

CNME 2014

congreso nacional de neurociencia experimental 15-17 oct. 2014

CNME 2014

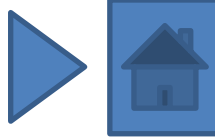


9º congresso nacional de mecânica experimental
Universidade de Aveiro 15-17 outubro 2014

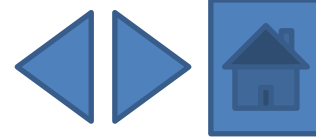
[ARTIGOS](#)

[AUTORES](#)

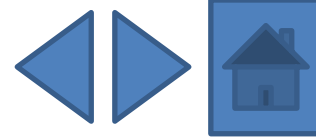
ISBN: 978-989-95695-6-0



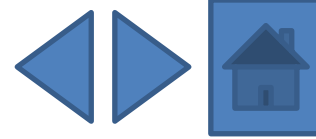
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **104:** *Estabilidade dimensional das madeiras de pinho, freixo, castanho e carvalho na presença de água*
D. Ferreira, E. Fonseca, C. Pinto, P. Borges
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **107:** *Dispositivo para investigação da resposta pupilar: considerações experimentais*
C. Bim, J. Canestri, M. Stófel, H. Oliva, R. Guimarães, M. Pinotti
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **108:** *Formulação de caldas à base de cal para injeção de alvenaria antiga*
E. Luso, P. Lourenço
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **109:** *Estudo da influência do adjuvante no desempenho de caldas fluidas à base de cal*
E. Luso, A. Monteiro
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **110:** *Monitorização e avaliação do comportamento de parafusos pré-esforçados BobTail®*
R. Matos, C. Rebelo
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **112:** *Colapso de pavimento elevado num edifício habitado: Causas e medidas de segurança imediatas*
F. Pinho
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **113:** *Amplificador mecânico de deformação*
D. Caseiro, S. Santos, C. Ferreira
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **114:** *Avaliação da temperatura na broca e no osso durante a furação, metodologia experimental e clínica*
C. Sampaio, E. Fonseca, R. Cerqueira



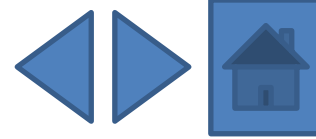
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **115:** *Metodologia para avaliar o efeito da temperatura em tecidos ósseos*
C. Sampaio, E. Fonseca, L. Barreira, J. Meireles
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **117:** *Validação numérica de lajes celulares em madeira com perfurações ao fogo*
J. Meireles, E. Fonseca, P. Piloto, H. Santos, L. Barreira
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **118:** *Estudo dos efeitos da delaminação em compósitos de matriz polimérica*
O. Andrade, L. Durão
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **119:** *Estudo e caracterização de espécies portuguesas de madeira termicamente modificada*
J.C. Costa, J. Branco, A. Camões
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **120:** *Estudo preliminar das propriedades físicas dos implantes mamários*
N. Ramião, P. Martins, A. A. Fernandes, M. Barroso, D. Santos
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **122:** *O papel dos efeitos locais e das características da fonte na resposta sísmica de estruturas afetadas por sismos nos Açores*
J. Estêvão, A. Carvalho
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **123:** *Verificação experimental do nível de precisão do método dos elementos de fibras de contacto*
J. Estêvão, A. Carreira
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **124:** *Evaluation main stress point of an oronasal interface for noninvasive ventilation*
L.S. Barros, R. Correa, M. Drummond, J. Gabriel, R. Natal



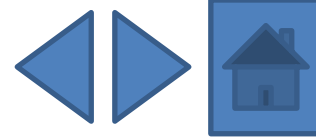
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **125:** *Avaliação experimental do comportamento ao fogo de lajes celulares em madeira com diferentes perfurações*
J. Meireles, P. Piloto, E. Fonseca, H. Santos, L. Barreira
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **126:** *Análise experimental do desempenho de um turbocompressor em condições reais de operação*
A. Almeida, N. Pires, H. Santos, N. Martinho, J. Pereira
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **128:** *Termografia e cicatrização de feridas cutâneas*
M. Chaves, A. Freire, R. Andrade, M. Pinotti
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **130:** *Estudo experimental e calibração numérica de ligações metálicas entre vigas I e colunas tubulares*
L. Magalhães, C. Rebelo, S. Jordão
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **134:** *Avaliação térmica da furação no osso cortical com e sem irrigação*
M. Fernandes, M. Vaz, R. Natal, E. Fonseca
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **135:** *Modelo 3D para análise térmica durante o processo de furação do osso cortical*
M. Fernandes, E. Fonseca, R. Natal
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **136:** *Estudo do processo de quinagem para aplicação prática em programação CNC de quinadoras*
R. Amaral, A. Santos, J. Bessa Pacheco, S. Miranda
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **138:** *Desenvolvimento de uma plataforma de força para análise quantitativa do equilíbrio postural*
S.F. Santos, J. Canestri, R. Guimarães, M. Pinotti



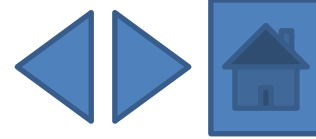
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **139:** *Sistema experimental para caracterização de materiais com o ensaio de expansão*
H. Campos, A. Santos, B. Martins, J. Bessa Pacheco
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **146:** *An experimental framework for the support of multi-physics simulation models of aerial lime for historic masonry structures*
M. Oliveira, A. Meneghini, M. Azenha, P. Lourenço
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **148:** *Determinação das propriedades físicas da parede do colmo do bambu*
M.A. Smits, V. Pizzol, E. Carrasco
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **151:** *Estimativa da densidade e dureza Janka de madeiras tropicais por meio do método de penetração*
R.C. Alves, M.A. Smits, E. Carrasco
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **152:** *Instrumentação das pás directrizes da turbina Wells da central de ondas da Ilha do Pico*
M. Vieira, A. Ribeiro, A. Sarmiento, L. Reis
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **153:** *Ancoragens de pré-esforço por aderência - exploração de uma solução*
H. Fernandes, V. Lúcio, D. Faria
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **154:** *Comportamento mecânico da liga de magnésio AZ31B sob carregamento multiaxial*
H. Videira, V. Anes, R. Cláudio, M. Freitas, L. Reis
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **155:** *Vigas lintel para estruturas de alvenaria e aplicação em caso de estudo*
J.P. Gouveia, G. Vasconcelos, P. Bernardino, P. Costa, P. Lourenço



