a 50
Altura média do fuste:	22 m
DAP (cm):	66

## ASPECTO GERAL

Cerne relativamente distinto de cor castanho-rosado. Borne estreito, mais acinzentado após secagem. Estrutura heterogénea. Sem cheiro característico. Fio por vezes espiralado e entrecruzado. Textura forte e desigual. Camadas de crescimento com falsos anéis, tornando difícil a avaliação da idade.

## Propriedades físicas

RETRACÇÕES		
	Total (saturado -> 0%)	Coefficiente de retracção (%)
Tangencial (%):	16,0 Forte	0,62 Nervosa
Radial (%):	6,3 Média	
Volumétrica (%):	23,3 Forte	Teor de saturação das fibras (%)
Anisotropia	2,5 Alta	37,4 Alto

## RESUMO DE PROPRIEDADES

Madeira pesada, nervosa, com retracção forte a média. Resistência forte à coesão transversal, trcção. É moderadamente elástica. De secagem muito lenta. Asência de nós na zona utilizável.

MASSA	VOLÚMICA	kg/m <sup>3</sup>
(a 12%)	720 a 850	Pesada

## Propriedades mecânicas

Compressão paralela	(MPa) 60 Elevada
---------------------	---------------------

DUREZA JANKA	(MPa) 45 Média
--------------	-------------------

Módulo de elasticidade à flexão (MPa)	
Cerne	14 000 Rígida
Lenho juvenil	11 000 Pouco rígida

FLEXÃO	(MPa) 168
--------	--------------

## Propriedades tecnológicas

Tracção transversal	(MPa) 6 Forte
---------------------	------------------

Serragem	Fácil em verde
Secagem	Deve ser seguida com precaução. Probabilidade de tensões internas.
Fendas	Zona envolvente da medula (lenho juvenil), zonas próximas dos topos.
Colapso	Ocorrência se a secagem for com temperatura demasiada elevada (>45°C)
Durabilidade natural	O cerne tem durabilidade média aos fungos (estudos recentes). EN 350-2: (5) Não durável; (n/d) aos insetos; (S) Suscetível às térmitas.
Laboraçaõ	Aplainamento difícil, necessita de lâminas afiadas. Desengrosso fácil.
Rendimento médio de aproveitamento	Em verde - 60 %
Utilizações	Revestimentos de piso, carpintaria, orlas e guarnições, elementos estruturais.
Observações	Potencial elevado para lamelados colados em fins decorativos.

# EUCALIPTO BOTRIÓIDE



Nome científico: *Eucalyptus botryoides* Sm.

Nomes comuns: Eucalipto botrióide  
mogno bastardo

Local proveniência: Portugal - Região Centro

Idade (anos): 35 a 40

Altura média do fuste: 20 m

DAP (cm): 105

## ASPECTO GERAL

Cerne distinto, de tom castanho avermelhado. Borne estreito, de cor castanho acinzentado escuro após a secagem. Camadas de crescimento aparentemente visíveis. Estrutura heterogénea. Fio direito. Textura forte e desigual. Sem cheiro característico. Ausência de nós na zona utilizável.

## RESUMO DE PROPRIEDADES

Madeira de densidade elevada. Retracção forte a média, pouco sensível a variações de humidade. Resistência à coesão transversal forte. Resistência perpendicular média. Bom comportamento à compressão paralela. Muito dura.

## Propriedades físicas

RETRACÇÕES		Coeficiente de retracção (%)
Total (saturado -> 0%)		
Tangencial (%):	13,0 Forte	0,74 Nervosa
Radial (%):	6,4 Média	
Volumétrica (%):	20	Teor de saturação das fibras (%)
Anisotropia	2 Média	27,5 Normal

MASSA	VOLÚMICA	kg/m <sup>3</sup>
(a 12%)	800	Pesada

## Propriedades mecânicas

Compressão paralela	(MPa)	62
---------------------	-------	----

DUREZA JANKA	(MPa)	64 Alta
--------------	-------	---------

Módulo de elasticidade à flexão (MPa)	Cerne 16 000	Muito rígida
---------------------------------------	--------------	--------------

