

Reabilitação Estrutural: Análise de Técnicas de Reforço em Estruturas de Madeira

Artur O. Feio

PhD, Professor Auxiliar
Universidade Lusíada de V. N. Famalicão
Faculdade de Arquitectura e Artes,
V. N. Famalicão, Portugal
arturfeio@fam.ulusiada.pt



José S. Machado

PhD, Investigador Auxiliar
Laboratório Nacional de Eng. Civil – LNEC
Núcleo de Estruturas de Madeira
Lisboa, Portugal
saporiti@lnec.pt



Vítor M. Cunha

PhD, Professor Auxiliar Convidado
UTAD
Dep. Eng.
Vila Real, Portugal
vcunha@utad.pt



Palavras-chave – Reabilitação, Consolidação, Reforço, Estruturas de Madeira

Keywords – Rehabilitation, Retrofitting, Wood Structures

RESUMO

No presente trabalho serão descritas algumas soluções para a consolidação ou reforço de elementos estruturais de madeira utilizando diferentes técnicas. Serão descritos os procedimentos e cuidados a ter na sua execução, ao mesmo tempo que serão referenciadas as principais vantagens e desvantagens. Assim, dependendo do grau de eficácia pretendido, capacidade económica ou intrusividade da solução é possível distinguir e tipificar algumas soluções.

A utilização de madeira nova na reabilitação de soluções existentes consiste numa intervenção mínima que pretende manter, por vezes com carácter temporal, a estabilidade do elemento sem modificar o seu estado actual. São soluções económicas cujo resultado estético e muitas vezes funcional pode não ser o melhor. Um dos principais problemas é a degradação biótica dos apoios junto das paredes de suporte. Outros problemas como a deformação excessiva ou empenos grosseiros resultantes dos ciclos de presença-ausência de humidade nos elementos são outros fenómenos que potenciam esta situação.

ABSTRACT

The present paper will describe some solutions for the consolidation or reinforcement of wooden structural elements using different techniques. It will be described the procedures and care in its execution, while the main advantages and problems are referenced. Thus, depending on the effectiveness, economic capacity or intrusiveness of the solution will be possible to distinguish and typify some solutions.

The use of wood in the rehabilitation of existing solutions consists of a minimum intervention that intends to maintain the structural stability of the element without changing its current loading state. These solutions are mostly thought using an economic point of view which results in anesthetic and dysfunctional solutions. One of the main problems is precisely the biotic degradation of the supports. Other problems such as excessive deformation or warping resulting from cycles of presence-absence of moisture in the elements are other phenomena that enhance this situation.

1. Introdução

No presente trabalho serão descritas algumas soluções para a consolidação ou reforço de elementos estruturais de madeira utilizando diferentes técnicas. A utilização de madeira nova na reabilitação de soluções existentes consiste numa intervenção mínima que pretende manter, por vezes com carácter temporal, a estabilidade do elemento sem modificar o seu estado actual (por exemplo: soluções de apoio temporárias, escoramentos ou sustentações provisórias). São soluções económicas cujo resultado estético e muitas vezes funcional pode não ser o melhor. Em muitas situações esta solução pode passar pelo reforço dos elementos já existentes “colando” ou justapondo novos elementos de madeira, ver Fig. 1. Se a madeira remanescente estiver atacada devem ser tomadas medidas preventivas que impeçam a propagação do ataque.

Pode também proceder-se à substituição integral de elementos de madeira que estejam danificados ou que apresentem patologias que diminuam significativamente a sua capacidade residual resistente. A substituição pode ser realizada usando madeiras maciças ou produtos derivados (por exemplo Glulam) quando as secções necessárias sejam de grande porte.

O uso de derivados de madeira de elevada resistência e reduzida densidade (contraplacados, OSB, aglomerados, etc.) pode ser uma boa alternativa no reforço de pavimentos em relação, por exemplo, ao betão armado. Dependendo da função estrutural que desempenham ou da sua localização global na estrutura podemos distinguir as seguintes situações:

- intervenção em apoios de vigas de pavimento;
- intervenção em elementos solicitados à flexão (vigas ou pavimentos);
- intervenção em pilares;
- intervenção em asnas de cobertura.

1.1. Apoios de Vigas de Pavimento (entregas em paredes)

As zonas de apoio de vigas representam zonas sensíveis e fragilizadas, podendo ser alvo de ataques por fungos e ou insectos xilófagos sobretudo quando se encontram situadas em zonas húmidas. As comuns paredes de alvenaria de pedra granítica, tão comuns no nosso país nomeadamente na zona Norte de Portugal, potenciam este fenómeno devido à sua porosidade e capacidade higroscópica nomeadamente na presença de lençóis freáticos de pequena profundidade.

