



QUATORZE ANOS DE USO DAS PONTES DE MADEIRA DO CAMPUS II DA EESC/USP: INSPEÇÕES PERIÓDICAS NDT

FOURTEEN YEARS OF USE OF THE TIMBER BRIDGES OF THE CAMPUS II EESC/USP: PERIODIC INSPECTIONS NDT

Dussarrat Brito, Leandro⁽¹⁾; Pigozzo, Julio César⁽²⁾; Calil Junior, Carlito^{(3)*}

⁽¹⁾DSc. Pesquisador Pós-Doutorado. Departamento de Engenharia de Estruturas. Laboratório de Madeiras e de Estruturas de Madeira. Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Carlos, Brasil.

⁽²⁾DSc. Professor Titular. Departamento Engenharia Civil. Universidade Estadual de Maringá. Maringá, Brasil.

^{(3)*}PhD. Professor Titular. Departamento de Engenharia de Estruturas. Laboratório de Madeiras e de Estruturas de Madeira. Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Carlos, Brasil.

*Contacto: calil@sc.usp.br

CÓDIGO: 4608711

Resumo

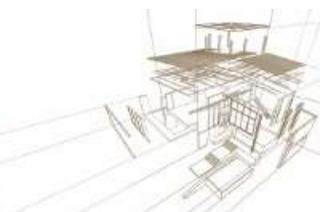
Usualmente, se espera um bom desempenho nas estruturas de pontes de madeira. Os fatores chaves para isto são o desempenho e a durabilidade da madeira que devem ser garantidos desde as etapas de elaboração do projeto, planejamento, execução da obra e principalmente na realização contínua com monitoramento e avaliações com inspeções não destrutivas, aliadas quando necessário com manutenções preventivas durante a vida útil prevista para a estrutura. Neste contexto, este artigo descreve uma avaliação de resultados de trabalhos realizados em quatorze anos de uso e monitoramento em inspeções periódicas preventivas com avaliações NDT nas emblemáticas estruturas de madeira das pontes do projeto temático no Campus II na Escola de Engenharia de São Carlos, na Universidade de São Paulo, Brasil. No decorrer destes anos, para garantir um desempenho adequado na utilização destas pontes, estas estruturas passam por monitoramento contínuo com pesquisas científicas em avaliações NDT, com inspeções visuais periódicas preventivas, com provas de carga e correlações em análises numéricas computacionais. Diante do bom desempenho no comportamento estrutural, na ausência de necessidade de manutenção rigorosa nestas estruturas, o resultado destes trabalhos realizados periodicamente, demonstra a importância de realização de monitoramento com inspeções NDT para a garantia adequada de desempenho na utilização de estruturas construídas com este nobre material renovável “madeira”.

Palavras-chave: inspeções; pontes; estruturas; madeira.

Abstract

Usually, good performance is expected in the timber bridges structures. The key element to this is the durability of the wood, which must be guaranteed from the design stages, the execution of the work and, mainly, the continuous evaluation and monitoring with non-destructive periodic inspections, allied when necessary, with preventive maintenance during the life useful for the structure. Within this context, this paper describes the assessment of the results of fourteen years of use and monitoring of preventive periodic inspections with NDT evaluations in the timber structural bridges of the Campus II at the São Carlos School of Engineering, University of São Carlos, Brazil. During these years, to ensure adequate performance in the use of these bridges, these structures underwent continuous monitoring in NDT evaluations with periodic visual inspections, with load tests and numerical computational analyzes. In view of the good performance in structural behavior, in the absence of severe pathological manifestations, and considering the absence of severe maintenance in these structures, the results of these works performed periodically, evidenced the importance of conducting NDT inspections to guarantee adequate performance in the use of structures constructed with this noble renewable material "wood".

Keywords: inspections; timber; bridges; structures.



