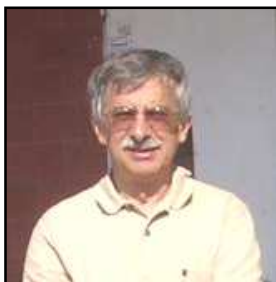


Bem utilizar madeiras portuguesas na construção / reabilitação

José A. Santos

PhD Inv. LNEG, Estrada do Paço
Lumiar, 22 – 1649-038 Lisboa
jose.santos@lneg.pt



M. Carlota Duarte

Engª Assist. LNEG Estrada do Paço
do Lumiar, 22 – 1649-038 Lisboa
carlota.duarte@lneg.pt



Joana M. Santos

MSc, Bolseira LNEG Estrada
do Lumiar, 22 – 1649-038 Lisboa
joana.santos@lneg.pt



Luís Pestana

Engº Mec. Estrada do Paço
do Lumiar, 22 – 1649-038 Lisboa
llucamarap@hotmail.com



Palavras-chave – Pinho bravo, eucalipto, carvalho negral, secagem, utilização, construção

Keywords – maritime pine, eucalyptus, pyrenean oak, drying, uses, construction

RESUMO

É explicada a optimização do processo de fabrico de componentes, desde a serração, secagem, fabricação e acabamento, para três das espécies de madeira produzidas de forma sustentável em Portugal: o pinho bravo; o eucalipto; e o carvalho negral. Aborda-se a 1ª transformação tendo em conta medidas protectoras e padrões de serragem para maior rendimento e qualidade. A secagem das três espécies descritas apresenta comportamentos muito diferentes, sendo o Pinho bravo fácil e rápido de secar a elevadas temperaturas enquanto o eucalipto e o carvalho negral são madeiras muito densas e de secagem muito demorada e difícil. São feitas recomendações da melhor forma para conseguir madeira de qualidade, nomeadamente a definição dos gradientes e o processo de secagem descontínua e em secador solar. São apresentados quadros com as principais propriedades destas espécies, como sejam a massa volúmica, as retracções, a resistência mecânica e elasticidade à flexão, a resistência à compressão paralela, corte paralelo e tracção transversal. Será dada indicação das aplicações em revestimentos de piso, em estruturas e mobiliário. Finalmente apresenta-se uma análise das vantagens económicas e ambientais da utilização da madeira na construção, em particular na reabilitação, com exemplos de sucesso de aplicação e recomendações para a boa utilização.

ABSTRACT

In this paper it is explained the sequence of the optimized manufacturing process, from the sawing, drying, cutting and finishing, for the three main species of wood available and produced in Portugal, namely Maritime pine, Eucalyptus and Pyrenean oak. The first part is dedicated to the sawing pattern for higher economic performance and quality.

The drying of the three species described in this paper presents very different behaviors, and while Maritime pine dries quickly and easily at high temperatures the eucalypt woods and Pyrenean oak being very dense are very difficult and slow to dry.

Recommendations are made in order to obtain the best quality, including the determination of the gradients and the discontinuous drying.

Tables are provided with the main properties of these species, such as the density, the shrinkage, the mechanical strength and bending, elasticity, parallel compressive strength, shear and transverse traction.

Information will be given indicating special applications in flooring, furniture and structures.

Finally it discussed the economic and environmental impact of the use of wood in construction, in particular in rehabilitation, including examples of successful implementation.

1. Introdução

A madeira de pinho bravo tem sido muito estudada por vários investigadores (Mateus), (Carvalho) entre outros, mas recentemente apareceu um problema que está a condicionar o processo de transformação e comercialização desta espécie. É a doença chamada nemátodo da madeira do pinheiro (NMP), causada pela propagação em árvores vivas de um verme que põe em risco a floresta portuguesa, mas também de outros países da Europa e do Mundo. Por este motivo criaram-se mecanismos de obrigatoriedade de tratamento fitossanitário de toda a madeira a transportar assim como dos produtos fabricados. Na prática um tratamento eficaz passa pela secagem em secador de alta temperatura, desde que se comprove que toda a massa da madeira esteve submetida a uma temperatura de pelo menos 56 °C durante pelo menos 30 minutos (NP 4487:2009). Há indicações para que a temperatura mínima seja aumentada para 58 °C. Esta exigência torna-se irrelevante visto que um processo de secagem de Resinosas vai normalmente até cerca de 85 °C.

As madeiras de eucalipto comum e de carvalho negral têm sido menos estudadas para utilizações nobres como a construção, carpintaria e mobiliário, mas estudos recentes divulgam toda a informação conducente à secagem de qualidade e tecnologia de transformação (Santos, 1998) e (Carvalho, 2005).

Numa tese de doutoramento (Santos, 2007) encontra-se informação sobre as propriedades mecânicas menos conhecidas das madeiras das espécies pinheiro bravo e eucalipto comum, que se reproduzem noutras secções deste documento.

2. Serragem

A serragem segundo a definição constante na norma NP EN 844-3 consiste na operação que permite obter peças de superfícies planas de dimensões bem definidas, a partir de peças maiores ou de toros redondos, através de corte por arranque de apana no sentido longitudinal. Tendo em conta a particularidade geométrica da formação da madeira por camadas concêntricas e sabendo-se da anisotropia de propriedades em função das direcções de referência, torna-se evidente que nesta operação se tomam opções decisivas no que diz respeito à qualidade da madeira.

Segundo estudos anteriores (Santos, 2008), estão perfeitamente identificadas as zonas do toro onde a qualidade da madeira é menor e que dão origem à maior parte dos defeitos. Uma é a zona de lenho juvenil que rodeia a medula até à quarta ou quinta camada de crescimento, onde, para todas as espécies florestais, o lenho é mais susceptível aos empenos e à podridão, tem maiores retracções e desvios do fio e a resistência mecânica é menor. A outra zona de menor qualidade é a zona de transição entre o cerne e o borne, que embora apresente muito elevada resistência mecânica tem tensões internas muito fortes, causadoras de empenos e dificuldades, tanto na serragem em verde como em cortes posteriores em seco.

Para conseguir otimizar a obtenção de madeira de qualidade, eliminando as zonas que causam mais defeitos, e ainda maximizar a produção de peças com corte radial a sequência de serragem recomendada é a que se apresenta na sequência de figuras de 1 a 4. Na Figura 1 mostram-se os dois primeiros fios de corte com a obtenção de uma costaneira e uma prancha com uma face com forte descaio. Após este corte faz-se uma rotação de 90º e repetem-se os cortes semelhantes, 3º e 4º fio, Figura 2.

