

Reforço de Estruturas de Madeira por Recurso a Elementos de Betão Armado e Metálicos

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@lnecc.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 irão ser descritas algumas soluções para a consolidação e/ou reforço de elementos estruturais de madeira utilizando diferentes técnicas, em função dos materiais utilizados: betão armado e elementos metálicos. Irão ser analisadas a possibilidade de introduzir elementos em betão armado e elementos/perfis metálicos, no reforço de elementos solicitados principalmente em flexão. Serão também analisadas as possibilidades de reforço e/ou consolidação de pilares e coberturas.

Deste modo, serão descritas algumas soluções que permitirão aumentar a capacidade portante dos elementos ou do conjunto, sugerindo formas práticas de executar convenientemente algumas destas propostas.

Com o desenvolvimento tecnológico ao nível dos materiais e das técnicas de produção e execução, o processo de reabilitação e recuperação dos pavimentos de madeira ganhou novo fôlego com a introdução de perfis metálicos e elementos de betão armado.

ABSTRACT

The present work will describe some solutions for the consolidation and/or reinforcement of structural timber elements using different techniques taking into account the reinforcement materials used: concrete and steel. Will be also analyzed the possibility of introducing reinforced concrete and steel elements in the retrofitting of in bending wooden structures or elements. Finally, the possibilities of strengthening and/or consolidation of wooden columns and wooden roofs will be studied.

Some solutions that increase the load bearing capacity of elements or structures will be described, and some practical issues will be presented. With the most recent technological development in materials and production techniques, the global process of rehabilitation and restoration of wooden floors gave new opportunities to the introduction of steel and reinforced concrete elements as a true solution.

1. Introdução

No presente trabalho irão ser analisadas as diferentes possibilidades de introduzir elementos em betão armado e elementos/perfis metálicos, no reforço de elementos solicitados principalmente em flexão. Como tal, serão descritas algumas soluções que permitirão aumentar a capacidade portante dos elementos ou do conjunto, sugerindo formas práticas de executar convenientemente algumas destas propostas.

Em termos de tipologias de madeira solicitadas em flexão os pavimentos são os mais representativos. A estrutura dos pavimentos de madeira é bastante simples, dado que os vigamentos principais são colocados paralelamente, com um afastamento que varia, em função de vários factores (vãos, afastamento entre as vigas, das cargas consideradas e da espécie utilizada), entre os 0,20 – 0,40 m. Uma regra, seguida nos pavimentos de edifícios antigos e de qualidade melhorada, indica a adopção de afastamentos entre vigas iguais à largura das próprias vigas (em francês “...*tant plein que vide...*”), correspondendo a vigas com cerca de 0,15 m de largura e distância entre eixos de cerca de 0,30 m (Appleton, 2003).

Se esta regra era frequentemente utilizada na melhor construção urbana, já na construção menos exigente e nos edifícios construídos nos meios rurais, a utilização de elementos redondos ou rolados sobreponha-se à utilização de secções rectangulares. Estes elementos, normalmente de pinho nacional (*pinus pinaster* Ait.) ou de eucalipto, eram obtidos de espécimes apenas descascados, sem qualquer transformação ou maquinaria. Devido à predominância florestal de secções com alturas iguais ou inferiores a 0,20 m, os vãos máximos que estes pavimentos podem vencer são de cerca de 4 m.

Com o desenvolvimento tecnológico ao nível dos materiais e das técnicas de produção e execução, o processo de reabilitação e recuperação dos pavimentos de madeira ganhou novo fôlego com a introdução de perfis metálicos e elementos de betão armado.

1.1. Reforço com recurso a elementos de betão armado

A utilização de betão na consolidação ou reforço de pavimentos de madeira só deve ser equacionada em situações de estrita solidarização com a madeira. O impacto arquitectónico e visual deste tipo de solução deve ser equacionado e ponderado em consonância com a importância patrimonial e histórica do imóvel a intervir.

