

Avaliação de elementos estruturais de madeira: Desenvolvimentos recentes



José S. Machado*

Investigador Auxiliar
LNEC
Lisboa
saporiti@lnec.pt



Artur O. Feio

Professor Auxiliar
Universidade Lusíada
Famalicão
artur.feio@fam.ulusiada.pt

SUMÁRIO

Alterações de uso, a ocorrência de deterioração ou o colapso parcial são situações que requerem a necessidade de avaliar a segurança ou funcionalidade de uma estrutura de madeira. No entanto, esta avaliação encontra as dificuldades associadas às características dos elementos estruturais de madeira (comportamento anisotrópico, elevada variabilidade das propriedades físico-mecânicas e higroscopicidade com efeito pronunciado nas propriedades físico-mecânicas) e do efeito do nível de conservação (deterioração) na redução das propriedades mecânicas. Estas dificuldades são reconhecidas internacionalmente e têm vindo a ser debatidas no âmbito de diversas comissões científicas e técnicas nos últimos 5 anos. A presente comunicação pretende dar a conhecer a atividade desenvolvida por estas comissões e enumerar algumas das novas metodologias de avaliação de estruturas de madeira.

Palavras-chave: Estruturas de madeira, Avaliação não destrutiva, Avaliação semi-destrutiva, Avaliação visual, novos desenvolvimentos.

1. INTRODUÇÃO

A necessidade de manutenção em serviço de edifícios existentes, contribuindo para a defesa do património edificado e/ou uma maior racionalização de recursos, requer a disponibilidade, entre outras ferramentas, de conhecimentos que permitam uma avaliação fiável do comportamento estrutural desses mesmos edifícios.

A necessidade de avaliação da segurança e funcionalidade de estruturas de madeira resulta de um conjunto de ocorrências de que se salientam as alterações de uso, a ocorrência de deterioração ou o colapso parcial [1]. A madeira embora seja um dos mais antigos materiais de construção apresenta características, como sejam a sua marcante anisotropia, higroscopicidade e variabilidade das suas propriedades, que tornam a sua avaliação *in situ* extremamente difícil e fortemente sujeita à experiência do perito encarregue da sua inspeção. Na avaliação de estruturas de madeira são geralmente consideradas duas fases [2]. Uma fase preliminar assente numa abordagem holística em que se obtém uma visão global da estrutura conduzindo a uma análise estrutural preliminar. Caso o resultado obtido resulte na necessidade de um conjunto elevado de reforços (com elevados custos associados) ou de demolição (total ou parcial) então, nomeadamente em edifício de interesse histórico e/ou cultural, importa ponderar a realização de uma segunda fase descrita como avaliação detalhada como forma de validar a decisão a adotar.

Na avaliação de estruturas de madeira três pontos principais são considerados:

1. Comportamento dos elementos estruturais.
2. Comportamento das ligações.
3. Estado de conservação da estrutura.

Na avaliação de cada um destes pontos diversas metodologias podem ser adotadas. No caso do comportamento dos elementos a inspeção tende a avaliar três propriedades ditas de “referência”: massa volúmica, resistência e módulo de elasticidade à flexão, figura 1. Esta designação assenta no panorama normativo europeu em vigor.

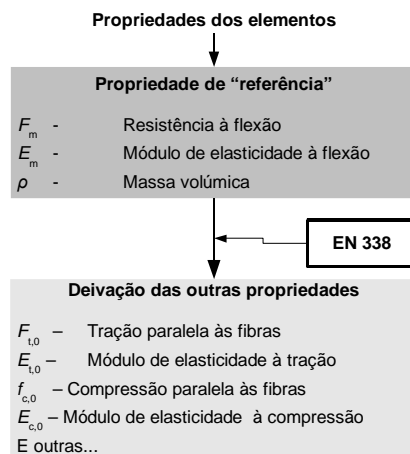


Figura 1. Propriedades de “referência” e outras propriedades

Uma estimativa dos valores a adotar para estas propriedades de “referência” é sempre inicialmente obtida através de uma análise visual global do elemento (nível macro), podendo ser mais tarde complementada por uma análise (global ou local) por métodos não destrutivos (MND) ou semi-destrutivos (MSD). A figura 2 apresenta as duas fases consideradas na avaliação de estruturas de madeira, sendo a primeira aquela normalmente aplicada desde há muito na avaliação de estruturas de madeira.