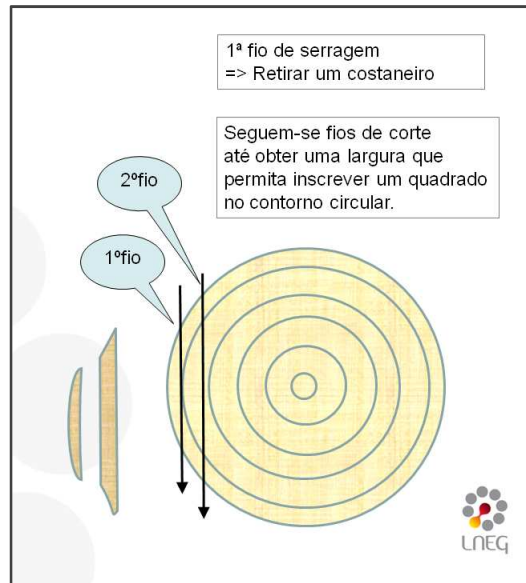


Figura 1 – Primeiros fios de corte no início da serragem.

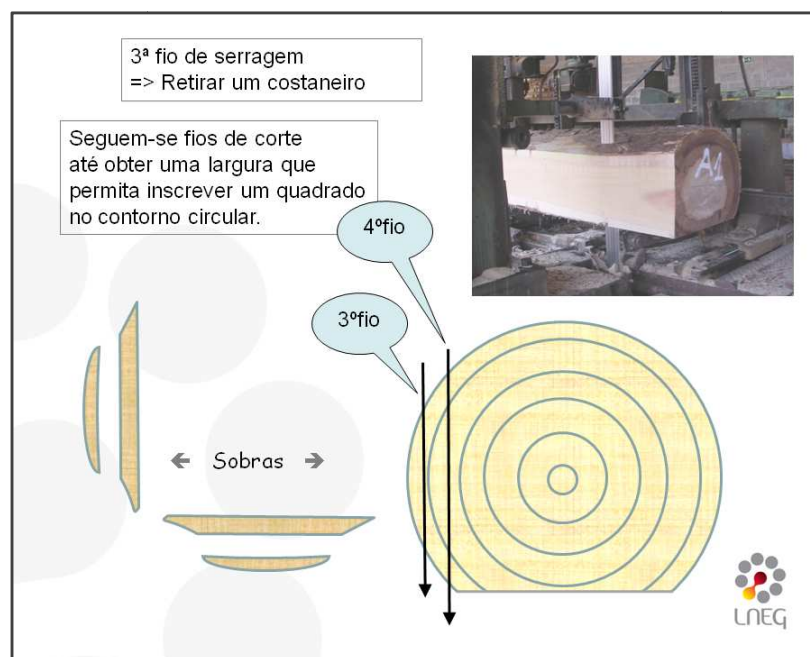


Figura 2 – Segundos cortes da serragem eficiente.

Na Figura 3 mostra-se a sequência de cortes após uma segunda rotação do toro de 90°, terminando-se esta fase com um fio de corte passando pela medula (centro do toro).

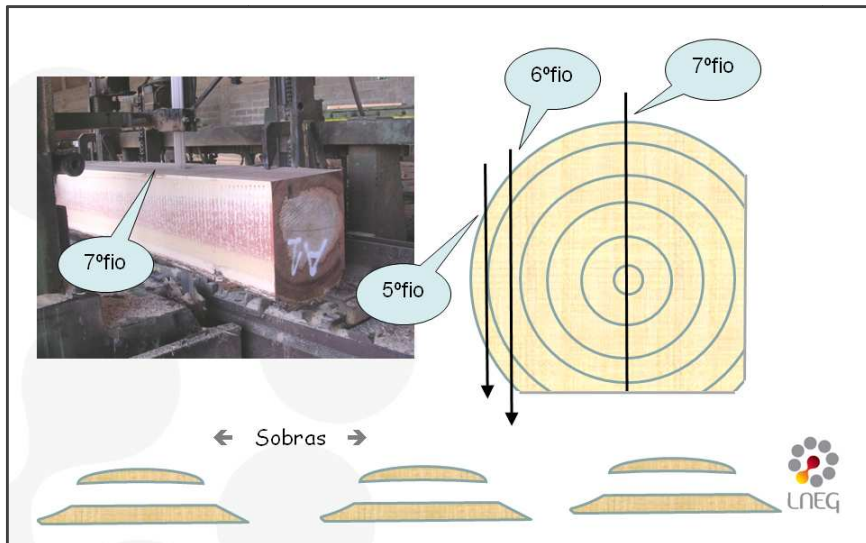


Figura 3 – Cortes intermédios numa serragem eficiente.

A última fase da serragem otimizada consiste em fazer cortes repetidos nos dois semi-pranchões resultantes do corte do toro a meio. A partir daqui obtêm-se peças de madeira de faces inteiras, arestas vivas e larguras regulares, Figura 4.

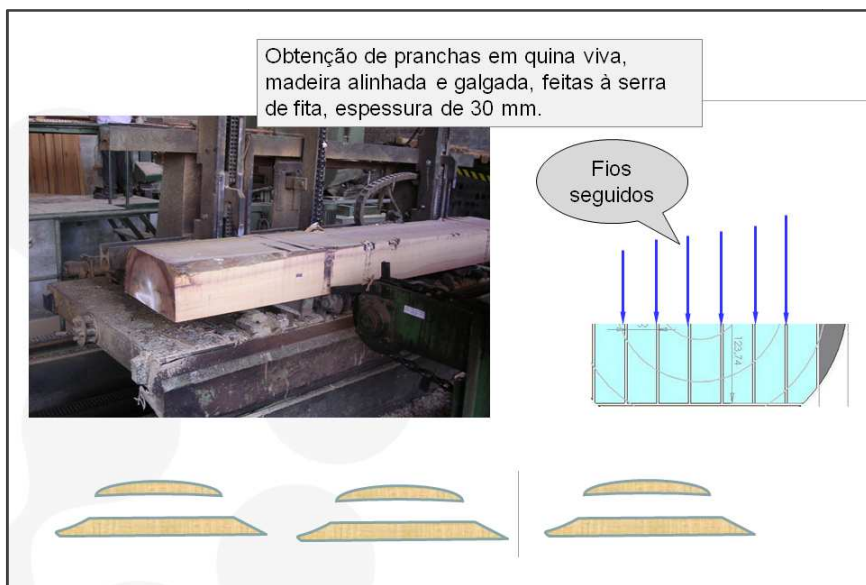


Figura 4 – Corte final em pranchas com largura definida e arestas vivas.

Com base na experiência adquirida em anteriores trabalhos de serragem da madeira de eucalipto de grande diâmetro, permitiu construir-se o Quadro I onde se mostra o rendimento esperado na transformação de toro em pranchas galgadas com secção de 25x 2,7 cm². O primeiro toro, embora de maior diâmetro tem um rendimento pior do que o segundo e terceiro toros, pois estes últimos têm uma geometria cilíndrica mais regular.

Quadro I - Rendimento esperado de serragem de um toro de eucalipto.