1. INTRODUÇÃO

Espera-se sempre um bom desempenho na vida útil dos elementos estruturais de uma ponte. O elemento chave para esta previsão é a durabilidade, definida como a capacidade de um produto manter seu desempenho acima de valores mínimos preestabelecidos, em consonância com os usuários, nas condições previstas de uso (Calil Junior et al, 2006). Na ausência de avaliações em inspeções periódicas, aliada a reparos e/ou manutenções preventivas, determinados agentes ambientais podem reduzir a durabilidade e/ou performance da madeira ao longo do tempo. Entende-se por inspeções periódicas as vistorias contínuas e sistêmicas, realizadas para a avaliação de sinais visuais que possam induzir a manifestações patológicas em elementos estruturais e/ou construtivos de madeira de uma ponte, tais como: manchas e descolorações; áreas úmidas; condensações; infiltrações; dentre outros. Enquanto que as manutenções preventivas e os reparos têm por finalidade remover sujeiras para evitar formação de acúmulos de umidade; limpar e desobstruir limpar drenos e coletores de águas pluviais; reparar os acabamentos protetores em tempo adequado. Assim, para prevenir manifestações patológicas severas, as quatro pontes do Campus II da Escola de Engenharia de São Carlos (EESC), da Universidade de São Paulo (USP), passam periodicamente por inspeções e avaliações não destrutivas (NDT) realizadas por pesquisadores do Laboratório de Madeiras e de Estruturas de Madeira (LaMEM), desde que as mesmas foram liberadas para o tráfego de veículos.

2. METODOLOGIA

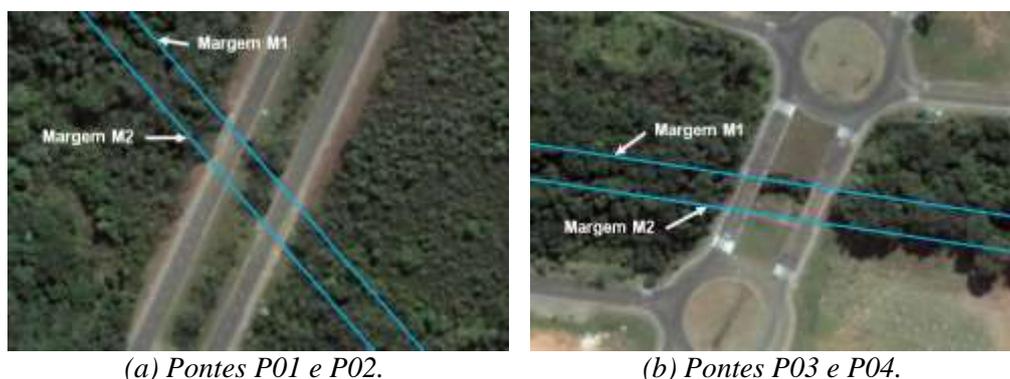
No decorrer dos anos de utilização das pontes P01; P02; P03 e P04 do Campus II-EESC/USP, para garantir o desempenho adequado, estas estruturas passam por monitoramento contínuo, diante de realizações de pesquisas científicas em avaliações com técnicas não destrutivas NDT, com inspeções visuais periódicas e preventivas, com avaliações de provas de carga e correlações com análises numéricas computacionais.

3. ANÁLISE E RESULTADOS

A situação com as indicações no posicionamento de implantação das pontes P01; P02; P03 e P04 do Campus II EESC/USP são indicadas na Figura 1. O posicionamento referencial para identificação das margens dos córregos das pontes P01 e P02 das margens do córrego das pontes P03 e P04 são indicados na Figura 2.



