

## **Avaliação de algumas propriedades físicas da madeira de sobreiro (*Quercus suber* L.) tendo em vista o seu potencial impacto tecnológico**

**Vicelina B. Sousa, Sofia Leal & Helena Pereira**

Centro de Estudos Florestais, Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa,  
Tapada da Ajuda 1349-017 LISBOA, Portugal

**Resumo.** Apresenta-se um estudo de caracterização e variação de propriedades físicas da madeira da *Quercus suber* L. tendo em vista a sua potencial utilização para o fabrico de peças de madeira de qualidade elevada. Foram analisadas as seguintes propriedades da madeira de sobreiro e a sua variação para diferentes temperaturas e humidades relativas do ar: teor de humidade de equilíbrio, densidade e variação dimensional. O estudo foi feito na madeira de 5 árvores adultas já sujeitas a descortçamento. As temperaturas estudadas tipificaram um ambiente interior não climatizado no inverno (15°C), no verão (27°C) e um ambiente climatizado (22°C) e a variação de humidade relativa estudado foi de 10% a 80%.

Verificou-se uma variação da retracção volumétrica total entre 14,3–15,2 % e do coeficiente de retracção volumétrica entre 0,49–0,56%. A retracção linear radial e tangencial variou, respectivamente entre 3,5–3,7% e 9,1–9,8%. Para a anisotropia obtiveram-se valores entre 2,4–2,7. Os valores da densidade a 12% de humidade variaram entre 0,63–0,64 g/cm<sup>3</sup> e a higroscopicidade obtida foi de 0,003. Observaram-se diferenças pouco significativas para a variação das dimensões, teor de água e densidade da madeira entre as 3 temperaturas utilizadas nos ensaios físicos.

A classificação tecnológica da madeira de sobreiro em relação às propriedades estudadas é a seguinte: madeira moderadamente pesada, medianamente nervosa, retráctil (com retractibilidade radial fraca e tangencial média), anisotropia alta, teor de saturação das fibras alto e higroscopicidade média.

**PALAVRAS-CHAVE:** *Quercus suber* L., sobreiro, madeira, retracção, humidade de equilíbrio, teor de saturação das fibras, anisotropia

### **INTRODUÇÃO**

Portugal tem uma percentagem elevada da área ocupada por sobreiro (*Quercus suber* L.), sendo um dos principais produtores de cortiça a nível mundial. A condução do montado de sobreiro tem actualmente como objectivo principal a produção de cortiça para posterior utilização em produtos de mercado, nomeadamente a produção de rolhas para a indústria vinícola. Recentemente, o aparecimento de possíveis concorrentes à cortiça tem reforçado a necessidade de alargar o conhecimento sobre o sobreiro por forma a diversificar a utilização da árvore e a rentabilizar o montado de sobreiro numa perspectiva de uso múltiplo.

Tendo em conta que a madeira de sobreiro já foi utilizada e muito valorizada no passado, nomeadamente na época dos Descobrimentos Portugueses para a construção naval, quiçá o conhecimento das suas propriedades anatómicas e físicas permita reavaliar as suas características tecnológicas e permitir usos mais nobres para a madeira de *Quercus suber* L., tal como acontece para outras espécies da mesma família, os carvalhos.

Nesta óptica importa conhecer as propriedades físicas da madeira de sobreiro para desenvolver técnicas adequadas de preparação e processamento de madeiras, tais como a serragem, a secagem e a preservação. Ao contrário de outros materiais, a madeira é um material que apresenta características variáveis, resultantes do processo da sua formação e do crescimento da árvore, dependendo dos factores ambientais assim como das características de diferenciação individual. Além disso, na árvore, a madeira é anisotrópica e muitas das suas propriedades variam radial e axialmente.

O conhecimento científico da madeira como material permitirá que a sua utilização ultrapasse o fabrico artesanal e atinja um processamento industrial, quer na indústria de primeira transformação (serração, painéis, etc.) quer na indústria de segunda transformação (carpintaria, mobiliário, etc.). Para que uma madeira possa aplicar-se a determinado uso final deve satisfazer os requisitos de qualidade do produto e também da sua transformação industrial.