Dap (cm)	Altura (m)	Toros	ϕ (cm)	Comp. (m)	N.º pranchas (25x2,7 cm2)	Volume Toro (m3)	Volume pranchas aproveitadas (m3)	Rendimento de serragem (%)
60	25	1º	52	2.7	18	0,573	0,33	57%
		2º	46	2.7	16	0,448	0,29	65%
		3º	44	2.7	14	0,410	0,26	62%
		4º	42	2.7	11	0,374	0,20	54%
		5º	40	2.7	7	0,339	0,13	38%

3. Secagem

Para a madeira ser utilizada em boas condições é necessário passar por uma boa operação de secagem. A secagem natural ao ar revela-se insuficiente para utilizações em mobiliário e carpintaria, onde a estabilidade dimensional é fundamental para a qualidade dos produtos. Assim tem de se enveredar pela secagem, dita artificial, sendo a mais usual a que é feita em secador de ar quente. A secagem natural, além de ser demorada e incorrer em riscos de introdução de defeitos (falta de homogeneidade, fendas de topo, desenvolvimento de manchas), não consegue atingir valores suficientemente baixos para certas exigências (8 a 12%).

A secagem em secador, se for feita de imediato após o abate e serragem, tem a vantagem de eliminar a necessidade dos tratamentos químicos contra o azulamento no pinho, sendo actualmente o processo recomendado para eliminação de larvas de insectos e o nemátodo da madeira do pinheiro, o que é conseguido com temperaturas superiores a 60°C.

A madeira de pinheiro seca facilmente e relativamente rápido em secadores de ar quente, podendo passar de verde, até 12% de teor em água, em espessuras de 27mm, em pouco mais de 3 dias.

No caso de madeiras de secagem lenta, como é o caso do eucalipto e do carvalho, em que a migração da água do interior até às superfícies se faz muito lentamente, há o risco das zonas próximas da superfície ficarem com uma grande diferença de teor de água relativamente às camadas do interior, tendo como consequência a abertura de muitas, e inicialmente pequenas, fendas superficiais. A constatação destas fendas superficiais é um indicador simples mas seguro de que o processo não está a ser conduzido de forma eficaz. Assim uma forma de evitar tensões de secagem e fendas profundas é fazer uma condução com gradientes reduzidos entre o teor de água à superfície e no interior. Na prática uma medida de emergência pode ser humidificar ou mesmo molhar abundantemente as madeiras sempre que se observem estas pequenas fendas superficiais. Isto é particularmente importante em períodos secos ou zonas demasiado ventosas, não havendo o perigo de causar qualquer problema nos eucaliptos embora nos carvalhos possam aparecer manchas superficiais de arrastamento de taninos.

A formação das pilhas de secagem constitui outro aspecto importante, determinante para o bom desenvolvimento do processo. As pranchas devem ficar bem alinhadas com as régua de separação regularmente distribuídas e bem alinhadas verticalmente, com um correspondente apoio de barrote na base. Tendo em conta a necessidade de extremos cuidados na secagem com qualidade das madeiras de eucalipto e carvalho, é também insistentemente recomendada a colocação de pesos sobre as pilhas de madeira, se possível cerca de 1000 kg por cada metro quadrado. A colocação de pilhas sobrepostas facilita o processo, mas é necessário tomar cuidados no que diz respeito à segurança, visto que pesos colocados em níveis elevados constituem um perigo de queda ou desmantelamento da pilha. Uma solução de compromisso é substituir os pesos por cintas de fibras com sistema de aperto, que se vai ajustando à medida do decurso da operação.

Embora a secagem seja uma operação necessária e com vantagens para o bom comportamento final, pode, se for incorrectamente conduzida, levar ao aparecimento dos seguintes defeitos:

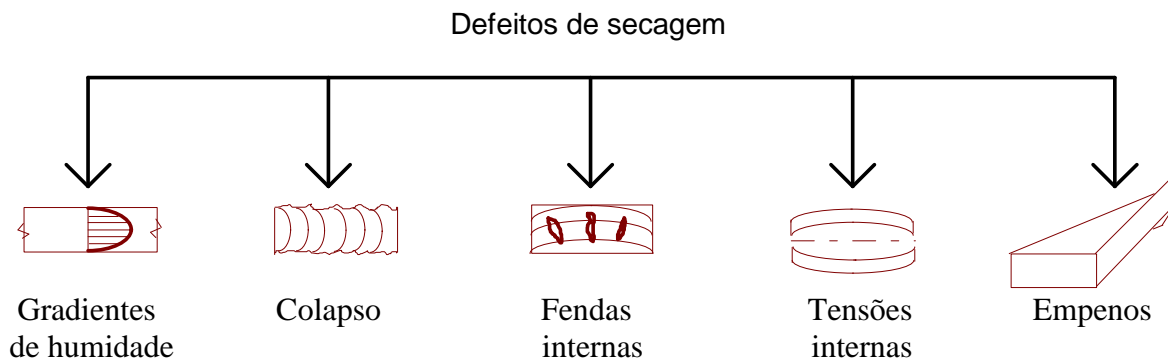


Figura 5 – Tipos de defeitos causados ou agravados por uma deficiente operação de secagem.

4. Propriedades mecânicas

A nível microscópico, segundo Mascia (1991), mesmo na hipótese de não se considerar nenhuma simplificação nem simetria do material, o comportamento exacto desse material não é fácil de simular por métodos matemáticos, pois o seu modelo elástico necessitaria da definição de um tensor dependente de 81 constantes, o que em termos práticos é obviamente inviável. Para análise em engenharia é considerada satisfatória a simplificação para nove constantes, no caso de um material ortotrópico e ainda uma maior simplificação para três constantes (E , ν e G) no caso de materiais isotrópicos. Num modelo intermédio teríamos de considerar a sucessão de camadas de lenho inicial e de lenho final, com características muito distintas.

Na madeira, mesmo a nível macroscópico, as características físicas e mecânicas variam regularmente, e de forma bem marcada, do centro geométrico do tronco para a sua periferia, passando sucessivamente pela medula, lenho juvenil, e lenho adulto do cerne e borne.

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 amostras de dimensões normalizadas. Também os ensaios de provetes com elevada dimensão são satisfatórios a nível de aplicação industrial, pois as variações localizadas à escala microscópica ficam distribuídas aleatoriamente, perdendo importância relativa. Para cálculo em projecto 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 determinados como sendo os correspondentes ao quinto percentil de uma distribuição normal, como se define na norma europeia EN 338:2003 Structural timber - Strength classes.

A madeira é um material relativamente complexo a nível de comportamento mecânico e estrutural. Tratando-se de um composto natural essencialmente constituído por dois polímeros de natureza completamente diferente. A celulose com características cristalinas e com uma forma alongada e de elevadíssima resistência à tracção, enquanto a lenhina é um polímero amorfo de natureza termoplástica. A organização interna destes dois componentes é muito particular, começando pelo facto de ser uma estrutura orientada no eixo paralelo ao axial e ainda uma organização radial em camadas de crescimento também com forte variação interna. As células da madeira são essencialmente de estrutura oca, formada em grande parte por espaços vazios.