Figura 1: Posicionamento das Pontes P01; P02; P03 e P04. Fonte: Calil Junior et al (2012)



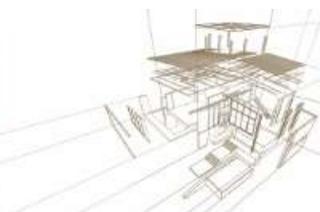
(a) Pontes P01 e P02. (b) Pontes P03 e P04.
Figura 2: (a) Identificação das margens do córrego das Pontes P01 e P02; (b) Identificação das margens do córrego das Pontes P03 e P04. Fonte: Calil Junior et al (2012)

3.1. Descrição e avaliação das pontes do CAMPUS II – EESC/USP

3.1.1. Ponte P01: sistema de ponte em placa mista madeira-concreto

O primeiro estudo trata-se da ponte experimental denominada “P01” construída no Campus EESC/USP”. Esta ponte P01 consiste em um sistema de tabuleiro em placa mista madeira-concreto. O tabuleiro misto desta ponte P01 foi construído com vigas roliças de Eucalyptus citriodora tratadas com CCA, com grampos de aço CA 50, no formato “X” colados com adesivo estrutural epóxi, atuando-se como conectores para ligações de interface ao concreto armado. Esta ponte foi liberada ao tráfego em 15 de janeiro de 2005 (Pigozzo et al, 2014). Ou seja, o sistema se constitui basicamente de uma laje de concreto armado moldada “in loco” sobre uma série de longarinas de vigas roliças de madeira, dispostas paralelamente lado a lado e com posicionamentos de diâmetros de base e topo alternados. Neste sistema a solidarização parcial entre os materiais pode ser garantida por uma série de conectores metálicos colados com adesivo estrutural epóxi, que fazem a interface de ligação entre o concreto armado e a madeira, de tal modo que o comportamento conjunto dos materiais trabalhe atuando em conjunto. Ou seja, os materiais são empregados na sua melhor condição, isto é, a madeira na tração e o concreto na compressão (Calil Junior et al, 2006).

Para acompanhamento dos aspectos visuais no estado de conservação das longarinas do tabuleiro da ponte P01 com vigas de eucalipto citriodora tratados com CCA, têm-se registrado fotos digitais capturadas em inspeções periódicas realizadas desde a época da execução da estrutura desta ponte. Na Figura 3, ilustram-se duas destas fotos capturadas em épocas distintas, onde pode-se notar numa visão geral, os aspectos visuais no estado de conservação com vigas de eucalipto citriodora tratados com CCA que constituem as longarinas do sistema em placa mista do tabuleiro desta ponte P01. A foto da Figura 3(a) foi registrada em inspeção visual realizada em 06 de março de 2012 e a da Figura 3(b), registrada em 11 de outubro de 2018. Vale destacar que sobre a camada de concreto armado desta ponte P01 possui revestimento asfáltico, que favorece como fator impermeabilizante, proporcionando maior proteção e durabilidade das toras de madeira tratadas.



(a) Foto: BRITO (06/03/2012)



(b) Foto: BRITO (11/10/2018)

Figura 3: Inspeções visuais - aspectos visuais no estado de conservação das longarinas do tabuleiro da ponte P01 com vigas de eucalipto citriodora tratados com CCA.

Além de inspeções visuais, na ponte P01 foram realizados testes NDT, com provas de carga com carregamento estático em 24 de setembro de 2005, e em 14 de maio de 2011, utilizando-se a carga real de um caminhão com três eixos totalmente carregado, posicionado longitudinalmente sobre o tabuleiro de tal forma que os eixos traseiros ficassem centrados no vão, e transversalmente o caminhão foi posicionado em três hipóteses: na lateral da margem M1, no centro e na lateral da margem M2. (Pigozzo et al, 2014). Os deslocamentos verticais em vários pontos na direção transversal, no centro do vão, foram medidos com e sem os carregamentos, por meio de uma régua milimétrica, utilizando-se um nível óptico com sensibilidade de 1,0mm. Conforme ilustrações indicadas nas figuras de 4 a 6 são demonstrados os resultados de Pigozzo et al (2014), onde foram comparados com os deslocamentos verticais obtidos por avaliações numéricas e também comparados com resultados obtidos na primeira avaliação experimental, que indicam o bom comportamento estrutural, além da ausência de manifestações patológicas graves, considerando-se pouca manutenção realizada nesta ponte P01.