A primeira tendência na utilização desta solução foi a colocação de uma lajeta armada de betão sobre um pavimento preexistente (esp. \approx 6-15 cm), ver Fig. 1. O pavimento existente servia como cofragem, ainda que na maioria das vezes bastante danificado ou com deformações excessivas, sendo necessário escora-lo durante o processo de betonagem. A amarração entre o pavimento antigo e o “novo” pavimento é realizada através de ligadores metálicos que se colocam na face superior das vigas principais, espaçados de forma regular e ligeiramente elevados do plano das vigas 4-6 cm permitindo a ligação perfeita entre as duas estruturas (Cruz *et al*, 2000; Dias *et al*, 2003).

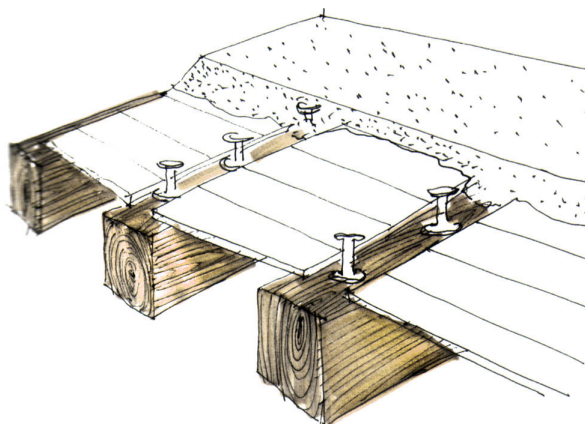


Figura 1 – Reforço com recurso a elementos de betão armado: utilização de lajeta armada de betão sobre pavimento preexistente

Caso não exista a possibilidade do pavimento existente servir como cofragem, e para que possa

betonar-se a lajeta, pode utilizar-se placas de derivados de madeira (contraplacados ou OSB), ver Fig. 2.

Esta solução, que pode ser entendida como uma verdadeira solução mista madeira-betão, funciona de forma a otimizar as características dos materiais intervenientes: o betão funciona à compressão e a madeira funciona predominantemente à tracção. O resultado final é o incremento da capacidade de carga, chegando a duplicá-la, dos pavimentos existentes, podendo também ser uma solução para novos pavimentos. Por sua vez, a rigidez à flexão pode, em teoria, quadruplicar. O isolamento acústico e térmico aumenta, devido ao aumento da massa da solução, bem como os problemas com as vibrações são controlados.

Um dos principais problemas desta solução é que o acréscimo de peso próprio pode destabilizar a segurança do pavimento levando-o a ruir ou a deformar-se excessivamente, *i.e.*, esta solução deve ser utilizada sempre que se verifiquem as condições necessárias de resistência da estrutura existente, ver Fig. 3. Na tentativa de solucionar este problema, pode recorrer-se a betões de agregados leves ou à introdução de tijolos vazados.

A irregularidade que por vezes a superfície do pavimento apresenta (flechas variáveis ao longo do seu comprimento) é outro dos problemas bem como deve dar-se especial atenção a zona das entregas da laje nas paredes laterais: deve abrir-se um roço e entregar-se a laje nas paredes num comprimento suficiente, com armadura calculada e especificamente desenhada para o efeito.

Por fim, outro dos inconvenientes é o aumento da altura do pavimento (cota final) nas zonas onde esta solução seja levada a cabo obrigando a corrigir, sobretudo, as restantes carpintarias: portas, armários rodapés, etc. (Arriaga *et al*, 2002).

Uma variante desta solução passa pela utilização de apoios pontuais com a necessidade de eventual reforço das paredes através da introdução de pilares metálicos ou de betão armado embutidos nas paredes. Paralelamente pode existir a necessidade de introduzir vigas de betão armado substituindo as de madeira nas suas funções estruturais, ficando estas à vista por motivos meramente estéticos, ver Fig. 4. Esta solução de substituição dos elementos preexistentes de madeira introduz algum impacto visual que pode ser diminuído através do revestimento ou acabamento final da secção com madeira ou derivados.