As considerações anteriores implicam que a madeira tem um comportamento muitíssimo eficaz do ponto de vista estrutural se tivermos em conta a sua baixa massa volúmica, mas também uma elevadíssima anisotropia que torna extremamente complexa a modelação matemática. Para conhecer a madeira em todos os aspectos da mecânica dos materiais, teremos de considerar quase todas as hipóteses teóricas de solicitação mecânica e para cada uma têm de se definir procedimentos de ensaio diferentes e muitas vezes difíceis de materializar.

No Quadro II mostram-se de forma sistematizada os ensaios possíveis de realizar em madeira e os símbolos definidos nas mais recentes Normas Europeias.

Quadro II – Ensaio mecânicos para completa caracterização mecânica da madeira, segundo as normas Europeias.

$\sigma_{t,L}$	Tracção paralela à fibras
$E_{t,L}$	Módulo de elasticidade à tracção paralela
ν_{LR} e ν_{LT}	Coefficientes de Poisson na tracção paralela
$\sigma_{c,L}$	Compressão paralela às fibras
$E_{c,L}$	Módulo de elasticidade à compressão paralela
$\sigma_{t,R}$	Tracção transversal na direcção radial
$\sigma_{t,T}$	Tracção transversal na direcção tangencial
$E_{t,R}$ e $E_{t,T}$	Módulos de elasticidade à tracção transversal (radial e tangencial)
ζ_{LR} e ζ_{LT}	Corte paralelo às fibras nos planos radial e tangencial
ζ_T	Corte transversal
ζ_{TR} e ζ_{RT}	Corte por enrolamento
G_{LR} e G_{LT}	Módulos de corte no corte paralelo
$\sigma_{c,R}$ e $\sigma_{c,T}$	Compressão transversal
f_m	Flexão a quatro pontos
f_m	Flexão a três pontos
E_f	Módulo de elasticidade à flexão
$w_{f,t}$	Fluência à flexão
$\sigma_{c,L}$	Ensaio de compressão sob concentração de tensões

Na Figura 6 mostra-se a comparação dos valores das propriedades axiais, obtidos em ensaios de madeira sem defeitos, comparando-os com os limites de proporcionalidade (zona de comportamento quase elástico) e os valores característicos para as classes “EE – Especial Estruturas” e “E - Estruturas”, segundo os critérios de classificação visual estabelecidos na norma NP-4305 Madeira serrada de pinheiro bravo para estruturas. Classificação visual. A classe E corresponde à classe C18 da norma Europeia EN 338, uma vez que o valor característico da tensão de ruptura à flexão desta madeira se aproxima dos 18 MPa.

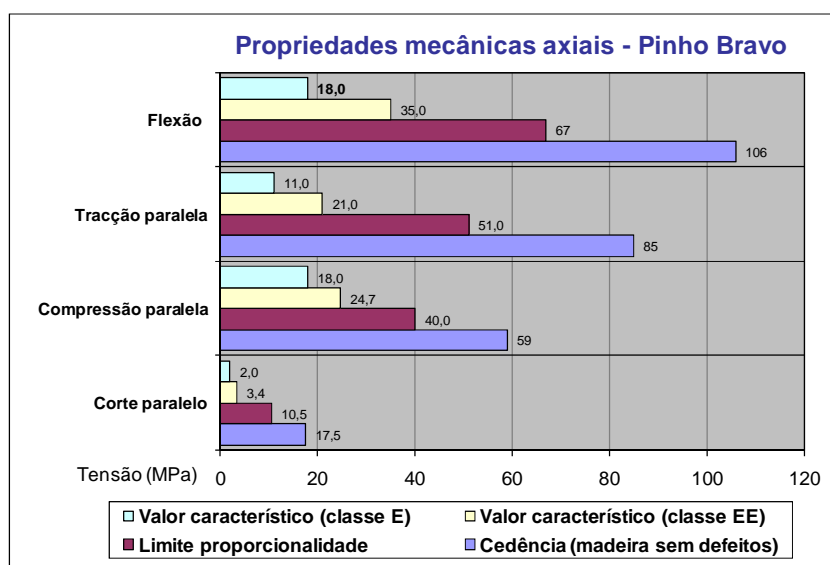


Figura 6 – Propriedades mecânicas axiais do pinho bravo.

Na Figura 7 mostram-se as propriedades mecânicas transversais do pinho bravo, seguindo a mesma forma de apresentação, como seja, a azul claro os valores característicos da classe C18, madeira classificada visualmente como "E-Estruturas", a amarelo os valores característicos da classe C35 madeira classificada visualmente como "EE-Especial Estruturas", a castanho a média dos valores de resistência no limite de proporcionalidade e a azul-violeta a média dos valores de tensão máxima.

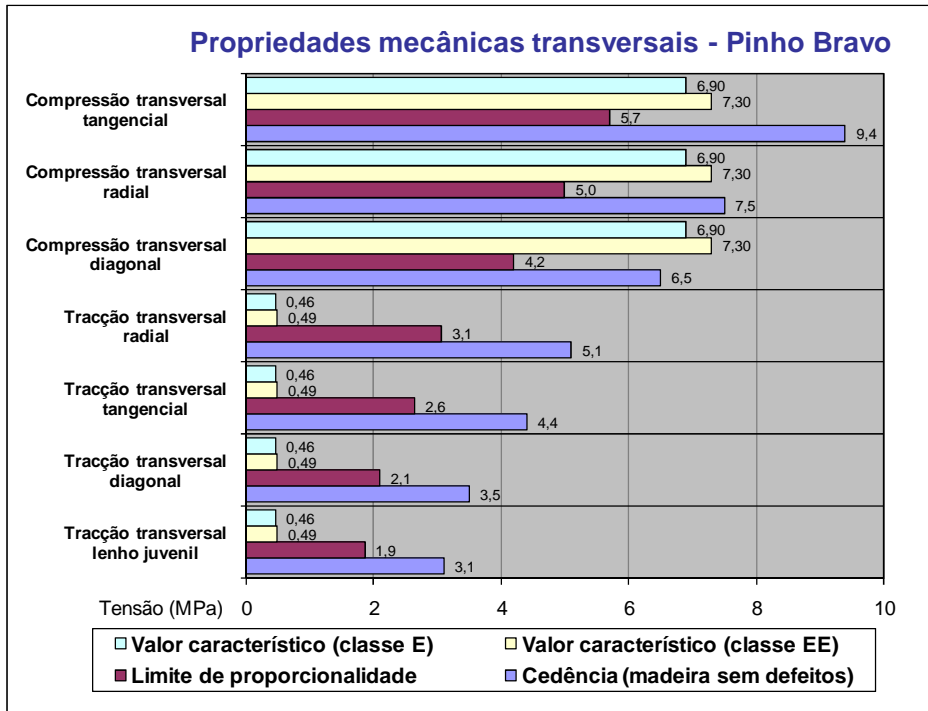


Figura 7 – Propriedades mecânicas transversais do pinho bravo (Santos, 2007).

