



## REPARAÇÃO E REFORÇO DE ESTRUTURAS DE MADEIRA POR MEIO DE COLAGEM EM SERVIÇO

João Custódio <sup>1</sup> e Helena Cruz <sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> LNEC, Avenida do Brasil, 101, 1700-066 Lisboa. [jcustodio@lneec.pt](mailto:jcustodio@lneec.pt)

**Palavras-chave:** Conservação e reabilitação do património edificado; Estruturas de madeira; Sistemas compósitos de reparação e reforço; Desempenho e durabilidade de colas estruturais e de ligações coladas.

**Sumário:** A reparação e o reforço de estruturas de madeira realizada *in situ* através de sistemas, que utilizam colas estruturais e elementos de ligação ou reforço em aço ou em materiais compósitos, constitui uma solução estruturalmente eficiente e economicamente competitiva quando comparada com as técnicas convencionais. Contudo, apesar de estas técnicas já terem alguma expressão na Europa, são ainda pouco conhecidas a nível nacional, constituindo uma área emergente com significativo potencial de expansão em Portugal. Nesse sentido, têm sido desenvolvidos estudos no LNEC para aprofundar o conhecimento acerca desta tecnologia, por forma a ultrapassar as limitações que esta ainda apresenta e potenciar a sua utilização e disseminação no meio técnico.

### 1. IMPORTÂNCIA DO TEMA E CONTEXTO DA INVESTIGAÇÃO

A conservação e reabilitação do património edificado têm uma importância cada vez maior ao nível social e económico. Esta situação deve-se não só ao valor histórico do património, onde a madeira desempenha um papel estrutural fundamental mas, também, à necessidade de usar e preservar eficientemente os recursos existentes. Por esse motivo, é essencial utilizar técnicas que sejam pouco intrusivas, eficientes, económicas e duráveis, como é o caso das técnicas de reparação e reforço de estruturas de madeira por meio de colagem em serviço [1, 2]. São exemplos destas intervenções: a reparação de fendas com injeção de colas ou colmatação com madeira colada; a reparação de apoios deteriorados através da reconstituição ou substituição localizada de parte do elemento estrutural por próteses, de argamassa polimérica ou de madeira, ligadas à madeira sã remanescente por meio de varões ou chapas, metálicas ou de materiais compósitos de matriz polimérica reforçada com fibras sintéticas - PRF, fixados com colas estruturais; o reforço de elementos estruturais ou de ligações tradicionais por colagem, interna ou externa, de chapas ou varões de aço ou de perfis pultrudidos de PRF; a reparação e o reforço de elementos estruturais apresentando fendas profundas ou repassadas ou delaminação significativa (no caso de madeira lamelada colada), para aumentar a resistência perpendicular às fibras, através da colagem de varões metálicos ou de PRF [3, 4].

As técnicas utilizadas tradicionalmente envolvem, na maior parte dos casos, a substituição integral do elemento de madeira deteriorado ou a reforçar, por elementos semelhantes, ao invés de se proceder à sua conservação ou reabilitação localizada, mesmo nas situações em que tal seria preferível devido ao carácter histórico da estrutura. As técnicas envolvendo ligações coladas possuem várias vantagens face às convencionais, por exemplo: são pouco intrusivas, limitando ao mínimo o material substituído e a perturbação da estrutura e dos seus ocupantes; proporcionam ligações de grande resistência e rigidez, existindo no mercado colas à base de resinas sintéticas, com grande resistência mecânica e durabilidade e aptidão para uma grande diversidade de aplicações, em fábrica e em obra; e as intervenções são em geral mais simples, versáteis e rápidas.

Contudo, apesar dos grandes desenvolvimentos que esta tecnologia tem conhecido nos últimos anos, a preocupação com a durabilidade das ligações coladas e com a sensibilidade das colas à temperatura têm limitado a utilização destas técnicas em muitas situações, sendo fundamental identificar as formulações mais adequadas, avaliar, compreender e melhorar o seu comportamento a curto e longo prazo.