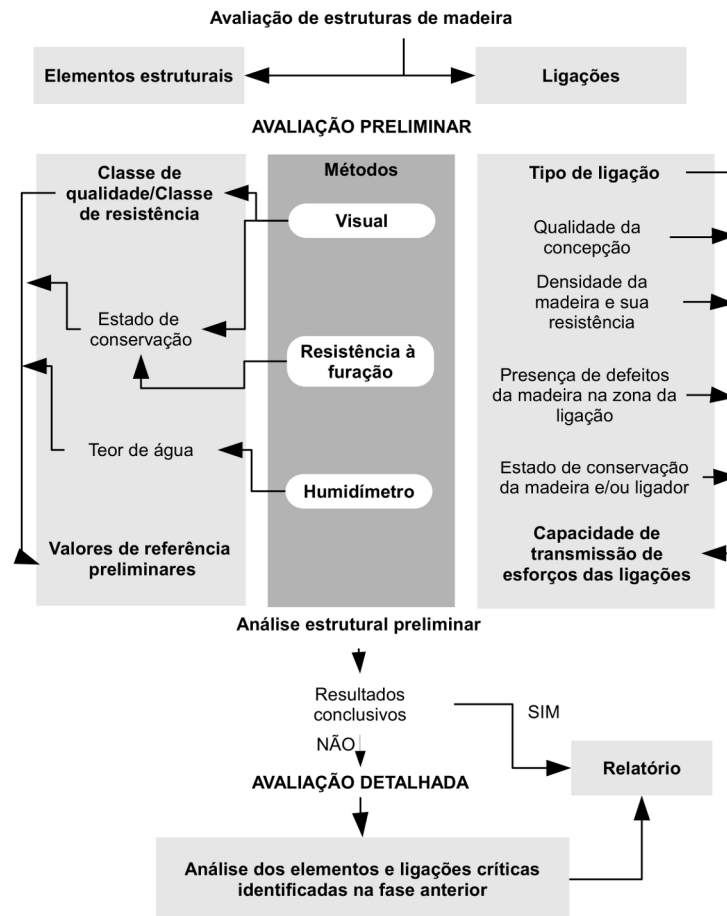


Figura 2. Fases a considerar na análise de estruturas de madeira

Nesta fase os MND e MSD compõem-se geralmente de avaliação visual, medição do teor de água (humidímetro) e equipamento de medição da resistência à furação. A segunda fase é por vezes esquecida por diversos motivos em que se incluem: os custos estimados para a sua realização; dificuldades em definir quais os métodos que poderão ser utilizados; e desconhecimento da metodologia a seguir para a integração de informação distinta obtida dos vários métodos. Esta correta integração é fundamental de forma a estabelecer com maior rigor o comportamento mecânico dos elementos estruturais e a capacidade resistente das ligações.

A presente comunicação pretende abordar os avanços que têm vindo a ocorrer na fase designada por avaliação detalhada, figura 2, incluindo os aspetos relacionados com a classificação visual, o desenvolvimento de outros métodos de avaliação e métodos de análise e derivação de propriedades mecânicas que têm vindo a ser adotados recentemente.

2. ADAPTAÇÃO DA CLASSIFICAÇÃO VISUAL ÀS CONDIÇÕES DE OBRA

A avaliação visual continua a ser o método não destrutivo principal para a avaliação de uma estrutura de madeira. A inspeção visual pretende analisar as características gerais do sistema estrutura (incluindo a sua importância histórica), possíveis alterações ao sistema original (incluindo reforços e substituição de elementos e ligações), a qualidade dos elementos estruturais (classe de qualidade para fins estruturais), o tipo e qualidade de execução das ligações e a presença de deterioração biológica.

No entanto, desde há muito que se reconhece que a aplicação direta e simples de regras de classificação, desenvolvidas para a atribuição em serração de valores característicos de resistência mecânica a elementos de madeira serrada, leva a uma subavaliação grosseira das propriedades mecânicas da madeira. As causas para este fato prendem-se com:

- limitada acessibilidade a todas as superfícies longitudinais (faces e cantos) dos elementos;
- deficientes condições de iluminação e limpeza que dificultam uma perceção clara das singularidades presentes nos elementos;
- erros cometidos devido ao carácter subjetivo (avaliação humana) da avaliação da importância de determinado defeito.

Deste modo, tem vindo a discutir-se em diversos fóruns a criação de regras de classificação visual específicas para aplicação *in situ*. A primeira norma publicada foi a norma italiana UNI 11119 em 2004 [3]. Baseada nesta norma a Ação COST IE0601-WoodCulther constituiu um grupo de trabalho que desenvolveu um conjunto de regras a seguir na avaliação de estruturas de madeira em construções de interesse histórico e/ou cultural [2].

Este guia, bem como a norma italiana, constituem atualmente os documentos de base ao trabalho em curso no grupo de trabalho WG10 do CEN/TC 346 (Conservation of cultural heritage - Historic Timber Structures), pretendendo a preparação de uma norma europeia que defina uma metodologia harmonizada para a classificação visual de madeira para fins estruturais, tendo em vista a aplicação em obra.