Nesta óptica iniciou-se um projecto de investigação no qual se estudam as propriedades da madeira de sobreiro e a sua variabilidade na árvore e entre árvores com vista à sua utilização para produtos de madeira de elevado valor acrescentado. Nesta comunicação apresentam-se os resultados obtidos referentes à higroscopicidade e variação dimensional da madeira para diferentes condições de temperatura e humidade relativa. As temperaturas testadas foram 15°C, 22°C e 27°C, que pretendem representar respectivamente uma sala não climatizada durante o inverno, uma sala climatizada, e uma sala não climatizada no verão.

## MATERIAL E MÉTODOS

1

As amostras de sobreiro (*Quercus suber* L.) foram recolhidas em árvores adultas, descortiçadas, com aproximadamente 40 anos de idade, da Herdade dos Albardeiros, situada no Alvito (Alto Alentejo), aproximadamente a 38°15'N e 07°59'W. As árvores foram seleccionadas por observação visual de modo a estarem em boas condições fisiológicas e estado fitossanitário, sem feridas ou mal formações aparentes do tronco. As árvores foram abatidas e delas retiradas rodela no tronco a 3 alturas: base, a 1,30 m e imediatamente antes da bifurcação, correspondendo a uma altura média de 2,1 m.

De cada rodela foram retiradas 3 tiras, desde a medula até à periferia, relativamente equidistantes entre si. Em cada uma das tiras foram retirados 3 tipos de provetes (A, B e C), em 3 posições ao longo do raio: próximo da medula, meio do raio e periferia. Os provetes do tipo A (faces maiores na secção tangencial) tinham 5 cm x 5 cm nas direcções axial e tangencial e 1 cm na direcção radial, os do tipo B (faces maiores na secção transversal) eram de 5 cm x 5 cm nas direcções radial e tangencial e 1 cm na direcção axial, e os provetes do tipo C tinham forma cúbica, com 2 cm de aresta. Para os ensaios de variação dimensional foram seleccionados 9 provetes de cada tipo por cada árvore e nível de altura na árvore, atendendo à necessidade de ausência de defeitos e precisão de dimensões.

A metodologia utilizada baseou-se nas normas portuguesas: NP-614 – Determinação do teor de água, NP-615 – Determinação da retracção e NP-616 – Determinação da densidade. Todas as peças foram submersas em água durante os dias necessários para atingir a saturação, e depois pesadas e medidas as suas dimensões. As amostras foram depois colocadas numa estufa climatizada (KBWF, WTB Binder) com condições de temperatura e humidade relativa controladas. Os provetes foram submetidos a três séries de ensaios a temperaturas de 15°C, 22°C e 27°C e humidade relativa decrescente, desde 80% até 10%. Para cada uma das temperaturas, a humidade relativa foi regulada inicialmente para 80% e após a estabilização dos provetes estes foram pesados e determinadas as suas dimensões; de seguida regulou-se a humidade relativa para 70% e quando as peças estabilizaram novamente voltaram a ser pesadas e medidas, após o que se regulou a humidade relativa para 60% e assim sucessivamente até se atingir uma humidade de 10%. Os provetes consideraram-se estabilizados quando não existia entre duas pesagens uma variação superior a 0,5%. O controlo da estabilização foi feito com provetes testemunha seleccionados para esse fim, de modo a apresentar características representativas da variabilidade dos provetes. No final das séries de ensaios, os provetes foram secos numa estufa a  $103 \pm 2$  ° C até massa constante e determinada a massa seca das amostras e respectivas dimensões.

Todas as determinações de massa foram efectuadas numa balança (Mettler H31AR) de precisão de 0,1 mg com câmara fechada. A medição das dimensões foi feita utilizando uma craveira de leitura digital (Mitutoyo – *Digimatic caliper*) com precisão de 0,01 mm.

O teor de água de um provete, calculado de acordo com a norma NP-614, é expresso em percentagem como:  $H = \frac{m1 - m2}{m2} \times 100$

, onde  $m1$  é a massa a determinado teor de água (g) e  $m2$  a massa seca (g).