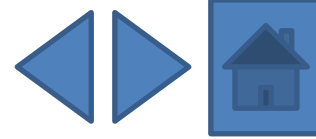
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **156:** *Determinação da rigidez de uma areia com recurso a bender elements e acelerómetros: princípio de medição e aplicações*
C. Pereira, A. Correia, C. Ferreira, N. Araújo
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **158:** *Dispositivo experimental para caracterização do comportamento viscoelástico do betão sob a ação da retração restringida*
L. Leitão, R. Faria, L. Teixeira, M. Azenha
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **159:** *Streamlining field inspections for infrastructures life-cycle management*
B. Gonçalves, J. Matos, P. Lourenço, P. Gonçalves
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **161:** *Mechanical characterization of traditional timber connections: experimental results*
E. Poletti, G. Vasconcelos, J. Branco, A. Koukouviki
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **163:** *The bone tissue remodelling analysis using meshless methods: a femoral implant study*
J. Belinha, L. Dinis, R. Natal
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **165:** *Revestimentos PVD em microcavidades para moldação por injeção*
B. Mestre, V. Neto
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **167:** *Comportamento à fadiga de aços estruturais. Comparação de resultados de deformação-viga e taxas de propagação de fendas de fadiga*
D. Carvalho, A. Silva, A. Jesus, A. A. Fernandes



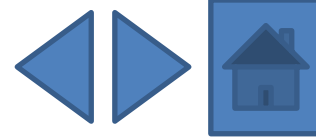
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **168:** *Comportamento experimental de configurações inovadoras de ligações de emenda em perfis tubulares*
R. Simões, S. Jordão, J. Silva
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **170:** *Aplicação de filmes de diamante nanocristalino como camada protetora em células fotovoltaicas*
R.N. Simões, V. Neto
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **171:** *Estudo de tolerância de dano num componente ferroviário de aço vazado ASTM148-90-60*
T. Morgado
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **172:** *Correlação entre ensaios com câmara termográfica e resistógrafo na avaliação da integridade de vigas antigas de madeira*
J.T. Pinto, V. Cunha, A. Arêde, J. Miranda Guedes, S. Cunha, A. Feio, H. Varum
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **173:** *Influência de revestimentos de nanodiamante no fluxo polimérico em microinjeção*
C. Santos, M. Oliveira, T. Zhiltsova, V. Neto
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **174:** *Paredes de alvenaria de pedra de folha única: caracterização geométrica e comportamento estrutural*
C. Almeida, J. P. Guedes, A. Arêde, A. Costa
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **175:** *Avaliação experimental do comportamento de T-stubs sujeitos a ações de impacto*
P. Barata, A. Santiago, C. Rigueiro, J.P. Rodrigues



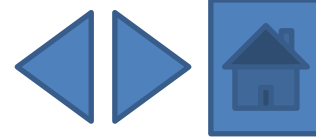
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **176:** *Vibração de uma viga elástica com grandes amplitudes*
F. Queirós de Melo, M. Vaz, P. Rebelo, R. Moreira
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **177:** *Perfis IPE ao fogo: método da capacitância global versus modelo computacional*
E. Fonseca, D. Ferreira, L. Barreira
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **178:** *Forqueta de bicicleta em fibra de carbono com fibras piezoelétricas*
M. Frade, R. Ruben, C. Capela
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **179:** *Caracterização dinâmica de estruturas à escala real produzidas com agregados grossos reciclados de betão*
J. Pacheco, J. Brito, J. Ferreira, D. Soares
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **180:** *Caraterização de poliuretanos com memória de forma reforçados com nanotubos de carbono para controlo ativo*
M. Fonseca, B. Silva, L. Ferreira, J. Amaral, M.S. Oliveira, R. Moreira
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **181:** *Utilização de redes de Bragg em fibras óticas para caracterização da memória de forma de poliuretanos reforçados com nanotubos de carbono*
M. Fonseca, N. Alberto, B. Silva, V. Neto, R. Nogueira, M.S. Oliveira, R. Moreira
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **182:** *Análise termomecânica de perfis enformados a frio*
L. Mesquita, M. Mendonça, R. Ramos, L. Barreira, P. Piloto
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **183:** *Eficiência da proteção ao fogo de tintas intumescentes com granulado de cortiça*
L. Mesquita, M. Teixeira, P. Piloto, L. Barreira



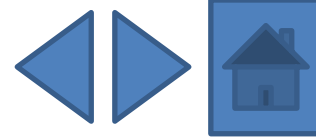
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **184:** *Previsão do comportamento de tecidos cartilagíneos em bioreator em resposta a estímulos mecânicos*
C. Bandeiras, A. Completo, A. Ramos, A. Rufino, M. Ribeiro, J. Pinto Ferreira, A. Mendes
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **186:** *Análise experimental da resistência à compressão a altas temperaturas de um betão com chips de PET*
H. Caetano, J. Rodrigues, P. Pimienta
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **187:** *Estudo da delaminação sob fadiga em modo II de laminados carbono/epóxico*
J.A. Sousa, A. Pereira, A. Morais
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **188:** *Determinação de relações tensão-abertura de fenda de BRFA através de análise inversa*
N.D. Gouveia, A. Custódio, D. Faria, A. Ramos
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **190:** *Comportamento à fadiga oligocíclica extrema de aços para pipelines – uma abordagem experimental*
J.C.R. Pereira, A. Jesus, A. Fernandes, J. Xavier
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **191:** *Avaliação da eficiência fotodinâmica de extratos de uma planta do cerrado brasileiro para utilização em terapia fotodinâmica*
C. Nunes de Melo, R. Cruz, R. Pietra, B. Soares, M. Ferreira, M. Pinotti
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **196:** *Vulnerabilidade de sistemas de revestimento exterior de coberturas*
J. T. Pinto, S. Pereira, A. Briga-Sá, J. Vieira, A. Borges, H. Varum
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **197:** *Desenvolvimento e ensaios experimentais de módulos energéticos para revestimento de edifícios*
R. Oliveira, R. Coelho, A. Torres Marques, J.A.O. Simões, C. Torres