Na Figura 8 mostram-se os valores médios das propriedades axiais do eucalipto, resultantes de ensaios em pequenos provetes de madeira sem defeitos.

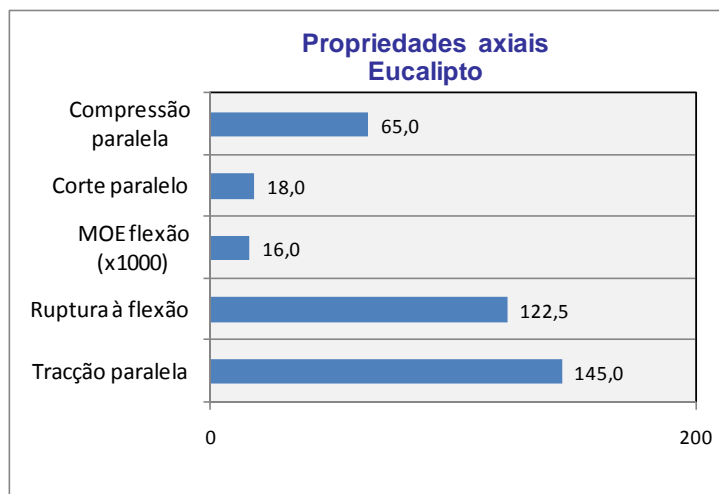


Figura 8 – Propriedades mecânicas axiais do eucalipto comum (Santos, 2007).

Na Figura 9 mostram-se os resultados dos ensaios de eucalipto comum correspondentes às propriedades transversais, tais como os da Figura 8, obtidos nos ensaios descritos na tese de doutoramento (Santos, 2007).

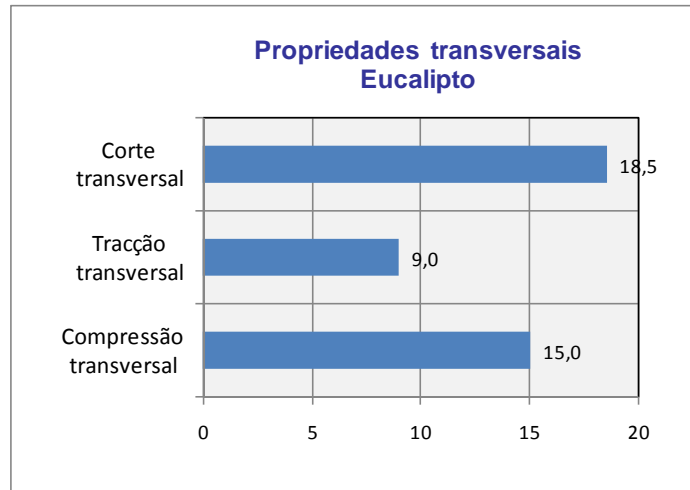


Figura 9 – Propriedades mecânicas transversais do eucalipto comum (Santos, 2007).

Nas Figuras 10 e 11 mostram-se os valores médios da resistência da madeira de carvalho negral, nas direcções axial e transversal respectivamente, resultados obtidos no estudo sobre a madeira de carvalho negral publicado em livro (Carvalho, 2005), com o suporte de um projecto financiado pelo programa Agro.

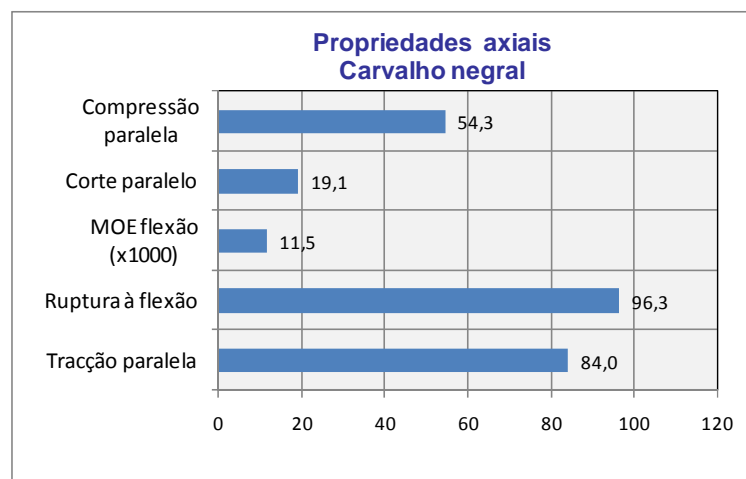


Figura 10 – Propriedades mecânicas axiais do carvalho negral (Carvalho, 2005).

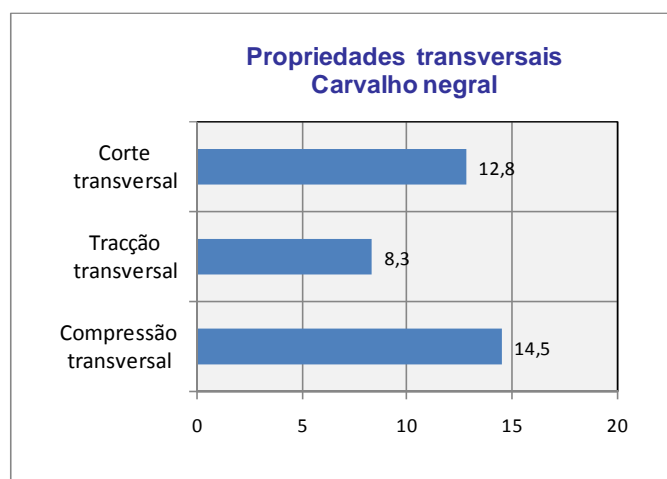


Figura 11 – Propriedades mecânicas transversais do carvalho negral (Carvalho, 2005).

Dos estudos das três principais espécies de madeiras portuguesas com interesse industrial, salientam-se os seguintes pontos: a) A madeira de pinheiro bravo sem defeitos apresenta uma resistência mecânica axial menor do que do eucalipto e do carvalho, mas se se tiver em conta a sua maior facilidade de transformação industrial e o seu mais baixo valor de densidade, é uma madeira muito compensadora para aplicações estruturais de grandes dimensões; b) Nas propriedades transversais o pinho bravo apresenta uma acentuada desvantagem relativamente ao eucalipto e ao carvalho, pelo que, por exemplo nos revestimentos de solo, se mostra claramente em desvantagem em relação ao eucalipto e ao carvalho.