Foram calculadas, de acordo com a norma NP- 615, as seguintes variáveis:

a) Retracção linear (tangencial, radial, axial) total:  $\varepsilon = \frac{l1 - l3}{l3} \times 100$

b) Coeficiente de retracção linear (tangencial, radial, axial):  $\alpha = \frac{l2 - l3}{l3H} \times 100$

em que:  $l1$  é a dimensão, numa determinada direcção, da peça saturada (mm);  $l2$  é a dimensão, na mesma direcção, da peça seca ao ar (mm);  $l3$  é a dimensão, na mesma direcção, da peça totalmente seca (mm);  $H$  é o teor de água a determinada condição de humidade relativa do ar (%)

c) Retracção volumétrica total:  $\varepsilon_v = \frac{v1 - v3}{v3} \times 100$

d) Coeficiente de retracção volumétrica:  $\alpha_v = \frac{v2 - v3}{v3H} \times 100$

onde:  $v1$  é o volume da peça saturada (cm<sup>3</sup>);  $v2$  é o volume da peça seca ao ar (cm<sup>3</sup>);  $v3$  é o volume da peça totalmente seca (cm<sup>3</sup>);  $H$  – teor de água da peça a determinada humidade relativa do ar (%)

d) Teor de água de saturação das fibras:  $S = \frac{\varepsilon_v}{\alpha_v}$

Consideraram-se como provetes secos ao ar, os correspondentes à humidade relativa de 80%, pois que nestas condições a madeira apresentou teores de água dentro da gama de valores para a madeira seca ao ar de acordo com Carvalho (1996).

A densidade aparente da madeira ( $\rho_H$ ) foi calculada, de acordo com a norma NP-616, com a massa da amostra,  $m_H$  (g) e volume da amostra ( $v_H$ ) (cm<sup>3</sup>) a determinado teor de água (H%):

$$\rho_H = \frac{m_H}{v_H} \quad (\text{g/cm}^3)$$

A humidade a 12% foi calculada a partir da densidade a H% inferior ao teor de saturação das fibras, através da expressão (Carvalho, 1996):

$$\rho_{12} = \rho_H \left[ 1 - \frac{(1 - \alpha_v)(H - 12)}{100} \right]$$

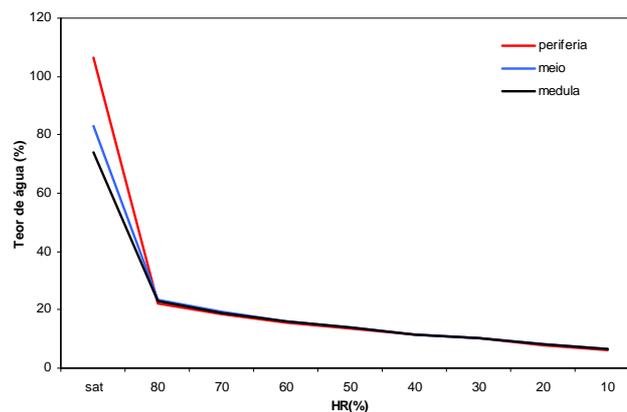
A higroscopicidade é definida como a variação da densidade quando a humidade do material varia de 1% e pode ser obtida de uma forma aproximada, também para estados de humidade inferior ao teor de saturação das fibras, através da seguinte equação (Carvalho, 1996):

$$h = \frac{(1 - \alpha_v)\rho_H}{100}$$

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

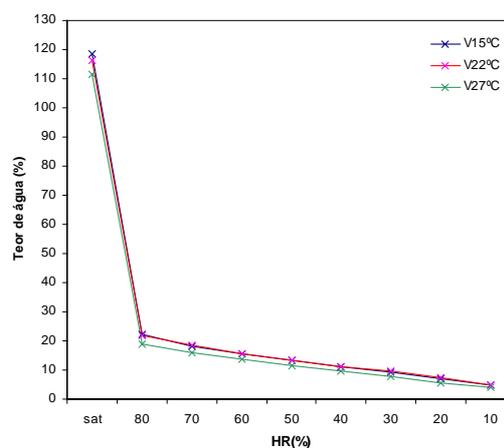
### Varição do teor de água

No estado saturado observou-se uma variação radial do teor de humidade de equilíbrio da madeira, apresentando junto à medula valores menores e a zona da periferia um maior teor de água. A Fig. 1 mostra a variação da humidade de equilíbrio da madeira de sobreiro à temperatura de 22°C em função da variação da humidade relativa do ar. A 80% de humidade relativa do ar, o teor de água da madeira foi de 22–23%, a 70% de humidade relativa de 18–19%, a 60% de humidade relativa de 16% para todas as posições radiais, decrescendo até atingir 7% para 10% de humidade relativa.