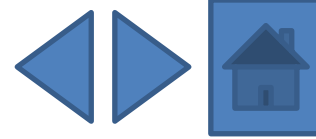
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **198:** *Método da Aproximação Local no estudo de vida à fadiga de um componente ferroviário*
T. Morgado
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **199:** *Validação do modelo numérico da ligação tipo T-stub sujeita a acções de impacto*
J. Ribeiro, C. Rigueiro, A. Santiago
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **200:** *Métodos experimentais usados na determinação das propriedades mecânicas de betões a altas temperaturas*
C. Santos, J. P. Rodrigues, H. Caetano
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **202:** *Bond performance in NSM-strengthened masonry brick*
H. Maljaee, B. Ghiassi, P. Lourenço, D. Oliveira
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **204:** *Caraterização do comportamento ao corte de alvenaria de blocos de terra compactada com junta seca*
R.A. Silva , D. V. Oliveira, T. Miranda, E. Soares, N. Cristelo, P. Lourenço
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **206:** *Monitorização térmica do processo de moldação por injeção plástica com redes de Bragg em fibra ótica*
N. Alberto, R. Nogueira, V. Neto
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **207:** *Análise da integridade de juntas de cimento-cola em mosaicos decorativos de fachadas*
F. Queirós de Melo, L. Silva, C. Lopes
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **209:** *Investigação experimental de catalisadores de três vias para veículos automóveis*
H. Santos, M. Costa



- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **210:** *The influence of moisture content and gaps on the withdrawal resistance of self tapping screws in CLT*
C. Silva, A. Ringhofer, J. Branco, P. Lourenço, G. Schickhofer
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **212:** *Comparação entre duas técnicas ópticas emergentes na IND de estruturas compósitas - interferometria laser e termografia*
J. Monteiro, H. Lopes, M. Vaz
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **213:** *Biomechanical analysis of metaphyseal sleeves used for tibial bone*
A. Chan, A. Completo, J. Gamelas, J. Folgado, P. Fernandes
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **214:** *Controlo de vibrações em comportas de borracha insufláveis com largura de ancoramento variável*
J. Amorim, J. Dias Rodrigues
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **216:** *Análise vibroacústica de placas com tratamentos parciais de amortecimento usando uma teoria layerwise e o método de Rayleigh-Ritz*
J. Amorim, J. Dias Rodrigues
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **218:** *Experimental evaluation of the stiffness of the sheep cervical vertebrae*
A. C. Pires, F. Vaz, J. Folgado, P. Fernandes
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **219:** *Análise do comportamento cíclico de pilares de pontes reforçados com bandas de CFRP*
P. Delgado, F. Sousa, P. Rocha, A. Arêde, N. Vila Pouca, A. Costa, R. Delgado
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **221:** *Estudo das vibrações induzidas no sistema mão - braço de atletas de Basquetebol*
P. Santos, A. Amaro, L. Roseiro, M. Neto, C. Alcobia



- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **222:** *Vibrações induzidas no sistema braço-mão na manipulação de uma roçadora de mato*
L. Roseiro, V. Maranhã, C. Alcobia, A. Amaro, M. Neto
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **223:** *Lock-in thermography online*
A. Silva, M. Vaz P. Moreira e J. Gabriel
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **225:** *Caracterização do comportamento cíclico de vigas de betão armado fendilhadas, com sensores de Bragg*
C. Sousa, C. Rodrigues, J. Malveiro, R. Calçada, A. Neves
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **226:** *Development of a simplified model for joints in steel structures*
F. Gentili, R. Costa, L. S. Silva
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **230:** *Pilares mistos com placas de base abertas solicitados à flexo-compressão*
R. Neuenschwander, E. Carrasco, F. Rodrigues, R. Fakury
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **238:** *Fadiga em pavimentos rodoviários flexíveis: uma abordagem experimental*
A. Costa, A. Benta
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **239:** *Avaliação experimental e numérica da resistência de vigas com secções em Ω enformadas a frio furadas*
N. Lopes, P. Vila Real, A. Reis, F. Arrais
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **241:** *Caracterização do comportamento mecânico de uma vertebra lombar; com e sem cimentação*
C. Carneiro, M. Vaz, N. Neves, C. Ribeiro



- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **242:** *Análise experimental de tensões geradas por aperto de parafusos através de fotoelasticidade*
A.P. Salazar, F. Brites
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **243:** *Verificação da resistência de um perfil laminado com concentrador de tensões*
F. Brites, I. Barbosa
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **244:** *Análise por molhabilidade e AFM da superfície de Ti6Al4V submetido à texturização mecânica*
F. Brites, I. Barbosa, L. Santos
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **245:** *Desenvolvimento de um método de ensaio para avaliação experimental in-situ do comportamento fora do plano de paredes de alvenaria*
A. Costa, A. Arêde, A.A. Costa, T. Ferreira, A. Gomes, H. Varum
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **246:** *Comportamento de lajes de betão armado reforçadas à flexão usando a técnica NSM com laminados de CFRP pré-tensionados*
S.J. Dias, M. Hosseini, J. Barros
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **247:** *Caracterização experimental do comportamento de aderência de varões compósitos têxteis*
A. Martins, G. Vasconcelos, R. Frangueiro, F. Cunha
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **248:** *Caracterização experimental de pilares de betão armado reforçados e reparados sujeitos à flexão biaxial*
H. Rodrigues, A. Arêde, A. Furtado, P. Rocha
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **249:** *Caracterização experimental do comportamento para fora do plano das paredes de alvenaria de enchimento*
A. Furtado, H. Rodrigues, A. Arêde



A B C D E **F** G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z

Fakury, R.H.	230	Ferreira, J.P.	184
Faria, D.M.	153 188	Ferreira, M.	191
Faria, R.	158	Ferreira, T.	245
Feio, A.	172	Folgado, J.	213 218
Fernandes, A.	120 167 190	Fonseca, E.	104 114 115 117 125 134 135 177
Fernandes, M.	134 135	Fonseca, M.	180 181
Fernandes, H.	153	Frade, M.	178
Fernandes, P.	213 218	Frangueiro, R.	247
Ferreira, D.	104 177	Freire, A.	128
Ferreira, C.D.	113	Freitas, M.	154
Ferreira, C.	156	Furtado, A.	248 249
Ferreira, J.G.	179		
Ferreira, L.	180		