5. Influência dos defeitos e do processamento nas propriedades da madeira

Os valores das características físicas e mecânicas determinadas em laboratório e presentes nas tabelas técnicas, correspondem a amostras feitas com madeira limpa de defeitos e com cortes perfeitos no que diz respeito ao alinhamento entre as arestas e as direcções dos elementos fibrosos da madeira. A presença de nós ou fendas faz diminuir enormemente os valores da resistência. Para tal existem critérios de classificação visual que levam em conta a dimensão dos defeitos e a sua localização e orientação. Um factor muitas vezes não suficientemente levado em conta é o do alinhamento da direcção das fibras com as arestas na direcção longitudinal. O defeito resultante tem o nome de “fio diagonal” que sendo do conhecimento comum de quem utiliza a madeira com finalidades estruturais, nem sempre é quantificado com precisão. Na Figura 12 são representadas graficamente a resistência à compressão e o módulo de elasticidade à compressão, em função do desvio do ângulo em relação aos elementos fibrosos da madeira. Registe-se que as diminuições de carga são muito significativas mesmo para valores baixos do ângulo do “fio diagonal”.

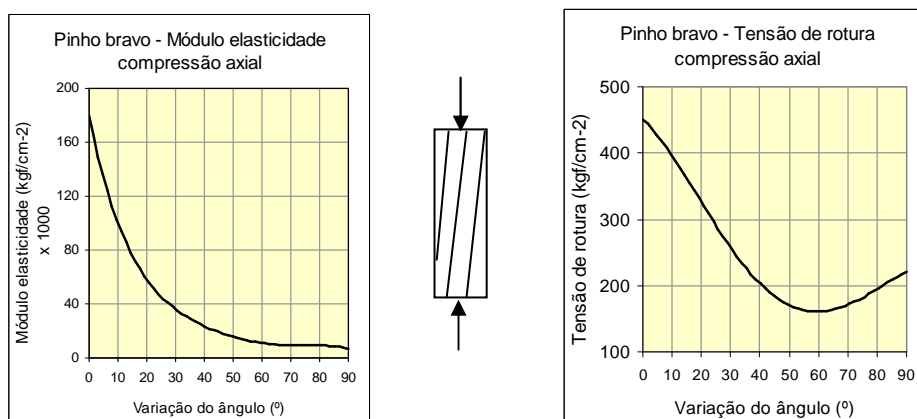


Figura 12 – Variação da tensão de rotura à compressão axial e do módulo de elasticidade com o ângulo entre a aplicação da força e a direcção do fio da madeira. [Mateus]

6. Estabilização dimensional da madeira

O movimento da madeira em reacção às mudanças de humidade ambiente, além de ser a principal causa de não conformidades em peças acabadas (folgas, inchamentos, empenos, fendas) é também a causa da delaminação/escamação dos acabamentos e por consequência motivo potenciador da degradação biológica.

A estabilização da madeira pelo calor é o único método conhecido que pode alterar definitivamente a higroscopicidade da madeira.

Em vários tipos de processamento como a secagem, a estabilização dimensional, a fabricação da pasta de papel e a produção de aglomerados de partículas e de fibras, a madeira é sujeita a elevadas temperaturas. A destruição da estrutura, ou seja a conversão de componentes base em outros, ocorre a temperaturas acima de 200 °C; a pirólise da madeira começa a temperaturas superiores a 270 °C. Kollmann (1975) mostrou que a perda do peso durante o aquecimento é aproximadamente proporcional ao quadrado da respectiva redução no inchamento. A energia de

activação da reacção térmica é de 28000 calorias por mole de água perdida na presença ou na ausência de um catalisador ácido, contudo, os ácidos aumentam muito a velocidade da reacção.

Num trabalho publicado na revista *Wood Science* (Santos, 2000), comprovou-se que é possível realizar a modificação térmica da madeira de eucalipto, registando-se uma significativa melhoria na diminuição de absorção de água e consequentemente na sua estabilização dimensional. Embora haja um aumento da rigidez à flexão estática assinala-se como aspecto negativo uma fragilização na reacção ao impacto e menor deformação antes de ruptura à flexão.

A madeira de pinheiro bravo pode também ser tratada termicamente para a tornar mais estável dimensionalmente e aumentar a resistência à degradação biológica, incluindo o ataque de larvas de insectos. As térmitas só em condições extremas de falta de alternativa de alimento é que usam a madeira modificada pelo calor.

A repelência é uma interessante propriedade que consiste em criar uma incompatibilidade entre uma superfície de um material e a água. Numa observação macroscópica nota-se a água em forma de gotículas arredondadas pela tensão superficial, uma vez que não há impedimento da adesão à camada superficial dos outros materiais, Figura 13.



Figura 13 – Repelência à água na superfície do eucalipto induzida por tratamento químico.

Um método de avaliação do comportamento dimensional face à presença da água - maior ou menor estabilidade, é descrito na norma americana ASTM D 4446-84. Esta propriedade pode ser induzida, quer com o simples polimento das superfícies, como com a aplicação de produtos químicos como sejam os da família das ceras, óleos e gorduras não miscíveis com a água, silanos, nanopartículas, etc.. Consiste na determinação da capacidade que os produtos preservadores “repelentes”, aplicados nas amostras de madeira, têm em retardar as variações dimensionais da madeira. O método é também usado para determinar o inchamento das amostras de madeira não tratadas. A repelência é determinada por uma razão entre os inchamentos da amostra-não-tratada e da amostra-tratada, ao fim de 30 minutos de imersão em água destilada, e é dada pela expressão [1]:

$$\text{Repelência (\%)} = \frac{\text{inch}(\text{controlo}) - \text{inch}(\text{tratado})}{\text{inch}(\text{controlo})} \times 100 \quad [1]$$

Os estudos mais recentes apontam, como solução para o próximo futuro a utilização de silanos e siloxanos (família química dos silicões) como muito interessantes para conferir repelência à água e assim contribuir para a estabilização dimensional das madeiras. A dificuldade até ao presente tinha sido a quase impossibilidade de fazer penetrar estes produtos em profundidade na madeira, pelo tamanho das suas moléculas relativamente ao calibre dos poros e vasos das madeiras. No LNEG foram realizados ensaios com a dissolução de silicões em CO₂ super crítico, mas este super solvente arrastava também produtos extractivos da madeira que contrariavam a propriedade que se pretendia melhorar. Há informações de estudos em Universidades dos Estados Unidos que conseguem impregnar silanos e siloxanos na madeira por meio de solventes apropriados.

Um resultado eficaz e duradouro só pode ser conseguido com um tratamento que consiga uma certa penetração no substrato, pois caso contrário a abrasão da superfície elimina a camada protectora.

7. Protecção da madeira

Os acabamentos em madeira, nomeadamente o envernizamento, a pintura, a lacagem e a protecção com velaturas são operações indispensáveis para conferir a uma obra de madeira o seu bom aspecto final, protecção contra a degradação pelos agentes atmosféricos, contra a humidade, degradação biológica por insectos ou fungos ou muito simplesmente contra a sujidade. Nos últimos anos a evolução da indústria química e também as cada vez mais restritivas normas de protecção ambiental têm provocado uma enorme necessidade de evolução neste tipo de produtos.