FLEXÃO	(MPa)	126
--------	-------	-----

## Propriedades tecnológicas

Serragem	Fácil em verde
Secagem	Deve ser seguida com precaução. Poucas tensões internas.
Fendas	Zona envolvente da medula (tenho juvenil), zonas próximas dos topos.
Colapso	Sem colapso em secagem controlada
Durabilidade	Cerne resistente à podridão e às térmitas.
Laboraço	Serragem e aplainamento fácil com lâminas afiadas e equipamento robusto.
Rendimento médio de aproveitamento	Em verde - 68 %
Utilizações	Revestimentos de piso, carpintaria, elementos estruturais.
Observações	Madeira com elevao potencial. Pode substituir exóticas tropicais.

## FREIXO



Nome científico: *Fraxinus angustifolia* Vahl.

Nomes comuns: Freixo

Freixo comum

Local proveniência: Portugal

Idade média das árvores: 100

Altura média do fuste: 8 m

DAP médio: 35 cm

### ASPECTO GERAL DA MADEIRA

Cerne não distinto, tendo todo o lenho uma cor castanho-rosada de tom claro. Camadas de crescimento bem visíveis permitindo com facilidade a contagem dos anéis. Fio ligeiramente ondeado dando desenho irregular mas repetido. Textura suave. Porosidade abundante e visível.

### Propriedades físicas

RETRACÇÕES		
	Total (saturado / 0%)	Coefficiente de
Tangencial (%):	8,8 Média	retracção (%)
Radial (%):	5,3 Média	0,50 Nervosa
Volumétrica (%):	15,1	Teor de saturação das fibras (%)
Anisotropia	1,7 Média	30 Normal

### RESUMO DE PROPRIEDADES

Madeira pesada. Retracção média. Resistência à coesão transversal fraca. Resistência à compressão paralela média. Dureza elevada. Resistente ao choque. Durabilidade do cerne média a fraca, sendo o borme muito vulnerável a larvas e insetos.

### MASSA VOLÚMICA (kg/m<sup>3</sup>)

(a 12%) 700

### Propriedades mecânicas

Compressão paralela	(MPa)	45,6 Fraca
Módulo de elasticidade à flexão	(MPa)	11 000 (meio rígida)

DUREZA	(MPa)
JANKA	69

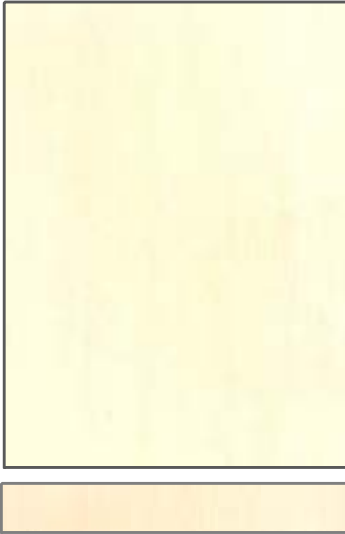
Resistência à flexão	149 (MPa)
Tração transversal	3,8 (MPa)

### Propriedades tecnológicas

Serragem	Serragem fácil assim como o desenrolamento.
Secagem	Secagem lenta, mas sem grandes riscos de defeitos.
Fendas	Possíveis de evitar em secagem controlada.
Colapso	Não é provável ocorrer colapso durante a secagem.
Durabilidade natural	Cerne e borme vulneráveis aos fungos e também aos insetos. EN 350-2: (5) - Não durável aos fungos; (S) - Suscetível insetos e térmitas.
Laboraço em seco	Possibilidade de fio lascado no aplainamento. Corte fácil em serra e fresa.
Utilizações	Mobiliário, carpintarias, torneados, carroçarias. Permite fabricar peças encurvados com baixos raios de curvatura, utilizando técnicas de calor e
Observações	

Fonte principal: Albino de Carvalho.