(a) Fonte: Pigozzo et al (2014)



(b) Fonte: Pigozzo et al (2014)

Figura 4: Prova de carga no tabuleiro da ponte P01 - (a) Detalhe do posicionamento dos níveis ópticos. (b) Procedimento de leitura dos deslocamentos verticais.

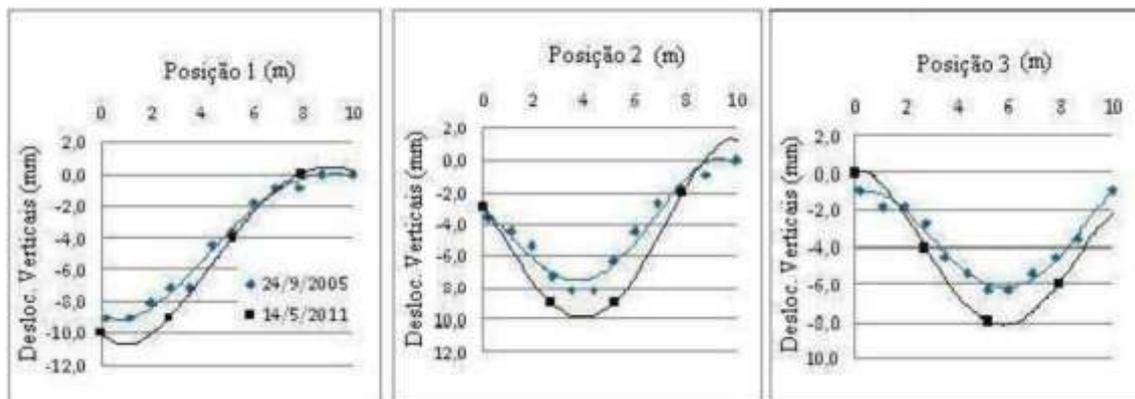
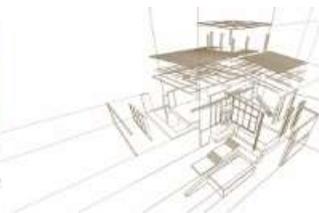


Figura 5: Resultados de deslocamentos verticais na linha central, apresentados por Pigozzo et al (2014) em prova de carga na Ponte P01.

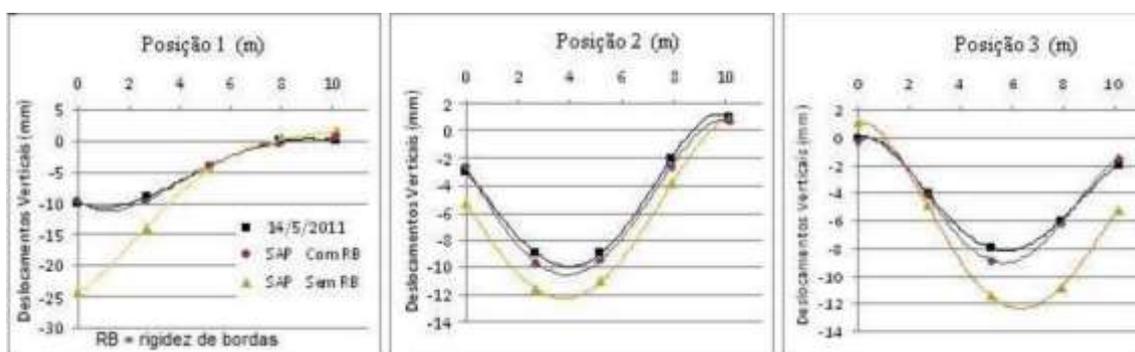


Figura 6: Valores obtidos de deslocamentos verticais na linha central, valores dos deslocamentos teóricos com e sem rigidez de borda, apresentados por Pigozzo et al (2014) em análise ao comportamento da Ponte P01.