**Figura 1.** Isoterma de dessorção da madeira de *Quercus suber* L., à temperatura de 22°C e humidade relativa decrescente para provetes retirados da zona próxima da medula, do meio do raio e periferia. Média de 5 árvores.

Observou-se um comportamento semelhante da variação do teor de água com a humidade relativa do ar para as temperaturas de 15°C, 22°C e 27°C. Os valores a 27°C foram ligeiramente inferiores àqueles obtidos para 15°C e 22°C: por exemplo, a 70% de humidade relativa a madeira apresentou 16% de teor de água a 27°C, 19% a 22°C e 18% a 15°C; e a 50% de humidade relativa o teor de água da madeira foi de 11% a 27°C, 14% a 22°C e 13% a 15°C (Fig. 2).

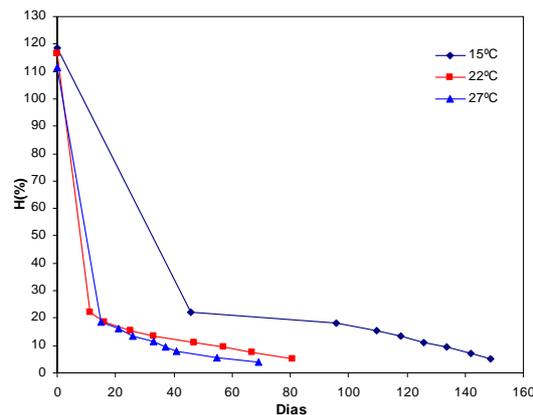


**Figura 2.** Humidade de equilíbrio da madeira (%) em relação à humidade relativa do ar (%) para temperaturas de 15°C, 22°C e 27°C. Valores médios obtidos para uma árvore.

A evolução do teor de água da madeira ao longo do tempo de exposição sob determinadas condições de temperatura e humidade relativa permitiu verificar que existe um decréscimo

acentuado nos primeiros 20 dias (correspondendo à perda de água livre), passando depois a ocorrer um decréscimo gradual (saída de água higroscópica). Observou-se um comportamento de secagem da madeira semelhante para as 3 temperaturas estudadas. A secagem foi mais lenta à temperatura de 15° C (Fig. 3).

A velocidade de remoção da água a temperaturas mais baixas diminui uma vez que a energia fornecida para a evaporação da água é menor e, de um modo geral, as temperaturas mais elevadas podem aumentar a velocidade da remoção da água. A temperatura está relacionada com o fornecimento de energia para a evaporação da água e a humidade relativa com a capacidade do ar em receber maior ou menor quantidade de vapor de água com a remoção da água da superfície da madeira (Tsoumis, 1991).



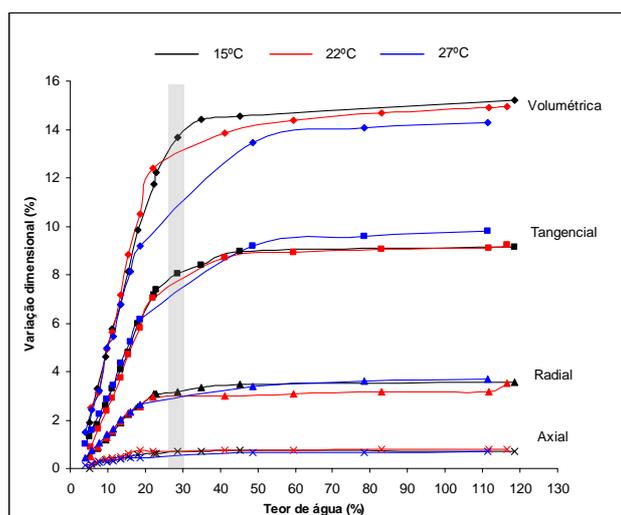
**Figura 3.** Variação da humidade de equilíbrio da madeira (%) em relação ao tempo de exposição (dias) para temperaturas de 15°C, 22°C e 27°C. Valores médios obtidos para uma árvore.