Neste campo da protecção da madeira há que distinguir dois grandes campos de actuação: a) A protecção em interior; b) A protecção em exterior. No primeiro caso trata-se essencialmente de proteger contra a sujidade ou contacto pontual e rápido com água. Não há o efeito destruidor da radiação UV, pelo que os vernizes são largamente utilizados, permitindo valorizar o potencial decorativo da cor e desenho das madeiras. Em utilizações especiais, como é o caso dos revestimentos de piso, as madeiras mais macias como é o caso do pinho bravo, necessitam adicionalmente de uma camada superficial que lhe permita resistir à abrasão. Neste caso usam-se as resinas de película dura como os poliuretanos, vernizes de cura UV, epoxídicas e outras.

Nos acabamentos para exterior os produtos que formam uma película protectora são aparentemente muito eficazes por impedirem nos primeiros tempos as entradas de água, mas na realidade a degradação causada pelo tempo torna as películas cada vez menos elásticas, acabando por deixar de acompanhar os inevitáveis movimentos da madeira.

Para comprovar muito do que foi afirmado anteriormente mostram-se na Figura 14 os resultados comparativos de vários produtos e diferentes condições de aplicação, após seis anos de exposição ao exterior, num painel de ensaio virado a Sul com uma inclinação vertical de 39°.

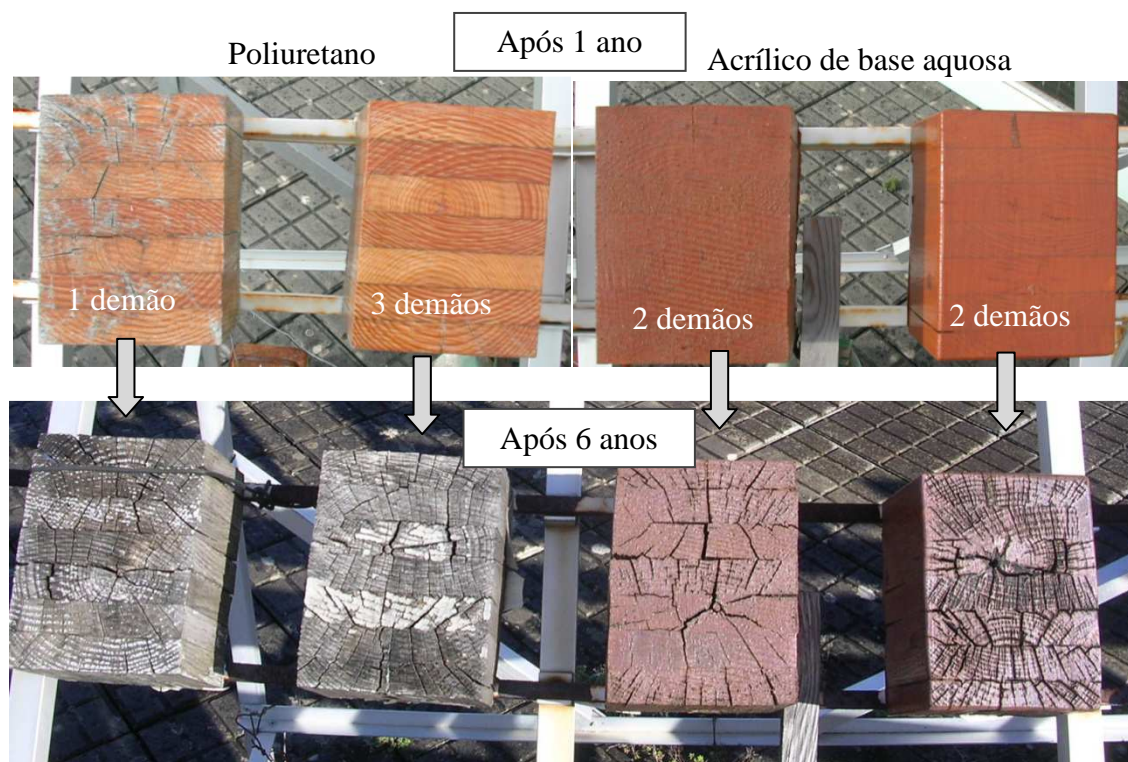


Figura 14 – Resultados de envelhecimento de acabamentos ao fim de 6 anos de exposição ao exterior..

Na figura anterior registam-se algumas conclusões importantes: a) Num curto prazo de um ou dois anos é muito importante a aplicação de mais do que uma demão, em produtos que fazem uma película protectora; b) Os produtos que perdem a elasticidade ao fim de algum tempo de

secagem (como o verniz poliuretano sem manutenções) acaba por perder completamente a capacidade protectora; c) Os vernizes acrílicos de base aquosa com pigmento mantêm uma razoável capacidade de resistência ao tempo, mas também a sua perda de elasticidade acaba por permitir o desencadear do processo de degradação.

O aparecimento constante de novos produtos levanta enormes dúvidas nos utilizadores sobre a sua eficácia, forma de aplicação e manuseamento, etc., sendo a maior parte das vezes a informação disponível muito reduzida, sobretudo ao nível de uma perspectiva global, com os diferentes produtos, os campos preferenciais de aplicação, custos, ensaios de controlo e comportamento, e sobretudo a longo prazo.

Outros tratamentos de protecção podem obstruir ou vedar totalmente os vasos capilares, resultando em uma menor transmissão de vapor e assim impedir os equilíbrios desejados para a secagem de pontos mais húmidos. O ideal para a boa conservação da madeira é conseguir uma boa barreira da camada superficial à água líquida, mas permitir alguma transmissão de vapor.

Em estudos que decorrem no LNEG tem-se revelado como muito compensador, sob o ponto de vista de protecção no exterior, a utilização de óleos secativos com pigmentos minerais naturais à escala nano. Estes acabamentos são económicos e duráveis, tendo uma manutenção muito fácil, como seja uma simples limpeza superficial e aplicação de nova camada. Os óleos impregnantes não fazem película e a sua degradação é sob a forma pulverolenta o que permite a sua remoção quase natural. Este novo conceito pode assim ser introduzido, programando manutenções simples a cada dois anos, o que permite de uma forma económica manter um bom aspecto dos componentes no exterior e boa conservação da madeira durante muitos anos.

8. Utilizações industriais

Em Portugal, contrariamente ao que acontece nos países do Norte da Europa, nos Estados Unidos e no Canadá, a construção em madeira tem pouco significado. As razões da procura das alvenarias e do cimento armado são difíceis de compreender quando se fala em duração, preço de construção, etc., pois há edifícios de base estrutural em madeira com centenas de anos nos centros históricos de algumas cidades (por exemplo Guimarães, com edifícios premiados internacionalmente). Quanto aos preços de construção tudo dependerá da capacidade de produção em série. Outros argumentos têm a ver com as condições particulares do nosso clima, com Verões muito prolongados e quentes, ou ainda a escassez de matérias-primas de origem florestal de qualidade. Em sùmula, parece haver mais razões culturais e de estética do que razões científicas e técnicas. Houve uma procura pelas novas soluções arquitectónicas e pela moda, perdendo-se também o conhecimento das boas práticas antigas e dos especialistas na construção de qualidade, agravado por uma construção pré-fabricada em madeira de má qualidade que afastou o interesse por aqueles materiais.