Quanto os aspectos visuais dos elementos estruturais de madeira construídas para as defensas nesta ponte P01, conforme ilustrações indicadas nas fotos das Figuras 4 e 5, é notável o quanto a ausência de reparos em manutenções periódicas preventivas, sem a tomada de cuidados contínuos na proteção superficial de pinturas stain, ou seja, quando as madeiras ficam expostas às intempéries, estas podem ficar susceptíveis as deteriorações superficiais por ações atmosféricas de luz ultravioleta e biodeterioração por umidade. Este fator, quando associado a fendas expostas sujeitas ao armazenamento interno de umidade, são regiões que tendem naturalmente a um potencial de risco de biodeterioração da madeira por apodrecimento. Em análise as ilustrações das fotos capturadas após em cinco anos e sete meses Figuras 7(b) e 8(b) nota-se os aspectos visuais na evolução das manchas de fungos emboloradores e manchadores, nas regiões entre as fendas, tornando-se as peças de madeira das defensas susceptíveis ao ponto de partida para biodeterioração por fungos apodrecedores. Como fator fundamental de medida preventiva para proteção superficial destas peças de madeira expostas recomendam-se manutenções imediatas com raspagem, lixamento e aplicações de três demãos de pinturas com stain fungicida hidrorrepelente. A ação hidrorrepelente de pintura stain pode favorecer de sobremaneira como proteção superficial, que proporcionaria maior durabilidade e prolongamento da vida útil das peças de madeira expostas.



(a) Foto: BRITO (06/03/2012)



(b) Foto: BRITO (11/10/2018)

Figura 7: Inspeções visuais - aspectos visuais no estado de conservação das peças da defesa da margem M1 da ponte P01. Nota-se a evolução de manchas de fungos manchadores e emboloradores, pela ausência de manutenção de pintura superficial “stain fungicida hidrorrepelente”, indicada em 2012.



(a) Foto: BRITO (06/03/2012)

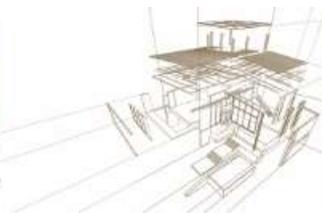


(b) Foto: BRITO (11/10/2018)

Figura 8: Inspeções visuais - aspectos visuais no estado de conservação das peças da defesa da margem M1 da ponte P01. Nota-se a evolução de manchas de fungos manchadores e emboloradores, pela ausência de manutenção de pintura superficial “stain fungicida hidrorrepelente” indicada em 2012.

3.1.2. Ponte P02: sistema de ponte em placa mista madeira-concreto

Nas avaliações visuais dos elementos estruturais de madeira da ponte P02, analogamente ao sistema da ponte P01, nota-se aspectos no estado de conservação das peças de eucalipto citriodora tratados com CCA que constituem as longarinas do tabuleiro da ponte P02, conforme ilustrações indicadas na Figura 9. Nota-se neste período de inspeção a evolução dos limos esverdeados sobre a estrutura do muro de concreto da cabeceira da ponte P02, como pode ser observado nas fotos da margem M1 ilustradas também na Figura 9.



(a) Foto: BRITO (06/03/2012)



(b) Foto: BRITO (11/10/2018)

Figura 9: Inspeções visuais – aspectos no estado de conservação das longarinas do tabuleiro da ponte P02 de eucalipto citriodora tratados com CCA.

3.1.3. Ponte P03: sistema multicelular de compensado e madeira protendida

Nas avaliações visuais dos elementos estruturais de madeira da ponte P03, construída com sistema multicelular de compensado e madeira protendida, pode-se notar os aspectos no estado de conservação das peças após treze anos e oito meses de utilização, conforme ilustrações indicadas na Figura 10.