Os princípios descritos nesse guia englobam, para além dos elementos estruturais, aspetos relativos à avaliação de ligações e considerações quanto a uma possível alteração dos factores de correção. Na linha de outras publicações o guia do COST IE0601 apresenta uma abordagem baseada em duas fases de inspeção, figura 2.

Reconhecendo as limitações da aplicação das normas de classificação de madeira serrada, o guia propõe que no entanto na fase preliminar estas sejam seguidas de forma a estabelecer os valores físico-mecânicos iniciais de referência. Numa segunda fase a inspeção deve incidir sobre os elementos e ligações críticas identificadas na análise estrutural realizada na fase preliminar. Na apreciação visual deve ser considerado o tipo de utilização (viga, pilar, etc.) e a localização dos defeitos em relação às tensões instaladas, pretendendo uma melhor aproximação aos valores reais dos valores mecânicos previstos.

Um exemplo é o efeito da presença de nós. Os nós constituem o defeito da madeira que mais condiciona, no caso das resinosas, os resultados da classificação visual para estruturas [4]. Na classificação de madeira serrada não se conhece *a priori* qual será a localização do nó quando a peça for aplicada em obra e portanto o pior caso é tido em conta. Na classificação em obra essa localização é conhecida, assim, no caso de uma viga a localização do nó na zona tracionada é significativamente mais penalizadora do que na zona comprimida.

Atendendo a este princípio, o guia do COST IE061 e a norma UNI assentam em regras de classificação já anteriormente definidas em normas antigas de classificação para fins estruturais baseadas em ensaio de provetes pequenos livres de defeitos. Este procedimento é largamente ainda utilizado nos Estados Unidos da América [5,6]. A figura 3 apresenta alguns preceitos que devem nortear a classificação de elementos de madeira *in situ*, de forma a fornecer valores de características mecânicas e físicas para fins de análise de segurança e funcionalidade [2].

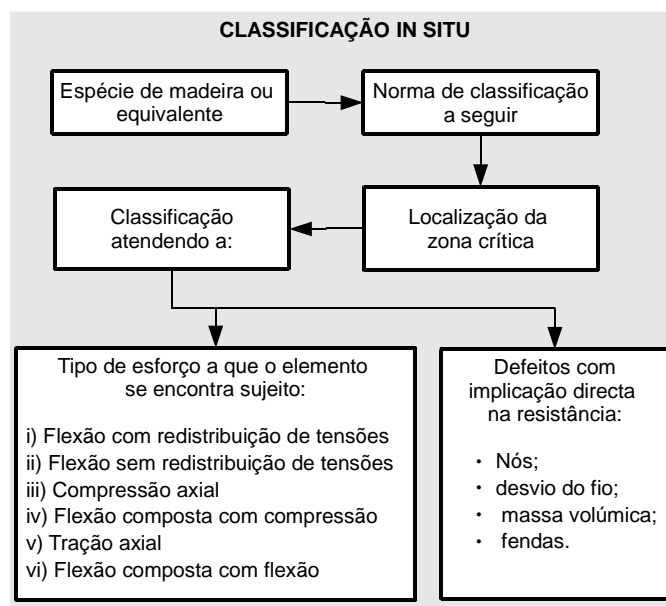


Figura 3. Princípios orientadores da classificação de elementos de madeira *in situ* [2]

A inspeção das ligações deve atender às especificidades de cada tipo de ligação (tradicionais ou não), as quais podem apresentar um conjunto vasto de anomalias afetando a sua capacidade resistente e a sua capacidade de transmissão de esforços. Nas ligações tradicionais devem ser verificadas possíveis anomalias devidas: à existência de folgas excessivas entre superfícies em contacto no entalhe; a entalhes mal concebidos; a ligações em locais desadequados; e à realização de ligações induzindo esforços transversos elevados (tensões perpendiculares às fibras) [7].

O guia do COST IE061 [2] relativamente às ligações tradicionais apresenta um conjunto de considerações a seguir na inspeção de ligações tradicionais, figura 4.