Para que algumas destas soluções sejam possíveis é essencial uma correcta adesão entre os elementos de madeira e o betão armado. Deste modo, **os ligadores** assumem um papel crucial. Existem já bastantes trabalhos sobre este tema, e de uma forma geral todos propõem uma classificação dos ligadores segundo a sua rigidez:

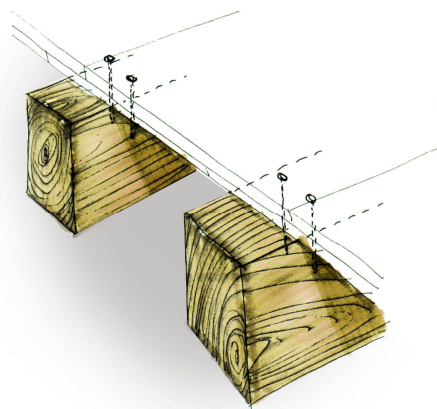


Figura 2 – Reforço com recurso a elementos de betão armado: utilização de derivados de madeira que servirão de cofragem à lajeta de betão armado

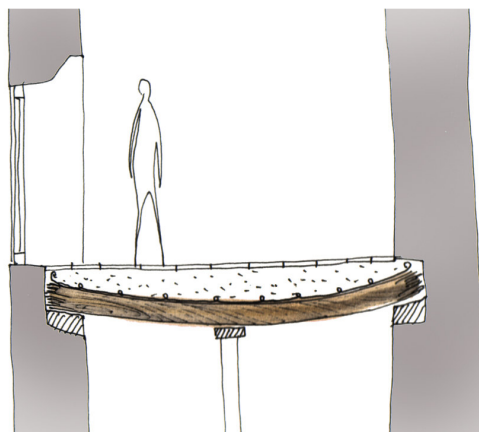


Figura 3 – Reforço do pavimento com aumento excessivo de peso próprio

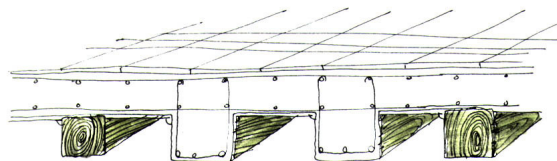


Figura 4 – Introdução de vigas de betão armado no reforço de pavimentos de madeira

- **cavilhas** – podem ser simples parafusos ou barras de aço (dobradas ou não) que se colocam na direcção perpendicular ao plano de contacto entre a madeira e o betão, resistindo ao corte. A resistência e a rigidez da ligação deverá ser determinada experimentalmente ou mediante uma análise não linear.

Quando dobradas, estas devem estar orientadas para os apoios e a interface será colada com o auxílio de uma cola epoxídica ou com uma argamassa à base de cimento pouco retráctil;

- **ligadores de superfície** – podem ser utilizados os ligadores em anel ou chapas dentadas, bem como tubos metálicos. Desta forma, a união entre os dois materiais confere maior rigidez à ligação que a solução anterior. Como a capacidade de cada ligador de resistir ao esforço solicitante aumenta, estes podem ser colocados com maior afastamento (30-50 cm).

Neste tipo de ligadores destacam-se os sistemas HSB (*Habitat System Beton*) e o sistema desenvolvido pela empresa italiana Tecnarìa;

- **utilização de negativos nos elementos** – nesta solução o betão adere à madeira através de negativos ou pequenas ranhuras transversais realizadas na superfície dos elementos de madeira. Estes negativos/ranhuras podem ser cilíndricos ou rectangulares e a ligação é normalmente reforçada através da introdução de parafusos ou cavilhas.

- **ligações coladas** – para garantir uma perfeita colagem entre a madeira e o betão será necessário utilizar colas epoxídicas que permitirão que as placas de aço ou perfis metálicos (sistema LPR, Peter Cox, etc.), introduzidos nas vigas em ranhuras longitudinais, se solidarizem com o conjunto.