Os danos neste tipo de situações podem ser bastante severos e o elemento pode perder a capacidade portante devido à diminuição significativa da secção resistente, ainda que o resto do elemento esteja são. A opção mais rápida, comum e muitas vezes económica é a substituição completa do elemento por outro

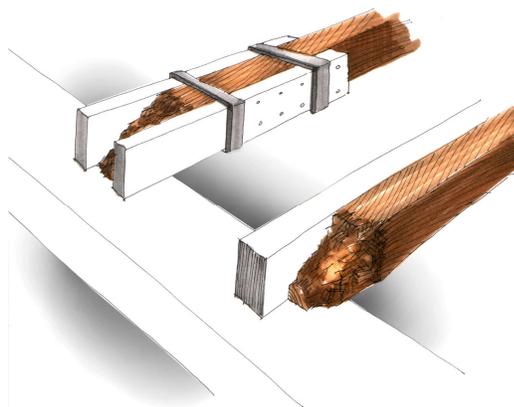


Figura 1 – Utilização de novos elementos em madeira maciça no reforço de uma estrutura existente

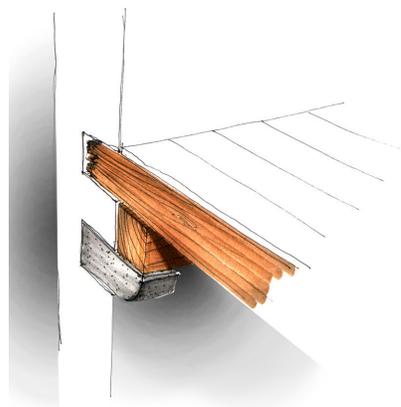


Figura 2 – Introdução de novas condições de apoio

novo. No entanto, podem existir situações em que outros tipos de intervenções sejam possíveis ou desejáveis

O reforço/reparação das entregas das testas das vigas em paredes de alvenaria é uma das mais predominantes situações que podem ser identificadas no processo de reabilitação estrutural. Normalmente, este tipo de patologia pode ser resolvido através da introdução de novas condições de apoio geralmente usando a parede como elemento de fixação. Na Fig. 2 é apresentada uma solução para o problema através do reforço com linha de madeira ao longo da parede e apoiada em cachorro de pedra.

Um dos principais inconvenientes deste tipo de solução deve-se ao acréscimo de momento flector ao nível da parede, introduzido pela nova configuração e provocado pela existência de alguma excentricidade na descarga das forças. De salientar que na situação em que se execute o reforço com madeira nova, deve-se ter em atenção se o ataque permanece activo sob o risco dos antigos problemas de podridão persistirem.

Outra possibilidade pode passar pela reparação pontual das entregas das vigas do pavimento através de talas que permitem aumentar o comprimento dos elementos e, quando necessário, da própria entrega. Estes elementos são unidos aos elementos de madeira, através de pregos, parafusos, anéis de aço, varões, etc., reforçando localmente o elemento, funcionando como simples remendos, com verificações de cálculo relativamente difíceis e com algum grau de subjectividade.

Podem ser utilizados perfis metálicos destacando-se de entre os mais usados os perfis UNP, sendo também possível a aplicação de outros perfis metálicos como os perfis em “I”, “H”, barras metálicas, etc., que permitem fazer próteses com 50-80 cm. A prática diz-nos que este tipo de solução é mais onerosa que a substituição directa (em madeira) da parte do pavimento afectada.

A inserção de elementos metálicos no interior das peças a reforçar é também possível, aumentando consideravelmente a eficácia do reforço quando comparada com a solução exterior, apresentando também a vantagem de ser uma solução com menor impacto visual.

No entanto, a consolidação e o reforço de estruturas de madeira com o recurso a elementos de madeira unidos mecanicamente a outros preexistentes têm um funcionamento similar ao reforço com elementos metálicos. A solução mais frequente é a de unir dois elementos de madeira nova (“talas”) através de pernos, parafusos ou cavilhas num comprimento suficiente. Por vezes é mais simples unir um novo elemento (aumentando a espessura do elemento) ao elemento danificado em todo o seu comprimento.