ESTABILIDADE DIMENSIONAL DAS MADEIRAS DE PINHO, FREIXO, CASTANHO E CARVALHO NA PRESENÇA DE ÁGUA

DIMENSIONAL STABILITY OF PINE, ASH, CHESTNUT AND OAK IN THE PRESENCE OF WATER

Ferreira, D.R.S.M.¹; Fonseca, E.M.M.¹; Pinto, C.D.P.¹; Borges, P.C.B.¹

¹ Escola Superior de Tecnologia e Gestão, Instituto Politécnico de Bragança



RESUMO

As estruturas de madeira apresentam-se como uma solução competitiva face às estruturas de aço e betão, exibindo características e vantagens que superam largamente as suas concorrentes: relação peso/resistência superior, rapidez de montagem, resistência ao fogo, excelente desempenho sísmico, beleza estética natural, e racionalismo ecológico conduzindo a uma construção sustentável. Um dos objetivos do presente trabalho experimental foi o de compreender a relação da madeira com a água em quatro espécies diferentes de madeira: Pinho, Freixo, Castanho e Carvalho. Apresenta-se um estudo sobre a estabilidade dimensional da madeira, atendendo aos fenómenos de retração e inchamento, assente na realização de diversos ensaios experimentais. Os provetes analisados, com uma forma prismática de dimensão igual a 40×40×10 mm, foram obtidos a partir de madeira sã e isenta de nós, fendas ou outros defeitos. O comportamento mecânico das diferentes madeiras foi igualmente avaliado através de ensaios à tração para comparação e determinação das suas características mecânicas.

ABSTRACT

Timber structures are a competitive solution when compared to steel and concrete structures, showing features and advantages that overcome their competitors: weight/strength ratio, rapid assembly, fire resistance and excellent performance in earthquake scenario, natural aesthetic attractiveness, and ecological rationality which leads to sustainable construction. The main purpose of this experimental study is to understand the relationship between timber and water in four different wood species: Pine, Ash, Chestnut and Oak. Experimental tests were carried out in order to assess shrinkage and swelling behaviours. The analysed specimens have a prismatic shape with dimensions equal to 40×40×10 mm, and were obtained from healthy wood, free of knots, cracks or other defects. The timber mechanical behaviour timber was also evaluated by tensile tests to obtain the mechanical characteristics and comparison with other woods.

1- INTRODUÇÃO

Durante vários séculos a madeira foi utilizada nas construções em todo o mundo, a sua aplicabilidade foi evoluindo, e os tratamentos para aumentar a sua resistência desenvolveram-se com o avanço tecnológico e industrial. A constante evolução e a durabilidade apresentada pela madeira podem ser observadas na maioria das construções antigas. Nas primeiras décadas do século XX, com o aparecimento do betão e do aço, a construção em madeira foi temporariamente secundarizada. Essa tendência tem vindo a alterar-se principalmente em obras de reabilitação da construção. A madeira apresenta-se como uma solução competitiva face às estruturas de aço e betão, além de apresentar vantagens e características que superam largamente as suas concorrentes: relação peso/resistência, rapidez de montagem, resistência ao fogo, excelente desempenho sísmico, aspeto estético natural, sendo ainda um material ecológico o que conduz a uma construção sustentável. A madeira é uma matéria-prima importante e um recurso natural renovável. Através de uma utilização cuidadosa, responsável e planeada, as florestas podem fornecer madeira de forma permanente.

Toda a madeira de árvores contém uma quantidade considerável de água, genericamente designada de seiva. A função primordial da água é a de circular pelos tecidos da planta conduzindo os nutrientes minerais para as folhas e preenchendo os vazios intercelulares. A água apresenta-se, na madeira, de três formas: água de constituição, água livre e água impregnada. O estudo da sua presença dentro do tronco da árvore é indispensável dado que a variação do teor em água na madeira influencia o seu comportamento e as suas propriedades.

No processo de secagem da madeira, a perda de água livre é a que

ocorre em primeiro lugar, não induzindo qualquer alteração quer nas dimensões quer nas propriedades físicas e mecânicas. Quando toda a água livre desaparece, as paredes celulares mantêm-se saturadas ocorrendo uma diminuição drástica do teor em água até se atingir o Teor de Saturação da Fibra (TSF). Em termos práticos, este teor de saturação é geralmente considerado compreendido entre 25% e 30%, em função das espécies de madeira (Simpson, 1999). A madeira é dimensionalmente estável quando o teor em água é superior ao TSF. Para teores de água inferiores ao TSF, as dimensões da madeira alteram-se podendo ocorrer perda de humidade (retração) ou ganho de humidade (inchamento). Os fenómenos de retração e inchamento estão na base de muitos problemas que podem ocorrer na madeira, tanto durante a secagem como na sua utilização, pelo que um conhecimento profundo deste comportamento ajudará a sua minimização (White, 1999). Considera-se que a madeira está protegida de possíveis ataques por parte de fungos e bactérias para um teor de água inferior a 20%, por ser o valor mínimo acima do qual normalmente ocorre a propagação e o ataque.

O escasso conhecimento do comportamento da madeira dificulta a sua utilização em projeto. O conhecimento das características e propriedades bem como dos fatores que influenciam os comportamentos físicos e mecânicos poderá ajudar a inverter esta tendência. No âmbito do presente trabalho foram conduzidos diferentes ensaios em laboratório para verificação e comparação dessas propriedades. Os ensaios experimentais foram divididos em dois grupos: estudo da variação dimensional na presença de água e avaliação do comportamento mecânico para quatro espécies de madeira provenientes do Nordeste Transmontano: Pinho Bravo (*Pinus pinaster*), Freixo (*Fraxinus*), Castanheiro (*Castanea sativa miller*) e Carvalho Negral (*Quercus pyrenaica*).