1.2. Reforço com recurso a perfis metálicos

A utilização de aço no reforço ou consolidação de elementos de madeira submetidos à flexão pode ser avaliada em função do seu impacto na estrutura. Este tipo de intervenção pode ir desde a intervenção pontual em elementos através de chapas ou pequenos troços de perfis metálicos (unidos através de parafusos, varões roscados, cavilhas ou pernos) até à substituição integral de elementos de madeira por perfis metálicos (perfis IPE, perfis em *U*, *H*, etc.), ver Fig. 5.

Algumas soluções/sistemas comerciais preconizam o preenchimento do interior do perfil, quando a posição deste em relação ao elemento de madeira seja tal que crie uma espécie de “vazio”, com uma argamassa de cimento de elevada resistência: Sistema Herms, Sistema Bettor, etc.

Outra possibilidade de integração de perfis metálicos no reforço de estruturas de madeira passa pela colocação de tirantes de aço na parte inferior dos elementos de madeira, aumentando a inércia dos elementos: o tirante funciona à tracção, enquanto a viga funciona sobretudo à compressão, ver Fig. 6. É uma solução de difícil execução, nomeadamente devido à ancoragem do tirante aos extremos da viga, que pode levar à necessidade de desmonte do elemento. O apoio dos elementos nas paredes laterais pode ser realizado através de ancoragens mecânicas ou químicas, dependendo das características do suporte.

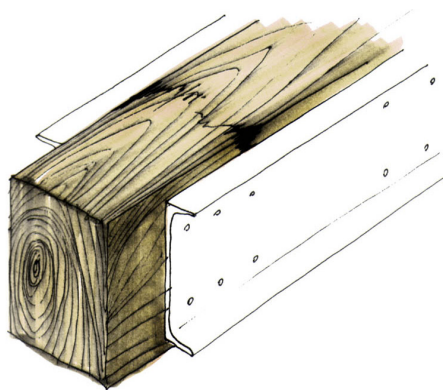


Figura 5 – Reforço com recurso a perfis metálicos

A maioria das soluções preconiza a aplicação dos elementos metálicos à vista que a par dos inconvenientes estéticos, limita a sua estabilidade ao fogo.

1.3. Reforço de pilares

É frequente encontrarem-se situações em que as lajes térreas apresentem níveis de teor em água excessivos. A este nível muitos dos pilares de madeira apresentam forte degradação e deterioração por podridão, e normalmente substitui-se a parte degradada por perfis metálicos, normalmente perfis em U soldados para formar uma secção rectangular tubular. A verdade é que muitas vezes é mais económico a substituição completa do elemento que o seu reforço ao nível da base.

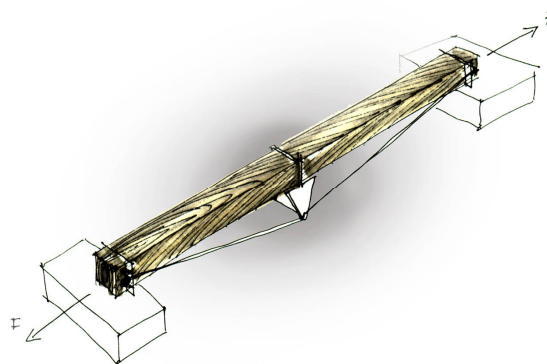


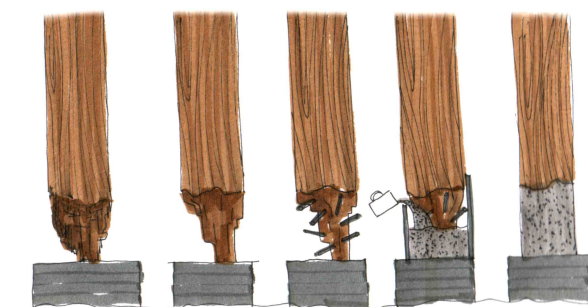
Figura 6 – Reforço com recurso a tirantes de aço

1.3.1. Reforço com próteses de betão armado ou argamassa epoxídica

Esta técnica de intervenção passa pelo enchimento, mediante uma argamassa de betão ou epoxídica, da zona do pilar apodrecido. Esta técnica só se utiliza em pilares embutidos em paredes de alvenaria onde o enchimento é confinado pela parede por um lado e por outro por uma cofragem de madeira. Deve descarregar-se todo o elemento a intervir através do auxílio de escoras metálicas que mais tarde retiradas permitem a entrada em carga do pilar intervencionado. É necessário criar alguns entalhes no elemento e introduzir elementos metálicos (varões, cavilhas, etc.) para facilitar a aderência entre os materiais, ver Fig. 7.