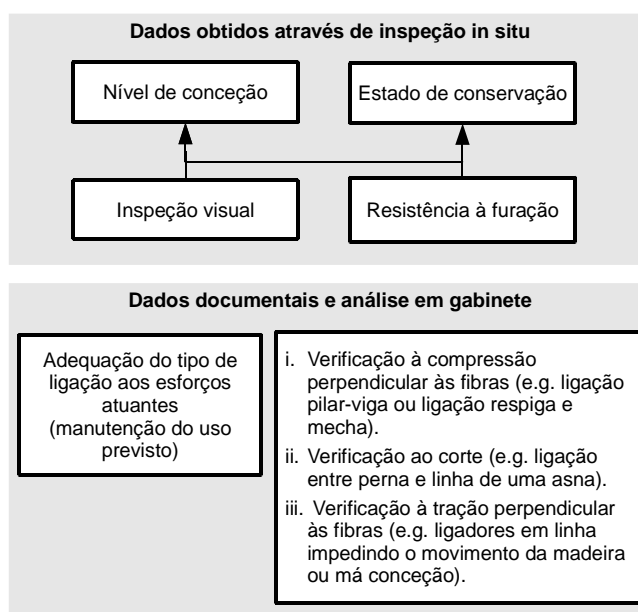


Figura 4. Princípios orientadores na análise de ligações em estruturas antigas [2]

A informação acima mencionada não deve ser utilizada sem a consulta pormenorizada do guia [2], dada que a complexidade das considerações aí feitas não é possível de ser resumida na presente comunicação.

3. DESENVOLVIMENTOS RELATIVOS A MÉTODOS DE ENSAIO IN SITU

Os métodos utilizados na avaliação de estruturas de madeira podem ser divididos em três categorias: destrutivos; semi-destrutivos; e não destrutivos. Os ensaios destrutivos pressupõem que o comportamento mecânico do elemento do qual é extraída a amostra fica comprometido. Caso esse comportamento não fique comprometido o ensaio passa a ser integrado na categoria de ensaio semi-destrutivo. Os ensaios não destrutivos englobam todos aqueles em que não existe dano nos elementos (e.g. ensaios de ondas de pressão).

A caracterização dos diversos métodos foi realizada no âmbito da Ação COST E55 “Modelling of the performance of Timber Structures” [8] e da comissão técnica 215-AST do

RILEM [9]. Nos relatórios produzidos é possível obter uma descrição dos diversos métodos, os fins a que se destinam e as suas limitações.

Os MND e MSD podem ser separados naqueles correntemente utilizados na avaliação de estruturas de madeira (seção 3.1) e num conjunto mais alargado de métodos que têm vindo a ser utilizados de forma restrita ou mesmo somente a título ainda experimental (seção 3.2).

3.1 Métodos correntemente utilizados. Novos desenvolvimentos

O método destrutivo incluiu a extração de pequenos provetes limpos de defeitos para ensaio destrutivo em laboratório ou a extração de um elemento estrutural, representativo da qualidade geral da madeira presente na estrutura, e posterior ensaio.

A recolha de elementos estruturais ou a recolha de provetes sem defeitos destes elementos para ensaio em laboratório não permite inferir qual o comportamento mecânico global do elemento do qual o fragmento foi extraído ou dos restantes elementos (no caso do ensaio do próprio elemento), quando não acompanhada de informação complementar relacionada com o tipo e extensão de defeitos presente na peça de madeira (classe de qualidade visual para fins estruturais). No entanto, uma vez o ensaio enquadrado num esquema mais alargado de análise da resistência e rigidez do elemento, essa mesma informação poderá então ser usada para a atualização, confirmação ou validação de informação pré-existente relativamente à qualidade da madeira.

Correntemente no âmbito dos métodos semi-destrutivos têm sido utilizados a resistência à furação (designado vulgarmente por Resistograph) e a resistência à penetração. A resistência à furação tem vindo a ser utilizada para obter dados sobre as características geométricas dos elementos, o seu estado de conservação, a massa volúmica e defeitos no interior dos elementos (vazios e fendas). Este método pode ainda ser utilizado para estimar as propriedades mecânicas [10]. Contudo a elevada dependência dos resultados face às condições operacionais (nomeadamente tipo de equipamento, velocidade de avanço da agulha, direção de avanço da agulha face aos anéis de crescimento) torna esta aplicação muito dependente da capacidade de combinar a informação obtida com outra proveniente de outros métodos ou mesmo a utilização de modelos de regressão linear pré-existent.

A influência já mencionada de diversos fatores operacionais na qualidade da informação fornecida pelo método da resistência à furação, levou a que um conjunto harmonizado de regras de utilização deste método tenha sido proposto recentemente [11].

Assim, a direção de penetração da agulha na madeira deve ser perpendicular aos anéis de crescimento, no caso de vigas de anel completo (medula no interior do elemento) esta perfuração deve ser feita a uma distância da face de cerca de 1/3 da distância entre faces (locais 1, figura 5). Os furos devem ser efetuados ligeiramente inclinados de forma a diminuir a inflexão da agulha no interior do elemento. Dado a variação espacial de propriedades da madeira deverá ser feita leituras em intervalos regulares ao longo do comprimento do elemento. No caso de degradação deverá ser feita leituras em todos os locais considerados

suspeitos após inspeção visual e em todos os locais suscetíveis de existência de condições de teor de água elevado (e.g. entregas de vigas) e que não estejam acessíveis.