A Fig. 3 ilustra algumas possibilidades de reforçar elementos de madeira através de entalhes em corte oblíquo ou utilizando ligações em *respiga e mecha* ou *machofêmea*, com *respiga simples, dupla ou tripla* (Feio, 2006).

Em relação às primeiras, o seu comportamento pode ser melhorado se na ligação forem utilizados pernos, passadores ou parafusos ($\Phi_{min} = 12$ mm) metálicos em virtude, por exemplo, de ligadores em madeira. São soluções cuja eficácia à flexão é de 0,20 – 0,32 e à rigidez é de 0,27 – 0,54 donde resulta que de facto este tipo de solução só pode ser usada em zonas onde os esforços de flexão são reduzidos, *i.e.*, zonas de apoio (Ceccotti *et al*, 1993; Landa, 2000). Uma forma de melhorar o comportamento destas ligações passa pela utilização de colas como meio de união. Como em qualquer ligação colada existem certos aspectos que não deverão ser descurados, como por exemplo a temperatura do local ($T_{min} = 20^{\circ}C$) e o teor em água dos elementos de madeira a colar (15-17%).

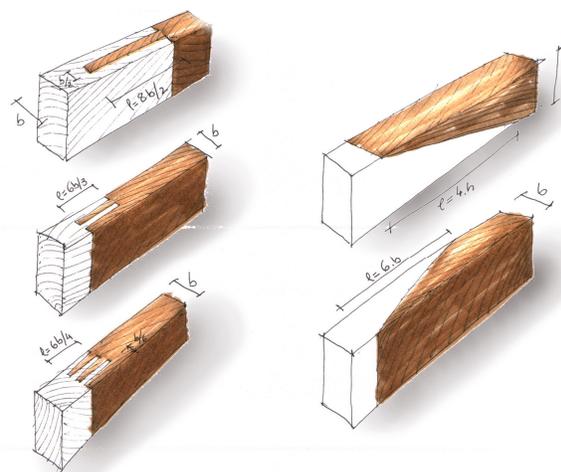


Figura 3 – Consolidação de madeira utilizando uniões entalhadas

Outra possibilidade passa pela colocação da argamassa epoxídica (resina epoxi + endurecedor + areia + gravilha) no interior da cofragem, num processo semelhante a uma vulgar betonagem. A execução desta técnica de reforço, ver Figura 4, é composta por diversas operações que vão desde a eliminação da madeira atacada (aconselhável executar cortes oblíquos ou com determinada irregularidade para melhorar a transmissão dos esforços de corte), execução de uma cofragem na zona/envolvente da viga a reforçar, até ao preenchimento dos orifícios, onde previamente são introduzidos os varões de reforço, com uma argamassa epoxídica mais fluida que a anterior (auto-compactável) que servirá para a ancoragem dos varões.

Há situações em que a furação não pode ser feita na face superior das vigas (ex: pavimentos). Nestas situações, deve-se pensar em consolidar o elementos usando as superfícies laterais e/ou a face inferior.



Figura 4 – Consolidação de madeira utilizando uniões entalhadas

1.2. Reforço com inclusão de novos elementos

Esta é uma das mais simples e funcionais soluções no que diz respeito ao aumento da capacidade resistente de elementos de madeira solicitados à flexão (Zwenger, 2000). Nem sempre é a solução mais prática e nem sempre é a solução que resolve convenientemente o problema.

No entanto, a sua execução é fácil podendo ser mais complicada em situações em que os elementos apresentem deformações excessivas ou quando a conjugação com os novos elementos possa ser complicada, existindo nestes casos a necessidade de se introduzir calços ou cunhas para garantir a regularidade desejada (Appleton, 2003). De uma forma geral, este tipo de solução pode resultar na justaposição de novos elementos a antigos elementos, ver Fig. 5.

Por outro lado a introdução de novos elementos intercalados com os antigos elementos, diminuindo o vão original e consequentemente o momento máximo instalado na secção de meio vão, ver Fig. 6.