## 2. ESTUDOS REALIZADOS

Nesse sentido, o LNEC/NEM desenvolveu vários estudos acerca do desempenho e durabilidade de colas e de ligações coladas; os quais permitiram: (A) Identificar os principais fatores que influenciam a adesão à madeira [1, 5]; (B) Determinar as condições de serviço típicas para estes sistemas através da monitorização de diversas estruturas em Portugal e no Reino Unido [1, 6]; (C) Prever as temperaturas de serviço a que as ligações coladas no interior da madeira ficariam expostas em resposta a solicitações térmicas exteriores [1]; (D) Perceber quais os efeitos do método de preparação, da espécie de madeira, das condições de cura e das condições de serviço no desempenho e durabilidade da cola e da ligação colada [1, 7]; (E) Provar que é possível aumentar a durabilidade de uma ligação colada através da modificação físico-química da superfície da madeira [1, 8-10]; (F) Provar que é possível diminuir a sensibilidade das colas epoxídicas à temperatura mediante regimes de cura e pós-cura específicos [1, 7]; (G) Desenvolver um método de ensaio realístico que permite avaliar o desempenho e a durabilidade de sistemas de reparação ou reforço por meio de varões colados e selecionar as colas estruturais a utilizar neste tipo de sistemas [1, 11]; (H) Desenvolver técnicas para aplicação *in situ* de pós-cura às linhas de cola para melhorar a sua resistência e rigidez a temperaturas moderadamente elevadas [12].

## 3. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Os principais desenvolvimentos futuros nesta área prendem-se com a necessidade de estabelecer critérios de seleção e conformidade e de criar ensaios harmonizados de desempenho e durabilidade para os produtos e sistemas de colagem. É, também, necessário desenvolver métodos não destrutivos para avaliar a qualidade das colagens produzidas, quer inicial quer durante a vida útil da estrutura.

## 4. REFERÊNCIAS

- [1] Custódio, J. – *Performance and durability of composite repair and reinforcement systems for timber structures*. Oxford Brookes University, PhD Dissertation, 2009.
- [2] Broughton, J. G. & Custódio, J. – *Understanding timber structural connection systems*. In ICE Manual of Construction Materials, vol. 2, Forde, M. C. (Ed.). Thomas Telford Ltd: London, 2009.
- [3] Cruz, H. & Custódio, J. – *Adhesives for On-Site Rehabilitation of Timber Structures*. In Wood Adhesives, Pizzi, A. & Mittal, K. L. (Eds.). Koninklijke Brill NV: Leiden, NL, 2010.
- [4] Machado, J. S., Cruz, H., Custódio, J., Palma, P. & Dias, A. – *Avaliação, Conservação e Reforço de Estruturas de Madeira*. Machado, J. S. (Ed.). Verlag Dashöfer: Lisboa, 2009.
- [5] Custódio, J., Broughton, J. & Cruz, H. - *A review of factors influencing the durability of structural bonded timber joints*. International Journal of Adhesion and Adhesives. 29 (2009) 173-185.
- [6] Custódio, J., Cruz, H. & Palma, P. – *Influence of environmental service conditions in Portugal on structural timber bonded connections*. In 1º Congresso Ibero-Latino-Americano da Madeira na Construção - CIMAD2011. Coimbra, Portugal. 2011.
- [7] Custódio, J., Broughton, J. & Cruz, H. – *Rehabilitation of timber structures. Preparation and environmental service condition effects on the bulk performance of epoxy adhesives*. Construction and Building Materials. 25 (2011) 3570-3582.
- [8] Custódio, J., Broughton, J., Cruz, H. & Winfield, P. – *Activation of timber surfaces by flame and corona treatments to improve adhesion*. International Journal of Adhesion and Adhesives. 29, (2009) 167-172.
- [9] Custódio, J., Broughton, J. & Cruz, H. – *Evaluation of Adhesion Promotion Techniques for Structural Bonded Timber Joints*. The Journal of Adhesion. 87, (2011) 331-35.
- [10] Custódio, J., Broughton, J., Cruz, H. & Hutchinson, A. – *A review of adhesion promotion techniques for solid timber substrates*. The Journal of Adhesion. 84 (2008) 502-529.
- [11] Custódio, J., Broughton, J. & Cruz, H. – *Rehabilitation of timber structures. Novel test method to assess the performance and durability of bonded-in rod connections*. Materials and Structures. 45 (2012) 199-221.
- [12] Almeida, M. – *Optimização de Técnicas de Colagem Usadas em Reforços Estruturais*. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa (ISEL), Dissertação de mestrado, 2010.