Este tipo de consolidação na prática não apresenta grandes alterações estruturais. Em termos de execução devem-se cumprir obrigatoriamente alguns passos que vão desde a eliminação completa de toda a zona degradada, introdução de barras de conexão entre a madeira e a argamassa (a furação deverá ser oblíqua de forma a facilitar o preenchimento do furo com a argamassa) e pró fim a execução de uma cofragem que permitirá introduzir a argamassa com o molde desejado.

Quando a degradação é de tal forma extensa, provocando a eliminação de uma parte do elemento, deverá proceder-se ao corte do elemento até atingir-se uma zona de madeira sã, seguido da introdução dos varões de reforço do elemento. A melhor solução é aquela que do ponto de vista estético e do ponto de vista de protecção dos varões de reforço, em termos de variações higrotérmicas, melhor resultar. De preferência estes reforços deverão ficar introduzidos no interior do elemento, no entanto quando tal não for possível obviamente terá de efectuar-se o reforço pelo exterior com os consequentes



(a)



(b)

Figura 7 – (a) e (b) reforço de pilares com betão ou argamassas epoxídicas

riscos de exposição ao fogo e corrosão (colocação de barras inclinadas para diminuir este problema). Por fim procede-se à reconstrução do troço com a argamassa. Se o troço a reconstruir for grande, por motivos económicos, deveremos empalmar um pedaço de madeira nova introduzindo argamassa (epoxídica) nas juntas entre os materiais.

1.4. Reforço de coberturas

1.4.1. Reforço das entregas nas paredes de suporte – apoio da perna

Esta situação é bastante parecida com a zona da entrega de uma viga de um pavimento numa parede de suporte, com a grande vantagem de que a sua execução é normalmente mais simplificada pela inexistência de um nível superior, sendo normalmente executada uma viga de bordadura que equilibrará a resultante de forças provocadas pelos impulsos gerados pela nova solução. A consolidação destas zonas é habitualmente realizada com o recurso a argamassas epoxídicas e varões de aço, ver Fig. 8.

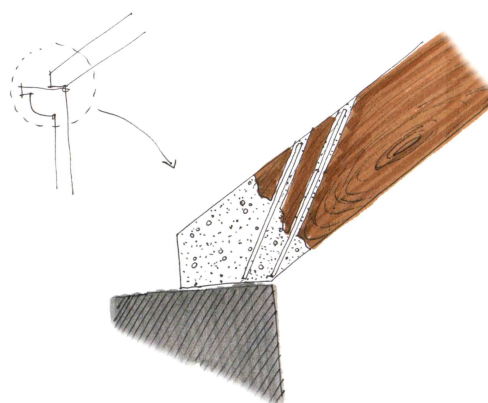


Figura 8 – Reforço de apoio em parede resistente com recurso a argamassas epoxídicas e varões de aço

1.4.2. Reforço da união perna-linha

Se estivermos perante uma situação em que a linha descarrega directamente sobre a parede de apoio, num negativo existente, estamos perante uma solução similar às entregas das vigas dos pavimentos. Neste caso poderemos optar pela consolidação com argamassas epoxídicas, o modus operandi utilizado para reforçar pilares de madeira poderá ser seguido de forma similar, seja para reforços pontuais (presença pontual de humidade por infiltração ou condensação), seja para reforço de zonas mais extensas (troços completos).