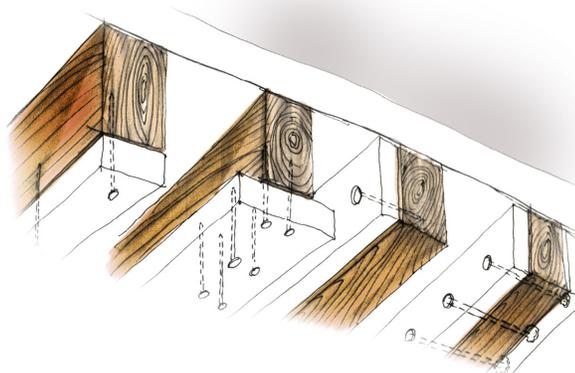


Figura 5 – Reforço de pavimentos através da junção de novos elementos por justaposição de novos elementos de madeira

Esta solução pode ser bastante interessante pois permite introduzir elementos com uma altura de secção inferior às vigas antigas, que podem ser ocultadas pela colocação de painéis de gesso cartonado (solução tecto falso) ou eventualmente painéis acústicos, caso as necessidades acústicas dos espaços assim o exijam (Arriaga *et al*, 2002; Bonamini *et al*, 2001).

No entanto, na prática as diferentes situações que podemos encontrar, e com necessidades de uma intervenção rápida, são imensas, sendo ambígua a tipificação proposta. Um exemplo é a situação de pavimentos contíguos biapoiados cujos comportamentos podem ser melhorados dando continuidade ao apoio comum. Esta continuidade pode ser garantida através de elementos de madeira, que unidos às vigas preexistentes, rigidificam o nó permitindo a continuidade de esforços, com uma consequente diminuição da flecha máxima. Este pode ser um tipo de reforço vital se tivermos em linha de conta a importância desta verificação em pavimentos de madeira (estados limite de utilização). Para uma correcta intervenção, e de forma a validar a solução também para os pesos próprios para além da sobrecarga de utilização, deve descarregar-se a estrutura sempre que possível.

A diminuição dos vãos efectivos, através da introdução de uma *mão-de-amigo* ou *braços* em madeira, é uma alternativa para solucionar as necessidades de pavimentos de madeira cujo comportamento estrutural esteja em dúvida, ver Fig. 7. Encurtando-se os vãos efectivos consegue-se uma distribuição de esforços que permite diminuir o momento máximo e a flecha instantânea (Giordano, 1999). O inconveniente desta solução é que as paredes de suporte devem ter capacidade de resistir aos impulsos laterais a que irão estar sujeitas, o que na prática é extremamente difícil de determinar.

A justaposição de novos elementos a antigos elementos é concretizada sobretudo através do aumento da secção dos elementos pela adição de elementos colados, pregados, cavilhados, etc. A insuficiente capacidade resistente ou a deformabilidade excessiva de determinado elemento podem ser resolvidas através do aumento da altura da secção. Isto pode conseguir-se colando uma nova secção à face superior da viga utilizando, por exemplo, uma argamassa epoxídica (facilidade de preenchimento das irregularidades da superfície do elemento). Diversas soluções podem ser pensadas em função das necessidades e inclusive podemos optar por secções em "T", ver Fig. 8.

Nestes casos, a união é realizada com o auxílio de conectores que garantem a transmissão de esforços nomeadamente os de corte (maior concentração de ligadores nas zonas junto aos apoios).

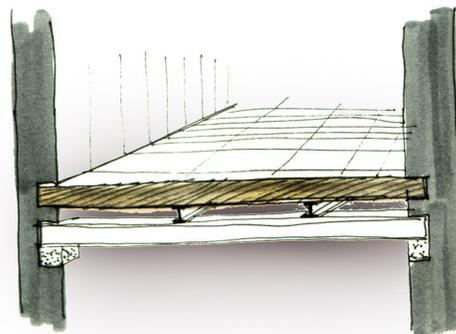


Figura 6 – Reforço de pavimentos através da junção de novos elementos por justaposição de novos elementos de aço

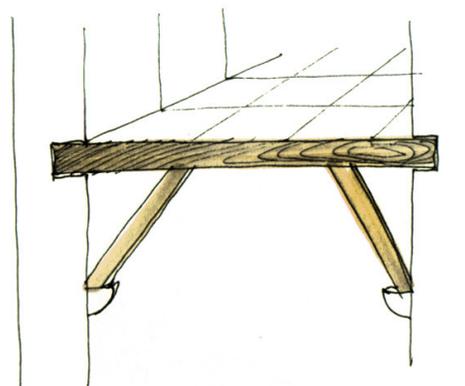


Figura 7 – Reforço de pavimentos através da introdução de mãos-de-amigo ou braços em madeira