# INCENSO



Nome científico: *Pittosporum undulatum*, Vent.  
 Nomes comuns: Incenso  
 Incenso das ilhas  
 Faia do Norte  
 Local proveniência: Açores  
 Idade (anos): 25 anos  
 Altura média do fuste: 3 m  
 DAP (cm): 22 cm

## ASPECTO GERAL

Não existe diferença de cor entre cerne e bome, ambos de cor branca. Camadas de crescimento indistintas à vista desarmada. Poros abundantes e de distribuição regular, mas de muito pequeno calibre, só observáveis com sistema de ampliação de imagem. Poucos nós e de pequeno diâmetro.

## RESUMO DE PROPRIEDADES

Madeira de densidade média a elevada. Retracção média, pouco sensível a variações de humidade depois de seca. Boa resistência à coesão transversal. Muito dura. Desenho de topo igual à superfície, parecendo de longe um material diferente de madeira (marfim ou plástico).

## Propriedades físicas

	RETRACÇÕES	
	Total (saturado -> 0%)	Real (saturado até 12%)
Tangencial (%):	8,5 Média	7,5
Radial (%):	4,2 Média	3,3
Volumétrica (%):	12,7 Média	
Anisotropia	2,0 Média	

MASSA	VOLÚMICA	kg/m <sup>3</sup>
(a 12%)	780	moderadamente pesada

## Propriedades mecânicas

Compressão paralela	(MPa)	60 Média
Módulo de elasticidade	(MPa)	11 300
flexão	flexível	

DUREZA JANKA	(MPa)
face radial (MPa):	61 Dura
tangencial (MPa):	52 Dura

Corte paralelo	(MPa)	19
----------------	-------	----

Tracção transversal	(MPa)	6,9
---------------------	-------	-----

## Propriedades tecnológicas

Serragem	Fácil
Secagem	Fácil mas cuidada, necessitando tratamento temporário contra azulamento.
Fendas	Ausentes ou de pequenas dimensões nos topos
Colapso	Ausente
Durabilidade	Durabilidade elevada. Apenas observado ser muito sensível ao azulamento.
Laboraço	Aplainamento fácil, ausência de fio lascado e pelo arpelado.
Rendimento médio de aproveitamento	Média de 35% para peças em aresta viva.
Utilizações	Componentes decorativos de pequena dimensão e mobiliário; pisos e parquetes, objectos decorativos e utilitários, escultura, artesanato.

# NOGUEIRA



Nome científico: *Juglans regia* L.

Nomes comuns: Nogueira

Nogueira comum

Local proveniência: Portugal

Idade média das árvores:

Altura média do fuste:

DAP médio:

## ASPECTO GERAL DA MADEIRA

Cerne distinto de cor castanha avermelhada e abundante. Borne mais claro, castanho pálido. Camadas de crescimento visíveis de limites relativamente definidos. Estrutura homogénea. Fio predominantemente reto. Textura suave. Madeira de alto valor decorativo,

## Propriedades físicas

RETRACÇÕES		
	Total (saturado / 0%)	Coefficiente de
Tangencial (%):	6 Média	retracção (%)
Radial (%):	5 Média	0,35 Nervosa
Volumétrica (%):	12,5	Teor de saturação das fibras (%)
Anisotropia	1,2 baixa	30 Normal

## RESUMO DE PROPRIEDADES

Madeira pesada. Retracção média a elevada. Resistência à coesão transversal forte. Resistência perpendicular média. Dureza elevada. Média resistente ao choque. Durabilidade do cerne muito elevada, mas borne muito vulnerável a larvas e insetos.