Existem situações, menos vulgares, em que utilizam chapas de aço que reforçam estas zonas. Estas chapas, na maioria das vezes semelhantes a esquadros, são introduzidas nos elementos que necessitam desde logo ter secções suficientes para poderem ser trabalhadas de forma a receber as chapas sem que a secção fique irremediavelmente fragilizada. Para tal é necessário abrir umas ranhuras nos elementos e introduzir as chapas que serão unidas à madeira mediante argamassas epoxídicas ou varões roscados em aço, ver Fig. 9.

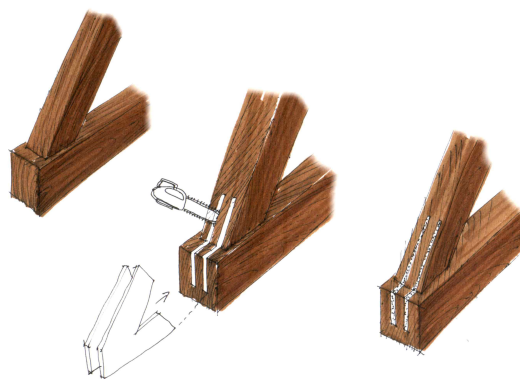


Figura 9 – Reforço da união perna-linha através da introdução de esquadros/placas de aço

Uma das formas de consolidar as ligações dos elementos de uma cobertura passa pela injeção sob pressão de resinas de pouca viscosidade: as fendas que se formam com o tempo nas zonas próximas das ligações pregadas, aparafusadas ou cavilhadas tendem a aumentar com o tempo, ver Fig. 10. Na prática a consolidação/reparação destes elementos passa por alguns passos importantes. Em primeiro lugar é essencial verificar se existem elevadas deformações na estrutura, pode ser necessário “levantar” a estrutura até à sua posição original, através de macacos hidráulicos, dentro dos limites de tolerância aceitáveis sem que exista inversão de esforços que danifiquem severamente a estrutura. De seguida deve-se analisar a necessidade de introduzir empalmes ou elementos de madeira que reforcem os elementos

degradados. Normalmente o empalme é feito em ambos os lados do elemento e as interfaces são pregadas e coladas com colas epoxídicas. Por fim, deve proceder-se à selagem das fendas com recurso a uma argamassa epoxídica de elevada viscosidade. Posto isto é recomendável aplicar-se uma pintura epoxi em toda a superfície que irá ser reparada de forma a tapar pequenas fendas e orifícios invisíveis a olho nu.

Uma conclusão importante é a de que nestes trabalhos, e no caso de coberturas cujas ligações não apresentem podridões avançadas, a consolidação permite alcançar níveis de resistência aproximadamente iguais aos originais. Esta ineficácia está directamente associada à incapacidade de detectar as zonas atacadas com elevada precisão (esporolação como forma de reprodução), incapacidade de erradicar convenientemente e totalmente as podridões existentes, existindo a necessidade de consolidar todas as ligações ainda que aparentemente pareça desnecessário.

Outra conclusão importante é que o preenchimento das fendas com a argamassa epoxídica possibilita a colagem dos nós onde é aplicada. Desta forma, ligações que foram concebidas como articuladas sem capacidade de transmitir momentos flectores, na verdade passam a fazê-lo. Esta mudança em termos estruturais conduz a um aumento das tensões nas secções próximas do nó consolidado, que a bibliografia estima nuns 15-25%. É importante validar a influência deste fenómeno de rigidificação no comportamento do nó e no comportamento global da estrutura.

1.5. Reforço das linhas das asnas

Normalmente as linhas com comprimentos superiores a 8-10 m são executadas com 2 peças de madeira, empalmadas através técnicas tradicionais de união madeira-madeira, ver Fig. 11. A capacidade de transmissão de esforços destes empalmes é reduzida é frequente encontrar roturas por corte nos dentes de transmissão ou nas abraçadeiras metálicas de reforço habitualmente utilizadas neste tipo de ligações. Uma forma de solucionar estes problemas passa pela introdução de ligadores cavilhados embebidos em resinas epoxídicas, funcionando como um elemento de fixação do tipo mecânico resistindo ao corte simples, incrementando a resistência da ligação em $\approx 20\%$ por se encontrar colado (EC5, 1998). Outra forma de fixar estes ligadores passaria pela utilização de porcas e anilhas (união roscada).