### Variação das dimensões

A Figura 4 apresenta a variação da retracção volumétrica e lineares para as três temperaturas da madeira de sobreiro. As retracções volumétricas totais e lineares (axial, radial e tangencial) sofreram decréscimos lineares desde, aproximadamente, 25% de teor em água até atingir cerca de 5% de humidade (Fig. 4). A retracção volumétrica variou com temperatura, sendo ligeiramente maior para a temperatura de 15°C e menor para 27°C. A retracção linear tangencial foi maior para a temperatura de 27°C enquanto para 15°C e 22°C foi muito semelhante. A retracção radial foi menor a 22°C e relativamente semelhante a 15°C e 27°C. Não houve variação significativa da retracção linear axial para as 3 temperaturas.

Os coeficientes de retracção linear (axial, radial e tangencial) e o coeficiente de retracção volumétrica são dados pelos coeficientes angulares dos segmentos a que correspondem os teores mais baixos de água. O coeficiente de retracção volumétrica e os coeficientes de retracção linear (axial, radial e tangencial) representam a variação dimensional correspondente à diminuição de 1% da humidade da madeira, estimável, para valores de humidade abaixo do teor de saturação das fibras (TSF), uma vez que acima dele não existe variação dimensional com a perda de humidade (Carvalho, 1996).

Verificou-se que o teor de água de saturação das fibras, em termos gráficos, dado pela abcissa do ponto de intersecção entre o prolongamento dos dois segmentos rectos do diagrama correspondente à retracção volumétrica, variou para 15°C, 22°C e 27°C entre 29%, 26% e 29% respectivamente (Quadro 1). A avaliação do ponto de saturação com precisão torna-se difícil (Tsoumis, 1991) pelo que os valores obtidos não devem ser tomados como absolutos mas como delimitadores de um intervalo de valores correspondentes ao teor de saturação das fibras. Carvalho (1996) refere um teor de saturação das fibras de 32% para a *Quercus suber* L. e para a *Quercus faginea* Lam. (carvalho português).



**Figura 4.** Diagrama de retracção da madeira de sobreiro a 15° C, 22° C e 27° C, para uma árvore. Valores médios de 3 provetes para a retracção volumétrica, linear radial e axial e valores médios de 6 provetes para a retracção linear tangencial. A área a sombreado representa a “região” do ponto de saturação das fibras.

A retracção volumétrica obtida permitiu classificar a madeira de sobreiro como retráctil e o coeficiente de retracção volumétrica como medianamente nervosa, ou seja, adequada para construção normal mas com tendência para fendilhamentos (Quadro 1).

Estes valores são inferiores àqueles encontrados para o *Quercus suber* por Carvalho (1996) mas são semelhantes em comparação com outros carvalhos, por exemplo os carvalhos americanos (Forest Products Laboratory, 1999). No que diz respeito ao carvalho português este apresenta valores ainda mais elevados (25%) classificando-se também como madeira muito retráctil, enquanto o *Quercus robur* L. (carvalho roble) apresenta 16,8% e o *Quercus pyrenaica* Willd. (carvalho negral) 18,1% (Carvalho, 1997).

A retracção ocorrida na madeira abaixo do TSF segue uma relação linear com o teor de água. A retracção na direcção tangencial foi aproximadamente duas vezes maior do que na direcção radial, o que está de acordo com a generalidade das espécies. As razões para a existência de uma diferença entre retracção radial e tangencial desta ordem de grandeza não são ainda bem conhecidas mas leva a crer que possa estar relacionado com a presença de raios, que devido à sua orientação radial, exercem uma influência restritiva para a retracção radial (Tsoumis, 1991; Siau, 1995). Já foi observado em *Quercus* spp. que a remoção de raios aumentou a retracção radial e que a retracção de tecidos do raio no sentido longitudinal é muito pequena (Tsoumis, 1991). A madeira de sobreiro apresenta uma grande proporção de raios pelo que seria de esperar uma diferença ainda maior entre a retracção tangencial e radial.