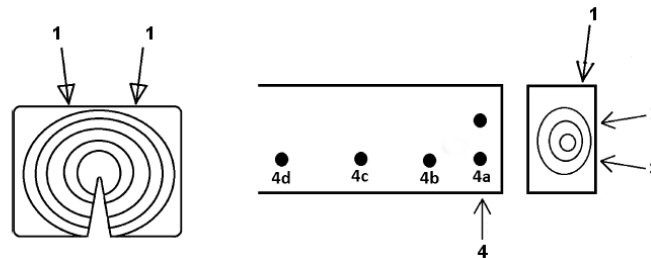


Figura 5. Princípios orientadores escolha da localização dos furos no caso de uma viga de pavimento, adaptado de [11]

Caso a realização de furos do tipo 1 não seja possível as posições 2 e 3 podem ser usadas em alternativa. No caso de degradação deverá ser efetuado um perfil de resistência num local considerado de madeira sã (por exemplo 4d e 4c) sendo a avaliação de degradação nas posições 4b e 4a realizada por comparação com os perfis 4d e 4c. Quanto à velocidade de avanço da agulha deve ser a mais rápida possível de forma a obter uma melhor sensibilidade às variações de densidade entre os diferentes tipos de lenho (primavera e outono) e entre estes e zonas deterioradas devido a fungos ou insetos (carunchos e térmitas).

Relativamente ao número de furos estes dependem do juízo do perito considerando o nível de intrusão permitido, a informação existente, a condição do elemento, a extensão da deterioração e a importância do elemento. No caso de elementos ocultos existe a necessidade de levar a cabo mais furos de forma a compensar a inexistência de informação visual.

O documento apresenta ainda um conjunto de fatores que influenciam os perfis de resistência e que interessa considerar de forma a interpretar de forma correta os perfis.

Relativamente à resistência à penetração, esta é correntemente determinada por meio da utilização do equipamento designado por Pilodyn versão 6J (energia de impacto). Este tipo de equipamento fornece um valor local e por isso tal como para o método atrás descrito uma série de leituras deve ser efetuada ao longo do elemento. Bons resultados foram obtidos em vigas antigas de abeto (*Abies alba*) através de leituras em todas as faces acessíveis em intervalos de 800mm [12]. A utilização deste tipo de equipamento somente permite avaliar a densidade da camada superficial do elemento ($\approx 30\text{--}40\text{ mm}$), sendo esta uma das principais limitações deste método.

Os ensaios não destrutivos mais difundidos consistem na avaliação da velocidade de propagação de ondas de pressão, embora os resultados muito variáveis reportados e a dificuldade de interpretação dos resultados continuem a constituir um fator limitativo da sua

aplicação *in situ*. Os ensaios são ainda dependentes de diversos fatores como a espécie de madeira, o teor de água e a orientação das camadas de crescimento relativamente à direção de propagação das ondas. Face à necessidade de harmonizar práticas correntes e estabelecer critérios primários para a utilização deste método, a comissão técnica 215-AST da RILEM estabeleceu um conjunto de regras de aplicação em obra [13].

A utilização de equipamentos de propagação de ondas sonoras tem vindo a ser utilizada na avaliação das características mecânicas e da presença de deterioração em elementos estruturais. No caso da deteção de deterioração devida a fungos de podridão, estabeleceu-se um critério baseado no decréscimo relativo da velocidade de propagação de ondas de pressão na madeira. Para o efeito considerou-se que estas podem ir de 3500 a 5000 m/s na direção das fibras e entre 1000 e 1500 m/s na direção perpendicular às fibras, sendo que para um conjunto alargado de espécies os valores de referência médios para a madeira são encontrados estabelecidos [13]. A determinação da diminuição relativa de velocidade face à velocidade (equação 1, quadro 1) é proposta para definir zonas mostrando deterioração devida a fungos.

$$\Delta V_{rel} = \frac{V_{med} - V_{ref}}{V_{ref}} \times 100 \quad (1)$$

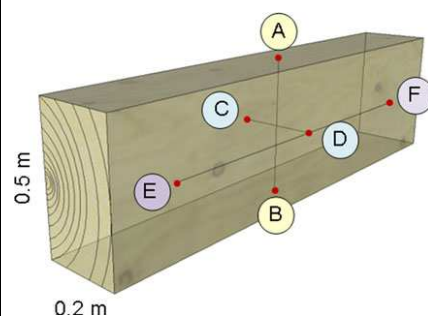
Onde :

ΔV_{rel} – Decréscimo relativo de velocidade; V_{med} – Velocidade medida;

V_{ref} – Velocidade de referência para a espécie de madeira

Quadro 1. Relação entre perda relativa de velocidade de propagação da onda e a percentagem de podridão no elemento, (leituras efetuadas nas direções A-B e C-D) [13]

Perda relativa de velocidade (%)	Percentagem de podridão (%)
0 – 10	0
10 – 20	10
20 – 30	20
30 – 40	30
40 – 50	40
≥ 50	≥ 50



No caso da determinação das características mecânicas têm vindo a ser utilizados modelos empíricos de regressão linear entre o módulo de elasticidade dinâmico e o módulo de elasticidade estático. Dada a grande diversidade de situações não existe uma clara indicação da metodologia a seguir, devendo esta ser definida caso a caso pelo perito.