Nos últimos anos as exigências ambientais e a obrigatoriedade de cumprimento de regras de eficiência energética dos edifícios, vieram fazer despertar de novo o interesse pela madeira e por produtos derivados da madeira (lamelados-colados, placas de MDF e OSB, materiais isolantes à base de fibras de madeira, etc.).

A ideia da maior utilização da madeira e materiais derivados na construção tem como argumentos a seu favor os seguintes:

- a) Uma parede de madeira ou derivados tem um peso menor do que uma parede em alvenaria tradicional (madeira 75 kg/m² e alvenaria de tijolo 274 kg/m²);
- b) A energia para construir um metro quadrado de parede é em média de 270 MJ para a madeira e de 875 MJ para a alvenaria;
- c) As emissões de CO₂ associadas à construção de um metro quadrado de parede são de (-50 kg) sequestro de CO₂, contra (+58 kg) de CO₂ emitidos para uma parede de alvenaria;
- d) Um placa de piso feita em vigas de madeira e soalho tem um peso próprio de cerca de 40 kg por metro quadrado, enquanto em laje de betão armado vai para os 315 kg por metro quadrado.
- e) O isolamento térmico da madeira é pelo menos três vezes superior ao tijolo cerâmico perfurado, cinco vezes superior ao betão, nove vezes superior à pedra natural, mil vezes superior ao alumínio.

Um critério global para caracterizar a eficiência energética de materiais para a construção de habitações é o factor U. O factor U, mais correctamente chamado de coeficiente de transferência de calor global, descreve o quão bem um elemento de construção conduz o calor. Mede a taxa de transferência de calor através de um elemento de construção sobre uma determinada área, sob condições padronizadas. O padrão usual é de um gradiente de temperatura de 24 °C, com 50% de humidade e sem vento. Quanto menor valor do factor U, melhor é a eficiência térmica do edifício. Na Figura 15 mostram-se os valores do factor U para diferentes materiais usados na construção.

Material	Resistencia	Transmitância
	R m ² .K / W	U W / m ² .°K
Painel com câmara de vácuo	5,28	0,2
Vermiculite (isolamento em lages)	2,13	0,5
Poliuretano (placa rígida)	1,2	0,8
Painel fenólico rígido	0,7	1,4
Poliuretano projectado	0,63	1,6
Cartão	0,52	1,9
Espuma de polietileno	0,52	1,9
Fibra vidro (enchimento)	0,44	2,3
Fibra vidro (placa rígida)	0,44	2,3
Placas de madeira	0,44	2,3
Palha em fardo	0,26	3,8
Madeira baixa densidade	0,25	4,0
Vidro	0,24	4,2
Aparas de madeira a granel	0,18	5,6
Madeira de elevada densidade	0,12	8,3
Betão vazado	0,08	12,5
Tijolo cerâmico	0,03	33,3
Caixa de ar		
Reboco de cimento e areia		
MDF 21 mm	0,55	1,8

Figura 15 – Valores do factor U de diferentes materiais e compósitos.

A madeira é dos poucos, ou o único material de construção, que associa em simultâneo as propriedades de boa resistência mecânica com bom isolamento térmico e baixo impacto ambiental.

Quanto à madeiras portuguesas de que se falou ao longo deste artigo e as suas potencialidades para a indústria da construção, complementam-se nos seguintes aspectos:

- O pinho bravo tem boa capacidade para fabrico de componentes estruturais colados, tais como vigas de suporte de pisos e coberturas (lamelados-colados);
- O eucalipto tem vocação para componentes estruturais de pequenas dimensões, incluindo coberturas com componentes maciços, mas sobretudo para revestimentos de piso;
- O carvalho negral, pela sua muito elevada durabilidade natural parece vocacionado para componentes estruturais em ambientes de classe de risco elevado, para os componentes estruturais de assentamento, e ainda para revestimentos de piso e parede, interior e exterior.

Agradecimentos

A todos e colegas e dirigentes do ex-INETI que apoiaram e incentivaram a realização dos projectos e estudos que permitiram recolher a informação que agora se divulga. À Universidade do Minho, na pessoa do orientador da tese de Doutoramento citada, Prof. Doutor António Costa Marques Pinho pela disponibilidade e valiosa colaboração.

Referências Bibliográficas

- Carvalho, J.P.; Santos, J.A., *et al* – (2005). "O CARVALHO NEGRAL". UTAD – CEGE. Vila Real.
- Kollmann, F.; Kuenzi, E.; Stamm, A. (1975). - "Principles of Wood Science and Technology, Vol. II: Wood Based Materials", Springer Verlag, Berlin.
- Mascia N.T. (1991). Considerações a respeito da anisotropia na madeira. [Tese de Doutorado] São Carlos: EESC-USP;
- Mateus, T.J.E.; (1961). Bases para o dimensionamento de estruturas de madeira. Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Lisboa.
- Santos, J. A.; PAYA, J.M. – (1999). "Les eucalyptus au Portugal". Revista SILVA. Cirad-Fôret. Mompelier. Nº39 – mars. 7p.
- Santos, J.A. – (2007). Estudo de Modelos do Comportamento Mecânico da Madeira. Tese de doutoramento. Universidade do Minho. ISBN: 978-989-96428-0-5. 273 p.
- Santos, J.A.- (1998). "A Secagem da Madeira de Eucalipto". Revista Florestal, vol.XI, nº2. SPCF - Sociedade Portuguesa de Ciências Florestais. Lisboa. Pag. (37-45).
- Santos, J.A. (2000). - Mechanical behaviour of Eucalyptus wood modified by heat. Wood Science and Technology 34 (2000) 39-43. Springer-Verlag.
- Santos, J.A. , Santos, J.M. et al– (2008). Utilização da madeira de eucalipto para produtos de alto valor acrescentado. Relatório projecto PRAI iC-01-03-FDR-057.
- Santos, J.A., (2005). "A Secagem da madeira e suas relações com a humidade". Conferências "Encontro sobre a Madeira e suas Aplicações Nobres – BEM UTILIZAR A MADEIRA". Universidade do Minho em Guimarães e INETI em Lisboa.
- Santos, J. M., Santos, J. A. & Gonçalves, C. F. (2004) "Estudo comparativo de dois processos de secagem (natural e artificial) para a espécie carvalho negroal". Congresso Cimad 04: 1º Congresso Ibérico da Madeira na Construção. Universidade do Minho, Guimarães. pp. 95-102 .