Quanto à variação da anisotropia em relação com o teor de água da madeira verificou-se para a temperatura de 15°C um comportamento diferente face às outras temperaturas. A madeira de sobreiro apresentou valores de anisotropia entre 1,8 e 2,8, com uma média de 2,3 à temperatura de 15°C e 22°C e 2,4 para 27°C (Quadro 1). Estes valores incluem-se na classe designada por alta, sendo característica de carvalhos, eucaliptos, pinho larício e criptoméria (Carvalho, 1996). Os valores de anisotropia do *Quercus suber* são semelhantes aos valores de anisotropia de outros carvalhos americanos (Forest Products Laboratory, 1999), carvalho roble e negral (Carvalho, 1997), enquanto o carvalho português apresenta valores inferiores de cerca de 1,6, (Carvalho, 1997). Os valores médios de anisotropia revelam que a madeira de sobreiro terá tendência para fendilhamento e empenamento. No entanto a estabilidade da madeira não depende só da anisotropia também da densidade. A anisotropia diminui com o aumento da densidade e, como tal, madeiras mais densas apresentam menores diferenças entre a retracção tangencial e radial (Tsoumis, 1991).

As principais características da madeira de sobreiro quanto à sua estabilidade dimensional estão resumidas no Quadro 1.

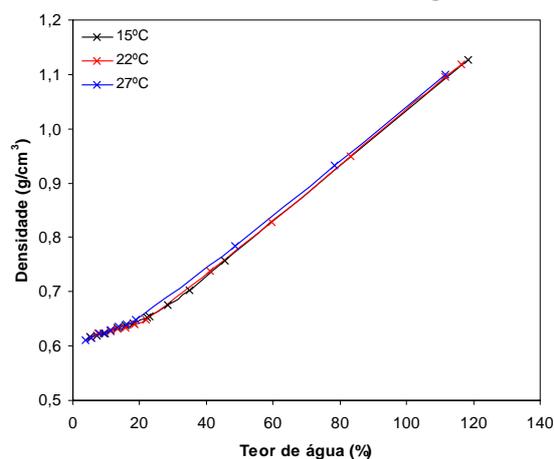
**Quadro 1.** Quadro sumário das propriedades físicas da madeira de *Quercus suber* para uma árvore.

		15°C	22°C	27°C	Classes <sup>1</sup>
S	Teor de saturação das fibras (%)	29	26	29	Normal
$\epsilon_v$	Retracção volumétrica total (%)	15,2	14,9	14,3	Média
	Retracção linear total (%)				
$\epsilon_a$	axial <sup>2</sup>	0,7	0,8	0,7	
$\epsilon_r$	radial	3,6	3,5	3,7	Fraca
$\epsilon_t$	tangencial	9,1	9,2	9,8	Média
$\alpha_v$	Coefficiente de retracção volumétrica (%)	0,53	0,56	0,49	Medianamente nervosa
$\epsilon_t / \epsilon_r$	Anisotropia	2,4	2,7	2,7	Alta
	Densidade H 12% <sup>3</sup> (g/cm <sup>3</sup> )	0,6	0,63	0,64	Leve / moderadamente pesada
	Higroscopicidade	0,003	0,003	0,003	Média

<sup>1,3</sup> Carvalho, A. (1996).  
<sup>2</sup> Normalmente a retracção linear axial total é muito baixa e como tal não é referenciada nas tabelas de classificação.  
Valores representam a média de 3 provetes.

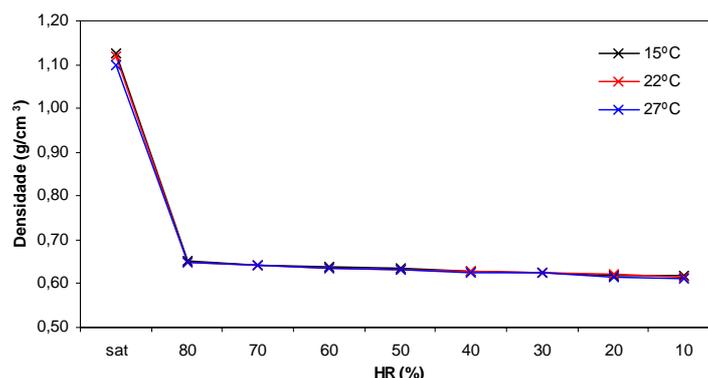
### Varição da densidade da madeira e higroscopicidade

Verificou-se um decréscimo da densidade mais acentuado desde o estado saturado até a madeira atingir cerca de 22% de teor de água, após o que o decréscimo foi menor até atingir cerca de 0,61 g/cm<sup>3</sup> a cerca de 6% de teor de humidade (Fig. 5).