Este documento incluiu igualmente considerações sobre aspetos a ter em atenção (incluindo fatores de correção) com influência na velocidade de propagação: anéis de crescimento; espécies de madeira; teor de água; temperatura do elemento; e efeito de tratamentos preservadores [13]. Mais uma vez é recomendada a realização de cinco leituras em cada local e a realização de leituras em mais de um local ao longo do comprimento do elemento. No caso de vigas de pavimento e atendendo aos possíveis casos de deterioração nas zonas de encastramento nas paredes, sugere-se a realização de leituras em dois locais junto a cada uma das entregas e uma leitura extra numa zona localizada a meio vão.

Outros tipos de ensaio não destrutivo podem fornecer informação relativa ao comportamento global de uma estrutura. Exemplos destes ensaios são os ensaios de pré-carga [14,15] e ensaios para caracterizar a resposta dinâmica de pavimentos de madeira [14]. No caso do ensaio de pré-carga a necessidade de uma análise estrutural prévia, de forma a garantir níveis adequados de segurança da operação, implica uma inspeção prévia por recurso a outros métodos (inspeção visual e resistência à perfuração ou ondas de pressão) que sustentem a indicação de propriedades físicas e mecânicas e nível de conservação a utilizar nessa análise.

3.2 Desenvolvimento de novos métodos

Nos últimos anos um conjunto de ensaios não destrutivos têm vindo a ser desenvolvidos permitindo responder a situações específicas.

A extração de carotes evoluiu de uma ferramenta para a obtenção de uma estimativa da massa volúmica e do teor de água para a possibilidade de ser utilizada na obtenção do módulo de elasticidade e resistência à compressão paralela às fibras, figura 6 [11].



Figura 6. Dispositivo para ensaio de compressão axial de carotes [11]

Dois métodos de ensaio foram propostas para a caracterização do comportamento de zonas de madeira limpa de defeitos à tração, figura 7 [11, 16].

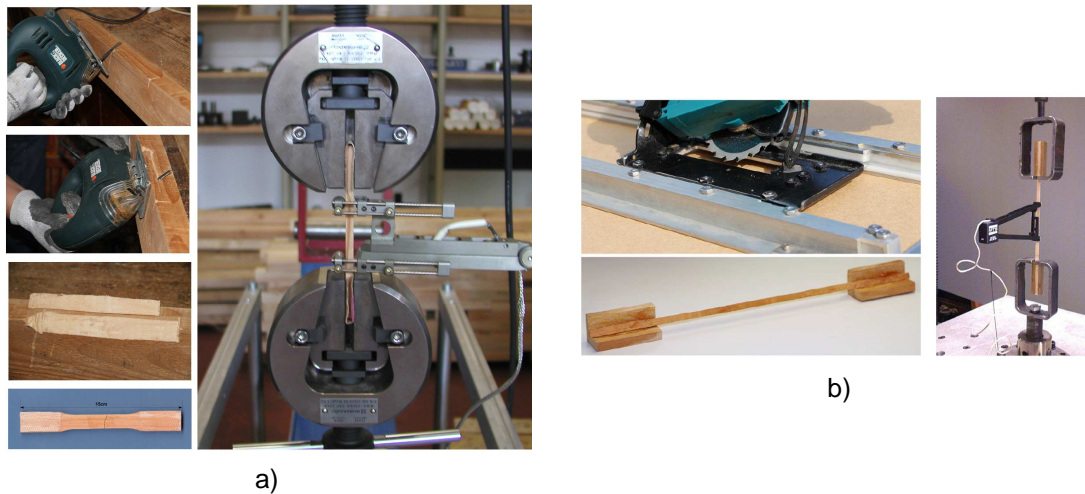


Figura 7. Método semi-destrutivo de ensaio de pequenos provetes limpos de defeitos à tração. a) provete de dimensões reduzidas (comprimento igual a 150mm) [16]; b) provete de dimensões similar aos normalizados para ensaios de madeira limpa de defeitos [11]

Outro método, podendo ser englobado na categoria de ensaio de resistência à penetração, é o método de dureza proposto por Piazza e Turrini [9]. Este método mede a resistência média para embeber uma esfera metálica de 10 mm de diâmetro até metade do seu diâmetro na madeira, figura 8. A resistência obtida, conjuntamente com um coeficiente relativo à espécie de madeira e outro relativo ao tipo de defeitos presentes na peça, fornece uma estimativa do módulo de elasticidade paralelo às fibras.