MASSA VOLÚMICA	(kg/m <sup>3</sup> )
(a 12%)	620

## Propriedades mecânicas

Compressão paralela	(MPa)	50 Média
Módulo de elasticidade à flexão	(MPa)	11 500 (meio rígida)

DUREZA	(MPa)
JANKA	58

Resistência à flexão	95 (MPa)
Tração transversal	2,8 (MPa)

## Propriedades tecnológicas

Serragem	Fácil.
Secagem	Secagem ao ar fácil, conveniente antes de ir ao secador.
Fendas	Possíveis de evitar em secagem controlada.
Colapso	Não ocorre colapso.
Durabilidade natural	Cerne medianamente durável aos fungos, mas susceptível aos insetos. EN 350-2: (3) - Medianamente durável aos fungos; (S) - Suscetível insetos e
Laboração em seco	Corte fácil em serra e fresa.
Utilizações	Mobiliário, tanto como madeira maciça como em forma de folha.
Observações	

# PINHO-BRAVO



Nome científico:	<i>Pinus Pinaster</i> AIT.
Nomes comuns:	Pinho-bravo Madeira de pinheiro-bravo
Local proveniência:	Portugal - Região centro
Idade média das árvores:	30 ans
Altura média do fuste:	15 m
DAP médio:	40 cm

## ASPECTO GERAL DA MADEIRA

Cerne distinto, castanho avermelhado. Borne de cor amarelada. Camadas de crescimento visíveis com nítida distinção entre lenho inicial e final. Textura desigual. Fio em geral direito e veio tangencial o que dá o desenho típico de madeira. Muitos nós nas zonas sob influência da copa. Poucos nós nas zonas periféricas de lenho mais recente (camadas externas) em árvores adultas de fuste desramado.

## Propriedades físicas

RETRAÇÕES		Coeficiente de retracção (%)
Total (saturado -> 0%)		
Tangencial (%):	10,5 Média	0,53 Med. Nervosa
Radial (%):	6 Média	
Volumétrica (%):	16,5 Média	Teor de saturação das fibras (%)
Anisotropia	1,75 Média	26 Baixo

## RESUMO DE PROPRIEDADES

Madeira relativamente leve em seco. Retrações médias. Razoavelmente resistente à flexão e à compressão axial e transversal, tendo em conta o seu peso. Dureza média. Resistente ao choque. Durabilidade do cerne elevada. Borne muito vulnerável a larvas e insetos, mas fácil de impregnar.

MASSA VOLÚMICA (kg/m <sup>3</sup> )
(a 12%) 780 pesada

## Propriedades mecânicas

Compressão paralela	(MPa) 55 Média
Módulo de elasticidade à flexão (MPa)	11 200 (meio rígida)
Resistência à flexão	120 MPa

DUREZA JANKA	(MPa) 45 Média
--------------	-------------------

Compressão transversal	7,5 (MPa)
Tração transversal	4,5 (MPa)

## Propriedades tecnológicas

Serragem	Fácil mesmo em estado de relativa secagem.
Secagem	Secagem rápida e fácil, tanto ao ar como em secador.
Fendas	Poucas fendas, sendo mais comuns na zona de lenho juvenil.
Colapso	Não ocorre colapso durante uma secagem rápida controlada.
Durabilidade	Cerne medianamente resistente a fungos e insetos. Maior risco em madeiras velhas. EN 350-2: (3) Mediana/ fungos; (S) Suscetível insetos.
Laboraçoão em seco	Muito fácil em madeiras com pouca resina.
Utilizações	Mobiliáriode todos os tipos. Revestimentos de piso e parede, componentes de carpintaria e estruturas, lamelados colados, embalagem resistentes.
Observações	Obrigatoriedade de choque térmico para eliminação do nemátode do pinheiro.



# PLÁTANO



Nome científico: *Platanus hybrida* Brot.

Nomes comuns: Plátano

Plátano comum

Local proveniência: Portugal

Idade média das árvores: Até 60 anos

Altura média do fuste: 12 m

DAP médio: 50 cm

## ASPECTO GERAL DA MADEIRA

Cerne não distinto de cor amarela rosada. Camadas de crescimento moderadamente visíveis. Fio com ligeiras curvaturas ou entrecruzado. Textura uniforme.

## RESUMO DE PROPRIEDADES

Madeira pesada. Retracção média a elevada. Resistência à coesão transversal forte. Resistência perpendicular média. Semelhança à faia no desenho e grão, mas de tom mais escuro e marcado.