Outra forma de reforçar as linhas passa pela aplicação de linhas metálicas, materializadas através de cabos de aço, que funcionam como tirantes ancorados aos extremos/topos das linhas através de peças de aço.

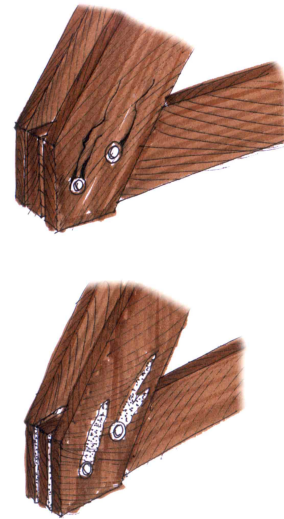


Figura 10 – Reforço com resinas das zonas próximas das ligações pregadas, aparafusadas ou cavilhadas

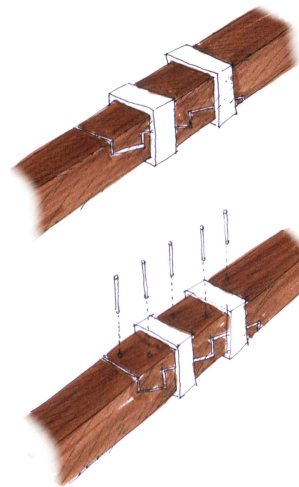


Figura 11 – Reforço das linhas de asnas, com recurso a cavilhas coladas com argamassas epoxídicas

1.6. Reforço geral de asnas

Dependendo das patologias existem diversas técnicas e formas de consolidar ou reforçar asnas de madeira. Um dos principais fenómenos é a existência de secções mal dimensionadas ou com secção residual resistente insuficiente para resistir aos esforços actuantes. Nestes casos o reforço pode consistir na justaposição ou adição de elementos de madeira em ambos os lados das peças originais. Uma vez mais a ligação poderá ser garantida por ligadores metálicos (cavilhas, pregos, para fusos, etc.) ou por ligadores metálicos embebidos em formulações epoxídicas (Giordano, 1999).

Uma outra solução de reforço de asnas por insuficiência das secções existentes passa pela introdução de tirantes metálicos em aço nas pernas da asna. Este sistema permite a introdução de pós-esforço nos elementos reduzindo-se as tensões de flexão devido ao aumento dos esforços axiais de compressão.

2. Notas finais

Como notas finais verifica-se que é vasto o leque de soluções possíveis para a consolidação ou reforço de elementos estruturais de madeira, nomeadamente através da introdução de elementos de betão armado e metálicos. 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

- Appleton, J. (2003). "Reabilitação de Edifícios Antigos. Patologias e técnicas de intervenção". Edições Orion: 455 pp.
- Cruz, H., Geraldês, A., Lopes, S. (2000). "Estruturas mistas madeira-betão como reabilitação de pavimentos de madeira. Importância da ligação entre os dois materiais". REPAR2000 – Encontro Nacional sobre Conservação e Reabilitação de Estruturas, Lisboa, LNEC.
- Dias, A., Jorge, L., Cruz, H., Lopes, S. (2003). "Lajes mistas madeira-betão". 3º ENCORE – Encontro sobre Conservação e Reabilitação de Edifícios, Lisboa, LNEC.
- Arriaga, F., Peraza, F., Esteban, M., Bobadila, I., Garcia, F. (2002). "Intervención en estructuras de madera". AITIM, Espanha: 512 pp.
- Eurocódigo 5. (1998). "EC5 – Projecto de Estruturas de Madeira. Parte 1.1: Regras gerais e regras para edifícios (NP ENV 1995-1-1:1998)".
- Giordano, G. (1999). "Timber structures engineering". 5 th Edn. Hoepli, Milão.