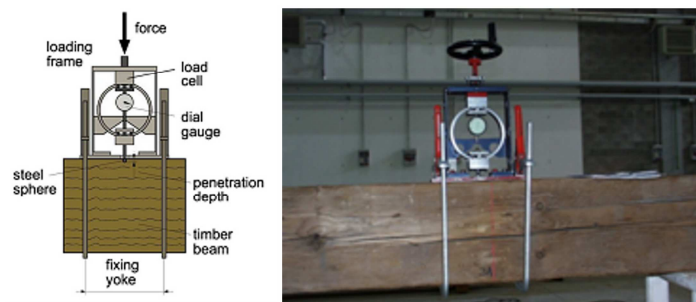


Figura 8. Método de dureza Piazza e Turrini

Um dos métodos semi-destrutivos mais recente consiste num equipamento que avalia a força necessária à penetração de um pino metálico na madeira, figura 8. Este método (*pin pushing*) representa um misto entre o ensaio de resistência à penetração, fornecendo relativamente a este um valor de força, e o ensaio de resistência à penetração, permitindo relativamente a este a avaliação das camadas mais profundas do elemento [11].

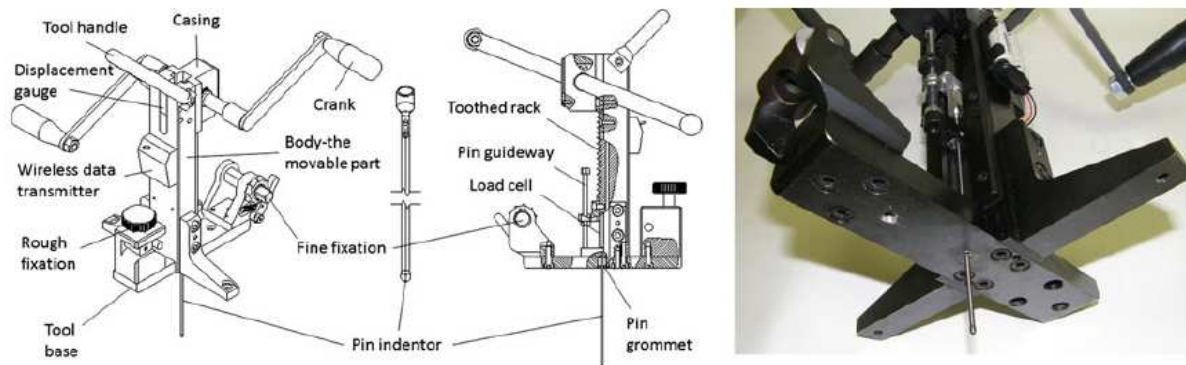


Figura 8. Método semi-destrutivo designado por *pin pushing* [10]

Para além dos métodos enunciados foram desenvolvidos ainda outros métodos de ensaio de que se salientam o ensaio de compressão *in situ*, a resistência ao arranque de parafusos, a radiografia, radar, termografia de infravermelhos, tomografia sonora [8, 9, 11, 13].

4. MÉTODOS DE ANÁLISE

A informação proveniente da aplicação dos métodos de ensaio atrás apresentados é diversa, podendo ser classificada de acordo com o tipo de informação e a sua relação com a propriedade que se pretende estimar. O tipo de informação pode ser qualitativo, quando baseada na observação dos elementos ou em dados documentais, ou quantitativo quando baseada na realização de ensaios *in situ*. Relativamente à relação com a propriedade em estudo a informação pode ser classificada como direta, fornecendo um valor da propriedade em estudo, ou indireta, fornecendo um valor indicativo o qual se encontra relacionado com a propriedade em estudo por meio de um modelo (e.g. curva de regressão).

A integração desta diversa informação tem sido feita através da utilização de métodos bayesianos [8, 16, 17]. A teoria bayesiana apresenta a ideia de probabilidade como grau de credibilidade, permitindo combinar a informação do indivíduo (informação existente – *a priori*) e a informação obtida através de ensaios *in situ* (nova informação), obtendo-se uma informação actualizada (*a posteriori*) sobre a resistência de um determinado elemento de madeira.