2- PROGRAMA EXPERIMENTAL

2.1 - Variação dimensional da madeira na presença de água

Foram conduzidos diversos ensaios para o estudo da estabilidade dimensional, atendendo aos fenómenos de retração e inchamento da madeira. Esta instabilidade constitui um dos mais graves defeitos da madeira, que sendo um material anisótropo e heterogéneo não apresenta os mesmos valores de retração e de inchamento segundo as três direções principais: longitudinal, radial e tangencial (LNEC, 1997). A determinação do teor em água e da massa volúmica foi efetuada em conformidade com as normas do LNEC (NP 614, NP 615, 1973) respetivamente. Os provetes analisados foram obtidos a partir de madeira sã e isenta de nós, fendas ou outros defeitos, com forma prismática e de dimensão igual a 40×40×10 mm, Fig. 1, num total de 30 provetes de cada espécie de madeira. Antes de dar início aos ensaios, metade dos provetes de cada espécie foram secos num forno a 103°C ± 2°C, Fig. 2, enquanto os restantes provetes foram saturados num tanque com água, Fig. 3, até se atingir uma massa constante. A massa é considerada constante quando a diferença entre duas medições consecutivas, num intervalo de 2 horas, é inferior a 0,5%.



Fig. 1 – Provetes Fig. 2 – Secagem Fig. 3– Saturação

Na tabela 1 apresenta-se o código da designação atribuída a cada espécie, em função do estado para cada fase de ensaio.

Tabela 1 – Designação dos provetes

Espécie de madeira	Designação provetes secos	Designação provetes saturados
Pinho	Psec	Psat
Freixo	Fsec	Fsat
Castanho	CTsec	CTsat
Carvalho	CRsec	CRsat

Tanto os provetes previamente secos como os provetes saturados são colocados numa câmara climática com um ambiente interno controlado de 20°C de temperatura e 60% de humidade, durante um período de tempo igual ou superior a 24 horas, até se atingir a estabilização dimensional. Posteriormente, todo o processo é repetido até completar três ciclos. O último ciclo termina com as amostras previamente saturadas colocadas no forno para secagem, enquanto a outra metade é saturada. Os provetes permaneceram dentro da câmara climática até à estabilização das quatro espécies de madeira. Diferentes velocidades de estabilização dimensional dos provetes foram identificadas nas quatro espécies de madeira aqui analisadas. Para além do registo das dimensões, são também adquiridos os valores da humidade e da massa. As massas foram obtidas utilizando uma balança com menos de 5 mg de erro e as leituras de humidade foram efetuadas usando um higrómetro. Para todas as medições, utilizou-se um calibrador acoplado a uma base de aço com uma precisão igual a 0,001 mm (Ferreira, 2013).

2.2 - Resistência mecânica à tração

Outro objetivo do presente trabalho foi a caracterização das propriedades mecânicas das quatro espécies de madeira, assente na determinação dos valores da resistência mecânica à tração, tensão de rotura, módulo de elasticidade e coeficiente de Poisson. Para os ensaios de tração foram maquinados um total de doze provetes de cada espécie de madeira, Fig. 4, seis dos quais foram cortados no sentido transversal às fibras, com as dimensões iguais a 190×50×9 mm, Fig. 5, sendo os restantes obtidos no sentido longitudinal das fibras, com as dimensões 210×40×9 mm, Fig. 6. As dimensões dos provetes foram estabelecidas atendendo a diferentes publicações (NBR 7190, 1997; Martins, 2010).



Fig. 4 – Maquinagem dos provetes para os ensaios de tração

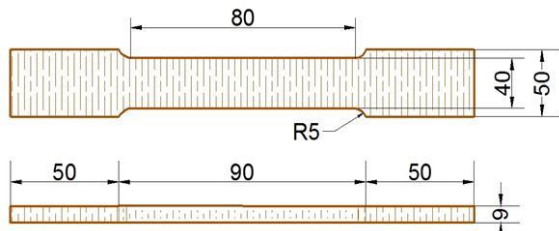


Fig. 5 – Dimensões dos provetes cortados no sentido transversal às fibras

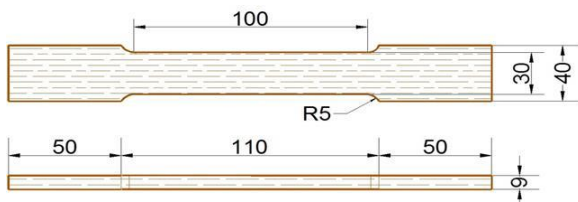


Fig. 6 – Dimensões dos provetes cortados no sentido longitudinal das fibras

Os ensaios de tração foram realizados numa máquina de ensaios universal Instron, modelo 4400, Fig. 7. Alguns provetes foram instrumentados com extensómetros elétricos com o objetivo de calcular o coeficiente de Poisson, Fig. 8. Este coeficiente é obtido em função da deformação lateral e da deformação axial, direção na qual o provete é submetido a uma carga axial.



Fig. 7 – Ensaios de tração



Fig. 8 – Instrumentação dos provetes

3- RESULTADOS EXPERIMENTAIS

3.1 - Variação dimensional

As variações dimensionais foram registadas segundo as direções longitudinal, radial e tangencial, conforme referenciado em (Ferreira, 2014).

Nos gráficos apresentados nas Fig. 9 e 10 são apresentadas as médias dos valores obtidos para as dimensões dos provetes secos e dos provetes saturados. As variações dimensionais segundo a direção longitudinal, radial e tangencial foram designadas por Δl , Δr e Δt , respetivamente. A variação dimensional foi calculada a partir da Eq. (1), em que d_1 é a dimensão do provete seco ou saturado, variável ao longo do tempo, e d_0 é a primeira dimensão longitudinal, radial ou tangencial (no início dos ensaios experimentais):

$$\Delta = \frac{d_1 - d_0}{d_0} \times 100 \quad (1)$$

Na Fig. 9 apresenta-se os resultados obtidos para a variação dimensional, segundo as três direções consideradas, para os provetes previamente secos. Quando colocados na câmara húmida, estes provetes vão absorver água e aumentar a sua dimensão.

Da análise dos gráficos verifica-se que na direção longitudinal as variações dimensionais para as quatro espécies de madeira são muito pequenas, sendo a madeira de Pinho a que regista as maiores diferenças, na ordem dos 0,5%. Como seria de esperar, foi segundo a direção tangencial que ocorreram as maiores variações nas dimensões dos provetes, devido ao fenómeno de inchamento da madeira. A madeira de Pinho é a madeira que maior variação dimensional apresenta, aproximadamente dupla quando comparada com a madeira de Freixo. Para todas as espécies de madeira verifica-se uma estabilização dimensional com o aumento do número de ciclos, ou seja, a madeira torna-se estável com o envelhecimento.