**Figura 5.** Densidade da madeira (g/cm<sup>3</sup>) em relação ao teor de água (%) da madeira a 3 temperaturas (15°C, 22°C e 27°C). Valores médios para uma árvore.

A 80% de humidade relativa a densidade aparente da madeira de sobreiro foi 0,65 g/cm<sup>3</sup>, a 70% de humidade relativa foi 0,64 g/cm<sup>3</sup>, e 0,62 g/cm<sup>3</sup> a 10% de humidade relativa (Fig. 6). A densidade aparente foi maior para maiores humidades de equilíbrio da madeira, dado não haver proporcionalidade entre o aumento do teor de água (que é maior) e o aumento de volume (menor) (Siau, 1995). Em relação à variação da densidade aparente para as diferentes temperaturas não se verificaram grandes diferenças, embora a densidade a 27° C fosse ligeiramente mais elevada.



**Figura 6.** Variação da densidade ( $\text{g/cm}^3$ ) com a humidade relativa (%) a diferentes temperaturas, 15° C, 22° C e 27° C para uma árvore. Valores médios para uma árvore.

Em relação à variação da densidade a diferentes condições de humidade relativa do ar observou-se um decréscimo rápido até cerca de 70% de humidade relativa após o que o decréscimo se tornou mais lento. A 80% de humidade relativa a madeira apresentava já um teor de água inferior ao teor de saturação das fibras e, como tal, esse decréscimo corresponde ao período de sorção da água higroscópica.

A densidade à humidade de 12% (H12%) foi  $0,63 \text{ g/cm}^3$  a 15°C e 22°C enquanto a 27°C foi  $0,64 \text{ g/cm}^3$  (Quadro 1). A madeira de sobreiro é caracterizada segundo Carvalho (1997) por apresentar  $0,75 \text{ g/cm}^3$ , valores de densidade mais elevados também são característicos de outros carvalhos, por exemplo, o carvalho português apresenta  $0,89 \text{ g/cm}^3$ , o carvalho roble  $0,71 \text{ g/cm}^3$  e o carvalho negral  $0,75 \text{ g/cm}^3$ .

Os valores de higroscopicidade da madeira de sobreiro foram aproximadamente iguais para as 3 temperaturas (0,003) situando-a na classe média, à qual pertencem espécies como por exemplo o carvalho roble, castanhos, freixos e pinhos diversos.

## Conclusões

A madeira de sobreiro pode ser considerada medianamente nervosa, retráctil, com retractibilidade radial fraca e tangencial média, elevada anisotropia, alto teor de saturação das fibras, moderadamente pesada e com higroscopicidade média.

A humidade de equilíbrio da madeira variou de forma semelhante para as temperaturas estudadas (15°C, 22°C e 27°C) desde o estado de saturação até 10% de humidade relativa. A variação radial das propriedades estudadas foi muito pequena.

## AGRADECIMENTOS

O trabalho insere-se no projecto europeu SUBERWOOD - Strategy and technology development for a sustainable wood+cork forestry chain.

## BIBLIOGRAFIA

- Carvalho, A.1996. Madeiras Portuguesas. Estrutura anatómica, Propriedades e Utilizações. Vol. I. Direcção-Geral das Florestas. Lisboa. 340 pp.
- Carvalho, A.1997. Madeiras Portuguesas. Estrutura anatómica, Propriedades e Utilizações. Vol. II. Direcção-Geral das Florestas, Lisboa.

- Forest Products Laboratory. 1999. Wood handbook—Wood as an engineering material. Gen. Tech. Rep. FPL–GTR–113. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 463 p.
- I.P.Q. 1973. NP-614. Madeiras. Determinação do teor em água. Lisboa.
- I.P.Q. 1973. NP-615. Madeiras. Determinação da retracção. Lisboa.
- I.P.Q. 1973. NP-616. Madeiras. Determinação da massa volúmica. Lisboa.
- Siau, J.F. 1995. Wood: influence of moisture on physical properties. Department of wood Science and Forest Products. Virginia Polytechnic Institute and state university. 227 pp.
- Tsoumis, G. 1991. Science and Technology of wood. Structure, Properties, Utilization. Van Nostrand Reinhold. Nova Iorque. 494pp.