Importa salientar que no caso específico das estruturas de madeira a experiência do perito determina o grau de credibilidade da informação *a priori* e, assim, o peso que essa informação deverá ter na actualização da informação proveniente dos dados obtidos na campanha experimental levada a cabo.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A avaliação de estruturas de madeira deve iniciar-se pela realização de uma avaliação preliminar baseada na avaliação visual por parte de um perito experiente. O resultado desta avaliação conduz a uma decisão acerca da necessidade de realizar uma segunda avaliação, com um carácter mais detalhado. Os trabalhos conduzidos por diversas comissões técnicas (nomeadamente Ações COST e RILEM) nos últimos anos têm contribuído para a optimização da realização da inspeção visual, atendendo às condições em obra dos elementos estruturais, assim como salientar os pontos cruciais a atender na inspeção de ligações tradicionais. Igualmente estas comissões permitiram condensar informação dispersa relativamente a métodos de ensaio para avaliação *in situ* das propriedades e nível de conservação de elementos de madeira.

Mais recentemente a Ação COST FP1101 tem vindo a trabalhar em documentos destinados a demonstrar de que forma é possível a utilização combinada de dois ou mais métodos para uma estimativa mais fiável das propriedades dos elementos estruturais.

Diversos trabalhos permitem demonstrar as potencialidades da análise bayesiana na fusão de informação empírica com informação obtida pela aplicação de vários métodos de ensaio *in situ*.

Por fim importa salientar a falta de informação que ainda subsiste na avaliação das ligações de madeira, nomeadamente de suporte a modelos que permitam, de um forma fiável, prever o seu comportamento real.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Ação COST FP1101 *Assessment, reinforcement and monitoring of timber structures* a oportunidade de debater temas relativos à avaliação da segurança estrutural de estruturas de madeira.

REFERÊNCIAS

- [1] ISO 13822:2010 - *Bases for design of structures -- Assessment of existing structures*.
- [2] Cruz et al – “Guidelines for the on-site assessment of historic timber structures”, *International Journal of Architectural Heritage*, DOI: 0.1080/15583058.2013.774070.
- [3] UNI 11119:2004 - *Cultural Heritage. Wooden artefacts. Load-bearing structures - On site inspections for the diagnosis of timber members*.
- [4] Machado, J. S.; Cruz, H. – “Strength grading of Maritime pine timber. Influence of pith and knots” em *IUFRO S5.02 Timber Engineering Conference*. 1997, pp. 187-198.
- [5] Anthony et al (2009) – “A Grading Protocol for Structural Lumber and Timber in Historic Structures”, *Apt Bulletin: Journal of Preservation Technology*, 2009, Vol. 40, 11 p.

- [6] Jdrzejewski, M. J. "A method for determining the allowable strength of in-place wood structural members" em *Building Performance: function, Preservation and Rehabilitation*, ASTM STP 901. Ed. G. Davis, American Society for Testing and Materials, 1986, pp. 136-151.
- [7] Dias A. et al – *Avaliação, conservação e reforço de estruturas de madeira*. Verlag Dashöfer, 2009, 149 p.
- [8] COST E55 – "Assessment of Timber Structures". Ed. P Dietsch e J Köhler, Shaker Verlag, 2010, 134 p.
- [9] RILEM – "In Situ Assessment of Structural Timber". Ed. B Kasal e T Tannert, Springer, 2010, 124 p.
- [10] Feio, A. O. et al – "Non-destructive evaluation of the mechanical behavior of chestnut wood in tension and compression parallel to grain" *International Journal of Architectural Heritage*, 2007, Vol. 1, 20 p.
- [11] Tannert, T. et al – "In situ assessment of structural timber using semi-destructive techniques" *Materials and Structures*, 2014, Vol. 47, 18 p.
- [12] Cavalli, A.; Togni, M. – "How to improve the on-site MOE assessment of old timber beams combining NDT and visual strength grading" *Nondestructive Testing and Evaluation*, 2013, Vol. 28, 10 p.
- [13] Dackermann, U. et al – "In situ assessment of structural timber using stress-wave measurements" *Materials and Structures*, 2014, Vol. 47, 16p.
- [14] Ilharco et al – "Pavimentos de madeira em edifícios antigos. Diagnóstico e intervenção estrutural". Dissertação de mestrado em Reabilitação do Património Edificado, 2008, 314p.
- [15] Riggio et al – "Refurbishment of a traditional timber floor with a reversible technique: Importance of the investigation campaign for design and control of the intervention" *International Journal of Architectural Heritage: Conservation, Analysis, and Restoration*, 2014, Vol. 8., 19p.
- [16] Machado, J. S. et al – "Assessment of the structural properties of timber members in situ – a probabilistic approach" em *SHATIS'11 International Conference on Structural Health Assessment of Timber Structures*, Lisboa, 2011.
- [17] Sousa, Hélder M. da S. e – *Methodology for safety evaluation of existing timber elements*. Dissertação de Doutoramento em Engenharia Civil, Universidade do Minho, 2013, 232 p.