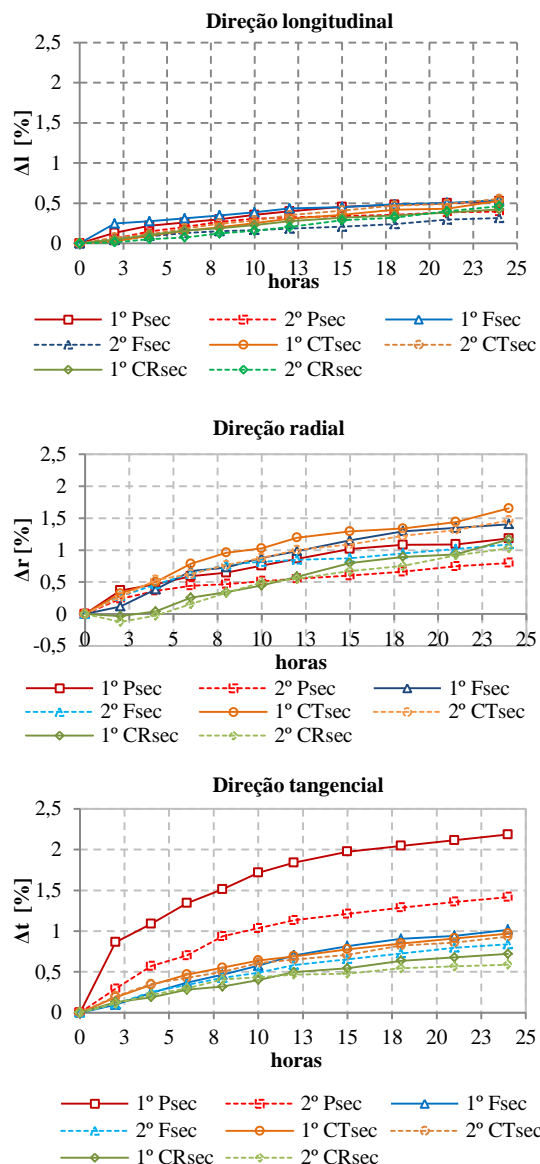


Fig. 9 – Variação dimensional dos provetes secos

Na Fig. 10 apresentam-se os resultados obtidos para a variação dimensional, segundo as três direções consideradas, para os provetes previamente saturados. Quando colocados na câmara húmida, estes provetes perdem humidade sofrendo diminuição da sua dimensão, ou seja, sofrem retração. A retração longitudinal para as quatro espécies de madeira é praticamente nula sendo a tangencial cerca do dobro da radial. Para este fenómeno, os provetes de Carvalho foram os que apresentaram pior comportamento.

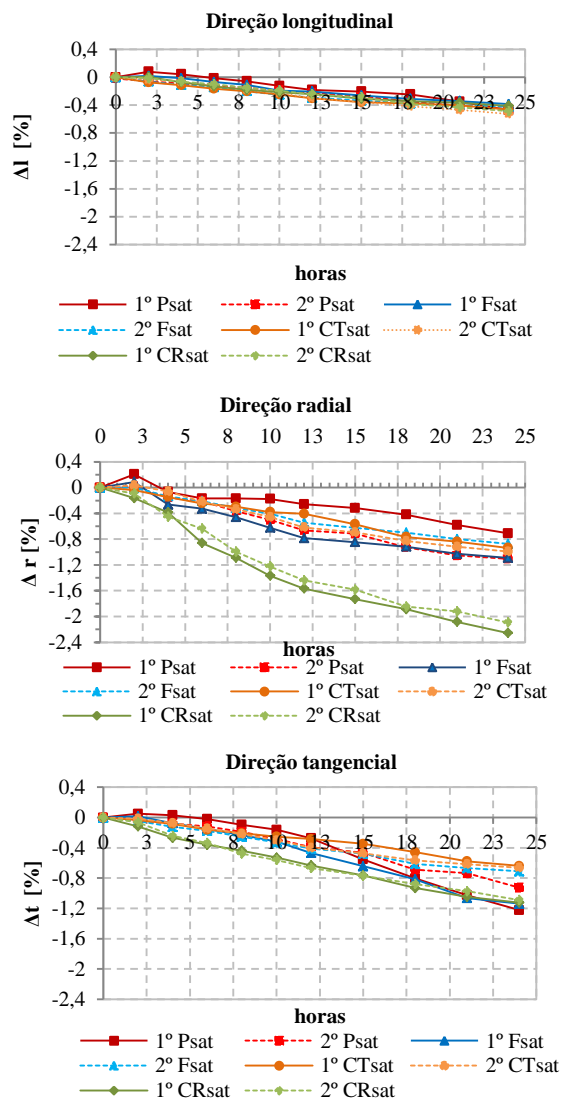


Fig. 10 – Variação dimensional dos provetes saturados

3.2 - Teor em água

O teor em água de um provete de madeira é determinado segundo a NP EN 614, obtido pelo quociente entre a massa da água que se evapora por secagem a 103°C e a massa do provete seco. Com vista à realização de ensaios de determinação das propriedades da madeira, foi internacionalmente estabelecido o valor de referência para o teor de água de 12%. O provete é pesado e seco em estufa durante 24 horas. No término desse período, o provete é retirado da estufa, deixando-se arrefecer no exsiccador e é novamente pesado. O teor em água, H, expresso em percentagem, é determinado de acordo com a Eq. (2):

$$H = \frac{m_1 - m_2}{m_2} \times 100 \quad (2)$$

sendo m_1 a massa do provete húmido e m_2 a massa do provete seco.

As evoluções do teor em água para as madeiras de Pinho, Freixo, Castanho e Carvalho, são as apresentadas na Fig. 11 e na Fig. 12 para os provetes previamente secos e saturados, respetivamente.