## Propriedades físicas

RETRACÇÕES		Coeficiente de retracção (%)
Total (saturado -> 0%)		
Tangencial (%):	9,8 Elevada	0,61 Nervosa
Radial (%):	7 Média	
Volumétrica (%):	17,9 Elevada	Teor de saturação das fibras (%)
Anisotropia	1,4 Média	

## MASSA VOLÚMICA (kg/m<sup>3</sup>)

(a 12%) 695 Moderadamente pesada

## Propriedades mecânicas

Compressão paralela	(MPa) 49,5 (média)
Módulo de elasticidade à flexão (MPa)	---

DUREZA JANKA	(MPa) 54 Média
--------------	-------------------

Flexão	142 (MPa)
Tração transversal	4,4 (MPa)

## Propriedades tecnológicas

Serragem	Fácil se for feita em verde.
Secagem	Secagem lenta e difícil.
Fendas	Possíveis de fendas e empenos numa secagem menos controlada.
Colapso	Pode ocorrer em secagem artificial ou ao ar com demasiada exposição.
Durabilidade	Fraca resistência a insetos e podridões, quando em condições de risco.
Laboração em seco	Possibilidade de fio lascado no aplainamento.
Utilizações	Mobiliário rústico. Revestimentos de piso. Componentes de carpintaria para a construção. Cabos de ferramentas e cutelaria.
Observações	Semelhança à faia mas pior comportamento dimensional.

Fonte principal: Albino de Carvalho.

## VIDOEIRO



Nome científico: *Betula celtiberica* Rothm. et Vasc

Nomes comuns: Vidoeiro

Bétula

Local proveniência: Portugal

Idade média das árvores:

Altura média do fuste:

DAP médio:

### ASPECTO GERAL DA MADEIRA

Cerne não distinto de cor branca-rosada. Camadas de crescimento visíveis, mas de limites difíceis de definir, não permitindo com facilidade a olho nu a contagem dos anéis. Estrutura homogênea. Fio predominantemente reto. Textura suave.

### Propriedades físicas

RETRAÇÕES		
	Total (saturado / %)	Coefficiente de retracção (%)
Tangencial (%):	8,6 Média	0,47 Nenosa
Radial (%):	5,1 Média	
Volumétrica (%):	14,7	Teor de saturação das fibras (%)
Anisotropia	2,2 elevada	31 Normal

### RESUMO DE PROPRIEDADES

Madeira pesada. Retracção média a elevada. Resistência à coesão transversal forte. Resistência perpendicular média. Dureza elevada. Média resistente ao choque. Durabilidade do cerne muito elevada, mas bome muito vulnerável a larvas e insetos.

### MASSA VOLÚMICA (kg/m<sup>3</sup>)

(a 12%) 580

### Propriedades mecânicas

Compressão paralela (MPa)	38 Fraca
Módulo de elasticidade à flexão (MPa)	11 400 (meio rígida)

DUREZA JANKA (MPa)	39
--------------------	----

Resistência à flexão	116,5 (MPa)
Tração transversal	3,7 (MPa)

### Propriedades tecnológicas

Secagem	Fácil se a morfologia dos troncos for favorável (direitos e regulares)
Secagem	Secagem ao ar lenta, mas conveniente antes de ir a secador
Fendas	Possíveis de evitar em secagem controlada
Colapso	Pode ocorrer colapso
Durabilidade natural	Cerne medianamente durável aos fungos, mas susceptível aos insetos
	EN 350-2: (5) - Não durável aos fungos; (5) - Suscetível insetos e térmitas
Laboração em seco	Possibilidade de fio lascado no aplainamento. Corte fácil em serra a fresa
Utilizações	Mobiliário, tanto como madeira maciça como em forma de folha desenrolada
Observações	





**COMPETE**

PROGRAMA OPERACIONAL FACTORES DE COMPETITIVIDADE



QUADRO  
DE REFERÊNCIA  
ESTRATÉGICO  
NACIONAL  
PORTUGAL 2007.2013



**UNIÃO EUROPEIA**

Fundo Europeu  
de Desenvolvimento Regional