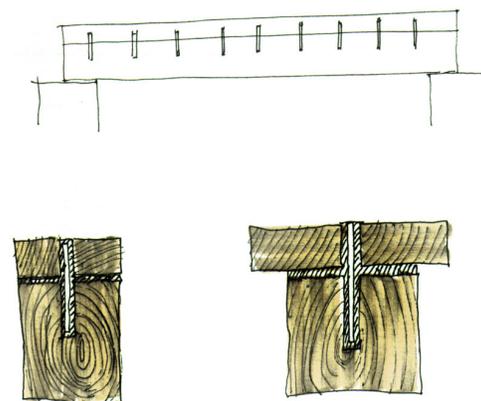


Figura 8 – Modificação da secção inicial aumentando a sua altura original ou adaptação para secção em "T"

1.3. Reforço com soluções mistas madeira-derivados de madeira

Esta solução é habitualmente utilizada no reforço de pavimentos de madeira recorrendo a placas de derivados de madeira. A sua capacidade resistente está directamente relacionada com a resistência do tipo de derivado de madeira utilizado: contraplacado, OSB, viroc, etc., que por sua vez depende da espessura utilizada (Uzielli, 1992).

Outro problema prende-se com a dificuldade em conseguir uma superfície regular adequada que permita unir correctamente as vigas com as placas de derivados. Este problema acentua-se em pavimentos cujas deformações sejam elevadas e assumam carácter permanente.

A grande vantagem deste tipo de reforço é a obtenção de soluções com pouco incremento de cargas permanentes, o que é importante na persecução de uma reabilitação sobretudo em pavimentos que uma vez mais apresentem elevadas deformações e cujas vigas de suporte apresentem secções resistentes bastante degradadas.

1.4. Reforço com recurso a chapas de reforço (aço) e argamassas epoxídicas

Uma das aplicações desta técnica é através da integração de chapas (aço) de reforço internas nos elementos de madeira. Defeitos locais de proporções anormais ou roturas localizadas de elementos de madeira podem ser solucionadas através do reforço com este tipo de técnica.

É uma solução prática, rápida e se utilizada em zonas de uniões pode aumentar significativamente a sua rigidez. As chapas são aplicadas a partir das faces superiores dos elementos, por razões estéticas, e se possível e necessário deverá utilizar-se duas chapas em virtude de uma chapa única (resistência ao corte através de corte duplo), ver Fig. 9. O comprimento e espessura das chapas, e conseqüentemente da zona de reforço, deverão ser tais que permitam a passagem/continuidade de esforços, nomeadamente os momentos flectores e o esforço de corte.

Este reforço deverá ser realizado em secções de madeira sã sem patologias aparentes, ainda que seja necessário um comprimento considerável. Se tal não for possível, deverá ponderar-se outro tipo de intervenção.

Uma variante desta solução passa pela integração das chapas em zonas onde foi retirada determinada secção de madeira atacada. Nestes casos, em que o comprimento não deve ser superior a 5 vezes a espessura das chapas, o inconveniente estético das chapas à vista, ainda que possam ser tapadas ou revestidas, coadjuvado com o facto de estas ficarem mais susceptíveis aos ataques dos agentes atmosféricos bem como aos incêndios, é uma desvantagem desta variante. Em ambas as situações podemos substituir as chapas metálicas por varões de aço.

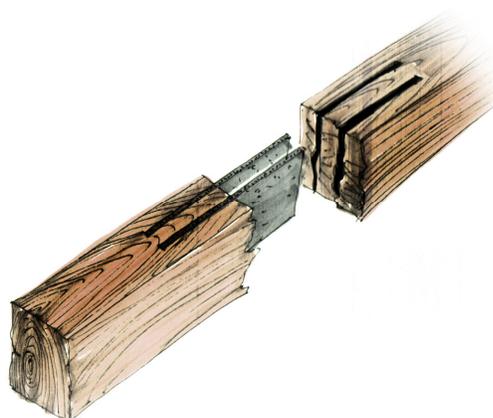


Figura 9 – Reforço com recurso a chapas de reforço (aço) e argamassas epoxídicas

1.5. Reforço com recurso a varões inclinados e argamassas epoxídicas

Na aplicação de madeiras maciças, sobretudo nas secções de grandes esquadrias, é inevitável o surgimento de fendas de secagem, nomeadamente na direcção radial, tendo em conta que o coeficiente de retracção tangencial é superior ao radial. Estas fendas que normalmente surgem no plano médio da secção têm o efeito de diminuir a capacidade resistente do próprio elemento, bem como de fragilizá-lo pela abertura de possíveis pontos de penetração de agentes bióticos, sendo o seu efeito real pouco conhecido e alvo de estudos.