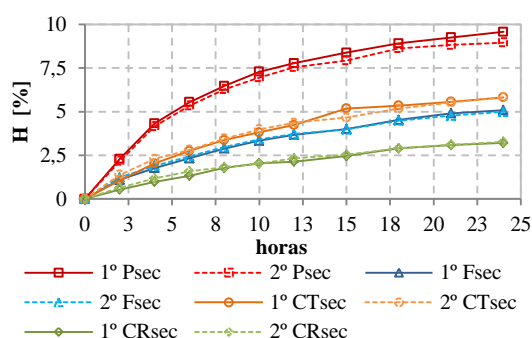


Fig. 11 – Teor em água dos provetes secos

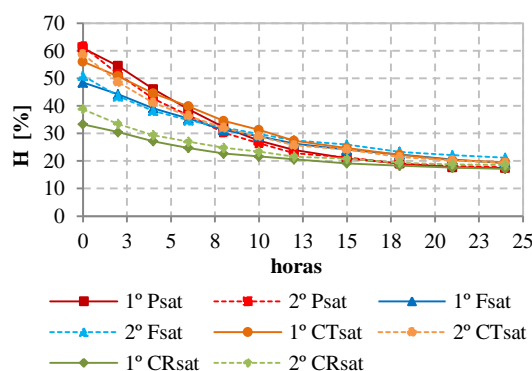


Fig. 12 – Teor em água dos provetes saturados

Os resultados obtidos confirmam o comportamento higroscópico esperado, ou seja, é mais acentuado no início do tempo em que os provetes são submetidos às condições ambiente até entrar em equilíbrio, tornando-se menos expressivo à medida que se aproxima do teor de água de equilíbrio. O comportamento da madeira ao longo do tempo tende a adaptar-se ao ambiente envolvente. Assim, o teor de água de todos os provetes variou até atingir a condição de equilíbrio termo-higrométrico, comportamento similar foi verificado por outros investigadores (Silva, 2014)

3.3 - Massa volúmica

A massa volúmica, ou densidade, da madeira está ligada ao seu teor em água.

Quanto maior o teor em água maior a massa volúmica. A massa volúmica de um provete de madeira é determinada segundo a NP EN 616.

A massa volúmica de referência, utilizada para o dimensionamento de estruturas de madeira, é determinada com o provete a 12% de teor em água, expressa em g/cm^3 como se indica na Eq. (3):

$$\rho_{12} = \rho_H \frac{(100+12)(100+\alpha_v H)}{(100+H)(100+12\alpha_v)} \quad (3)$$

Onde α_v é o coeficiente de retração volumétrica do provete, expresso em %. Este coeficiente foi obtido segundo a norma NP EN 615 e é obtido através da Eq. (4):

$$\alpha_v = \frac{V_2 - V_3}{V_3 \times H} \times 100 \quad (4)$$

Onde V_2 é o volume do provete seco ao ar e V_3 é o volume do provete seco em estufa, expressos em cm^3 .

Nas Fig. 13 e 14 são apresentados os resultados da massa volúmica de referência, para os provetes previamente secos e saturados, respetivamente.

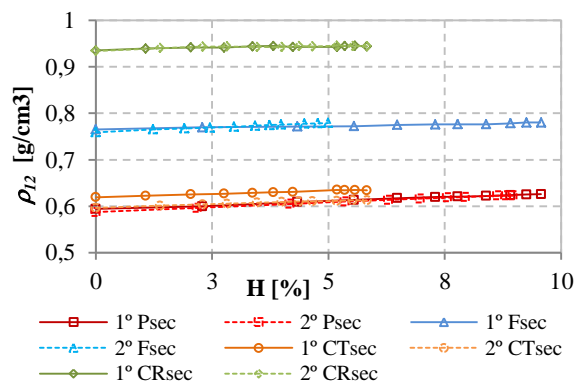


Fig. 13 – Massa volúmica dos provetes secos

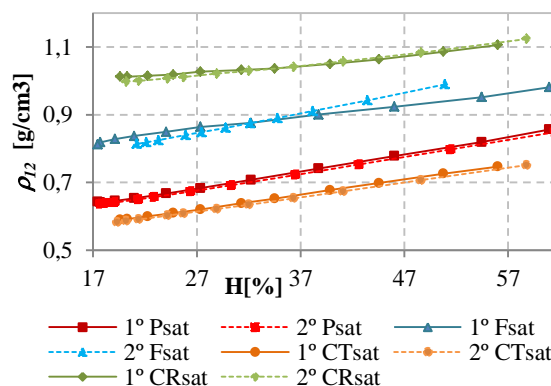


Fig. 14 – Massa volúmica dos provetes saturados

As quatro espécies de madeira apresentam valores bastante diferentes de massa volúmica, mas todos eles dentro dos intervalo de referência preconizados na literatura, 0.1-1.5 g/cm³, (LNEC, 1997). Da análise dos gráficos verifica-se que a massa volúmica da madeira de Carvalho (cerca de 1 g/cm³) é a mais elevada, ao contrário, a madeira de Pinho que é a madeira menos densa (0.8 g/cm³). Esta diferença pode residir no facto da madeira de Carvalho ser uma madeira folhosa e o Pinho uma madeira resinosa.

3.4 - Resistência mecânica à tração

As propriedades mecânicas definem o comportamento da madeira quando submetida a esforços mecânicos, resultando diretamente nas propriedades anisotrópicas e de heterogeneidade do material lenhoso. O seu estudo reveste-se de grande interesse por permitir deduzir as condições de aplicabilidade de uma dada espécie para um determinado fim. A norma EN 408 define ensaios para determinação das propriedades na madeira estrutural. As propriedades da madeira são condicionadas pela estrutura anatómica, devendo distinguir-se os valores correspondentes à tração dos correspondentes à compressão, bem como os valores relativos à direção paralela às fibras dos correspondentes à direção normal às fibras, (NBR 7190, 1997). Assim, pretende-se caracterizar a madeira quanto às suas especificidades mecânicas em duas direções, uma vez que se trata de um material anisotrópico. Serão determinadas as propriedades no sentido longitudinal ao fio e no sentido perpendicular ao fio. No sentido do fio, segundo o eixo das fibras, a resistência da madeira é, como se sabe, superior à capacidade resistente perpendicular ao fio.

Nas Fig. 15 e 16 apresentam-se os resultados obtidos nos ensaios de tração para os provetes maquinados segundo a direção longitudinal e transversal, respetivamente. A deformação ficou confinada à região central do corpo de prova. A máquina de ensaios universal foi

programada para alongar o provete a uma taxa constante (velocidade igual a 0,5 mm/min).

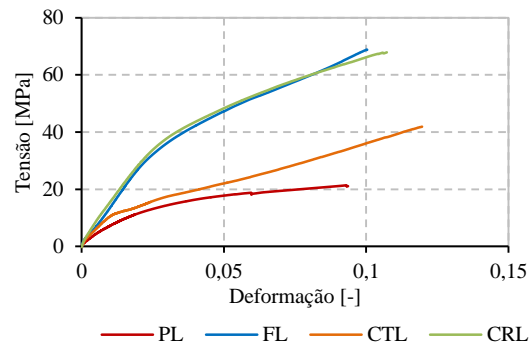


Fig. 15 – Ensaios de tração para os provetes segundo a direção longitudinal

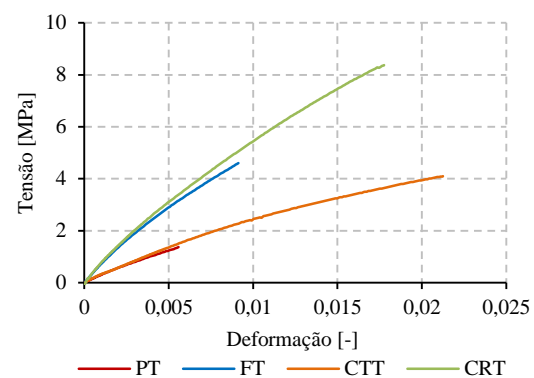


Fig. 16 – Ensaios de tração para os provetes segundo a direção transversal

Para os provetes segundo a direção longitudinal observa-se, numa fase inicial, um desenvolvimento constante designado por zona elástica, que termina para deformações de aproximadamente 1,5% a 2,5%. Acima deste valor os provetes entram na chamada zona plástica até rotura, sem verificação de oscilações do carregamento na passagem entre a zona elástica e plástica. Os provetes apresentam deformações últimas distintas, a que correspondem tensões de rotura da ordem dos 70 MPa para as madeiras de Freixo e de Carvalho. Da análise dos resultados pode concluir-se que as quatro espécies de madeira, na direção longitudinal ao fio, apresentam um comportamento caracterizado pela rotura frágil.

Nos ensaios de tração segundo a direção transversal ao fio verificou-se que a extensão de rotura se regista entre 0,5% e 2,3% correspondendo a tensões últimas compreendidas entre 1,5 MPa e 9 MPa. O

comportamento das madeiras deve neste caso ser classificado de frágil.

A tabela 2 resume os valores médios obtidos nos diferentes ensaios e para cada tipo de espécie em estudo.

Tabela 2 – Valores médios obtidos no ensaio à tração.

Espécie de madeira	E [GPa]	σ_{rot} [MPa]
Pinho L	4,12	22,84
Pinho T	0,59	0,96
Freixo L	6,46	70,88
Freixo T	1,02	3,56
Castanho L	3,04	42,4
Castanho T	0,41	1,3
Carvalho L	3,99	81,7
Carvalho T	3,0	0,94

4- CONCLUSÕES

O equilíbrio da madeira com o meio envolvente é conseguido à custa das variações dimensionais, pelo que cada tipo de madeira estabiliza dimensionalmente a um teor de água de equilíbrio próprio que a caracteriza. Para atenuar os inconvenientes da retração e do inchamento da madeira devem aplicar-se madeiras em que estes fenómenos tenham um efeito reduzido. O corte das peças de madeira deve ser radial de forma a proporcionar uma superior qualidade no que diz respeito ao comportamento da mesma, nomeadamente, retração, fendas e empeno. A madeira deve ser empregue com o grau de humidade correspondente ao meio onde vai ser utilizada, isto é, o seu teor em água deve ser o mais próximo possível do teor em água de equilíbrio em função do local de aplicação.

Do trabalho experimental elaborado conclui-se que a madeira de Freixo foi a que apresentou melhor comportamento considerando como características a massa volúmica, a variação dimensional, o teor de água e as características mecânicas. Todas as espécies de madeiras tendem a melhorar a sua estabilidade dimensional com o aumento do número de ciclos, ou seja, estabilizam com o envelhecimento.

5- REFERÊNCIAS

- Coutinho, J., 1999. Madeiras. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- EN 408, 2003. Timber structures – Structural timber and glued laminated timber - Determination of some physical and mechanical properties.
- Ferreira, D.R.S.M., Pinto, C.D.P., Borges, P.C.B., Fonseca, E.M.M., 2013. Dimensional stability of wood in presence of water, Proceedings of 4th International Conference on Integrity, Reliability and Failure, Funchal, Portugal, p. 643-644.
- Ferreira, D.R.S.M., Pinto, C.D.P., Borges, P.C.B., Pinto, T., Fonseca, E.M.M., 2014. Estabilidade dimensional da madeira na presença de água, Proceedings do Congresso Latinoamericano sobre Patologías de la Construcción, Tecnología de la Rehabilitación e Gestión del Patrimonio – Rehabend, Santander, Espanha
- LNEC: Madeira para construção, 1997. M1 a M9, Lisboa
- Martins, J., 2010. Bases para o Projeto de Conservação, Restauro e Reabilitação de Edifícios Antigos, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real.
- NP 614, 1973. Instituto Português da Qualidade.
- NP 615, 1973. Instituto Português da Qualidade.
- NP 616, 1973. Instituto Português da Qualidade.
- NBR 7190, 1997. Técnicas, ABNT - Associação Brasileira de Normas.
- Silva, C., Branco, J., Camões, A., Lourenço P., 2014. Dimensional variation of three softwood due to hygroscopic behavior. Construction and Building Materials, 59, p. 25-31.
- Simpson, W., TenWold, A., 1999. Physical properties and moisture relations. In F. P. Laboratory, Wood handbook - Wood as an engineering material. Madison, WI: U.S: Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory.

Ferreira, D.R.S.M.; Fonseca, E.M.M.; Pinto, C.D.P.; Borges; P.C.B.

White, R. H., Dietenberger, M. A., 1999.
Handbook - Wood as an Engineering
Material. Madison, Wisconsin : USDA
- United States Department of
Agriculture.