Estes elementos podem ser reforçados através da introdução de varões metálicos inclinados ($\alpha = 20-30^\circ$), ver Fig. 10. A sua execução passa pela penetração da argamassa em profundidade, em todos os vazios e fendas do elemento, uniformizando e solidarizando toda a secção, verificando-se uma redução significativa da deformação dos elementos. A sua execução é difícil e onerosa e deverá equacionar-se se a diminuição efectiva da flecha final compensa o investimento envolvido na operação (Tampone *et al*, 2002).

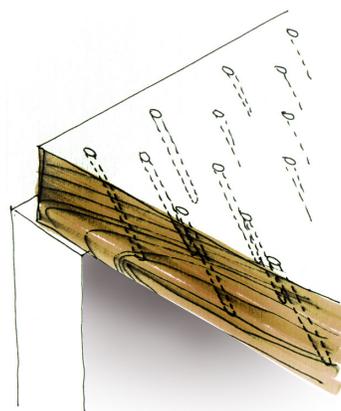


Figura 10 – Reforço com recurso a varões inclinados e argamassas epoxídicas

1.6. Reforço da face inferior através da introdução de fibras de carbono (elementos fortemente solicitados à flexão)

Esta solução, patenteada pela SIKA, S.A., com o nome de Carbodur [1], recorre a fibras de carbono embebidas numa matriz epoxídica. As fibras de carbono são uma solução com excepcionais capacidades mecânicas e são normalmente utilizadas como uma armadura de tracção. Desta forma, são executados uns rasgos na face inferior da viga onde são introduzidas as fibras de carbono e a argamassa epoxídica, ver Fig. 11. É uma solução que deve ser utilizada em estruturas de madeira fortemente solicitadas (pontes e passadiços) devido aos custos associados e às características dos materiais envolvidos.

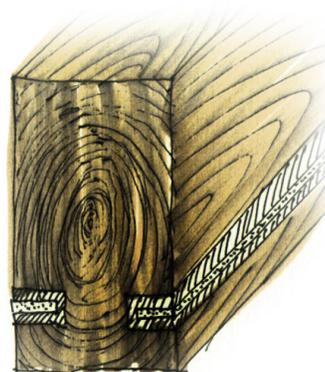


Figura 11 – Reforço com introdução de fibras de carbono na face inferior

2. Notas finais

Como notas finais verifica-se que são diversas as soluções possíveis para a consolidação ou reforço de elementos estruturais de madeira. A utilização de diferentes técnicas e perspectivas do uso das mesmas oferece elevada subjectividade à abordagem do processo de reabilitação e reforço. Por outro lado é possível verificar que efectivamente, dependendo do grau de eficácia pretendido, capacidade económica ou intrusividade da solução, conseguem-se distinguir e tipificar algumas soluções.

Referências Bibliográficas

- Feio, A. (2006). "Inspection and diagnosis of historical timber structures: NDT correlations and structural behaviour". Tese de Doutoramento, Universidade do Minho.
- Mettem, C., Page, A., Robinson, G. (1993). "Repair of Structural Timbers. Part 1: Test on Experimental Beam Repairs". TRADA, UK.
- Landa, E. (2000). "Nuevas Técnicas de Reparación de Estructuras de Madera. Elementos Flexionados. Aporte de Madera – Unión Encolada". AITIM, nº 204, Madrid, pág. 34-48.
- Zwerger, K. (2000). "Wood and wood joints: building traditions of Europe and Japan". Birkhäuser, Berlím: 280 pp.

- Appleton, J. (2003). “Reabilitação de Edifícios Antigos. Patologias e técnicas de intervenção”. Edições Orion: 455 pp.
- Arriaga, F., Peraza, F., Esteban, M., Bobadila, I., Garcia, F. (2002). “Intervención en estructuras de madera”. AITIM , Espanha: 512 pp.
- Bonamini, G., Noferi, M., Togni, M., Uzielli, L. (2001). “Il Manuale del Legno Strutturale – Vol.I-V”. Mancosu Editore, Roma.
- Giordano, G. (1999). “Timber structures engineering”. 5 th Edn. Hoepli, Milão.
- Uzielli, L. (1992). “Valutazione della capacità portante degli elementi strutturali lignei”. L’Edilizia, Vol. 12: pp. 753-762.
- Tampone, G., Mannuci, S., Machioni, N. (2002). “Strutture di Legno”. De Lettera editore, Milão.

Infografia

[1] <http://www.sika.pt>