(a) Cabeceira M1. Foto: BRITO (11/10/2018)



(b) Tabuleiro. Foto: BRITO (11/10/2018)

Figura 10: Inspeções visuais - aspectos visuais no estado de conservação das peças de madeira serrada e compensados do sistema de tabuleiro multicelular protendido da ponte P03.



(a) Foto: BRITO (06/03/2012)



(b) Foto: BRITO (11/10/2018)

Figura 11: Inspeções visuais – vegetação densa sob a ponte P03.



(a) Foto: BRITO (06/03/2012)



(b) Foto: BRITO (11/10/2018)

Figura 12: Inspeções visuais – aspectos visuais da defesa na região da vegetação densa sob a ponte P03. Devido a presença desta vegetação densa, nota-se a evolução de manchas de fungos manchadores e emboloradores, principalmente pela ausência de manutenção preventiva de pintura superficial “stain fungicida hidrorrepelente”, indicada em 2012.

3.1.4. Ponte P04: sistema multicelular com vigas MLC e peças de madeira protendidas lateralmente

Nas avaliações visuais dos elementos estruturais de madeira da ponte P04, construída com sistema multicelular com vigas MLC e peças de madeira protendidas lateralmente, pode-se notar os aspectos no estado de conservação das peças após treze anos e oito meses de utilização, conforme ilustrações indicadas na Figura 13.

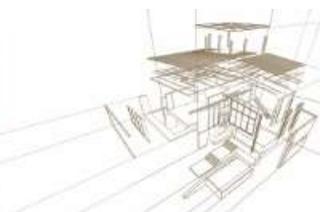


(a) Tabuleiro. Foto: BRITO (06/03/2012)



(b) Cabeceira M1. Foto: BRITO (06/03/2012)

Figura 13: Inspeções visuais - aspectos visuais no estado de conservação das peças de madeira serrada e compensados do sistema de tabuleiro multicelular protendido da ponte P03.



(a) Foto: BRITO (06/03/2012)



(b) Foto: BRITO (11/10/2018)

Figura 14: Inspeções visuais – aspectos visuais da defesa na margem M2 na ponte P04. Nota-se a evolução de manchas de fungos manchadores e emboloradores, pela ausência de manutenção de pintura superficial “stain fungicida hidrorrepelente”, indicada em 2012.



(a) Foto: BRITO (11/10/2018)



(b) Foto: BRITO (11/10/2018)

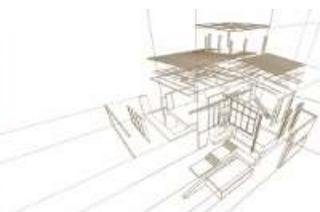
Figura 15: Inspeções visuais – aspectos visuais da defesa na margem M2 na ponte P04.

4. CONCLUSÕES

Entende-se que este trabalho trata-se de uma visão geral na apresentação de resultados de algumas das inspeções realizadas nas estruturas das pontes P01, P02 P03 e P04 nos últimos anos. No entanto, é notável o quanto se faz importante à realização de inspeções periódicas em pontes de madeira, em favor a durabilidade e prolongamento da vida útil dos elementos estruturais e construtivos além a fim de garantir a segurança aos usuários prevista em projeto de estruturas. Nota-se que sobre os tabuleiros das quatro pontes periodicamente vem sendo recapeada a camada asfáltica. Entretanto as peças expostas de madeira das estruturas das defensas e dos guarda-corpos de todas estas pontes somente receberam proteção superficial com pintura stain na etapa de sua construção, e ainda assim, não apresentam sinais visuais graves de biodeterioração por fungos apodrecedores nem ataques por insetos. Para tanto, torna-se fundamental a aplicação deste produto em manutenções periódicas preventivas. Como sugestões para trabalhos futuros recomenda-se a realização de inspeções NDT detalhadas, para avaliações internas nos elementos estruturais de madeira destas pontes, com auxílio do uso do Resistograph.

AGRADECIMENTOS

À FAPESP, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo. À Comissão de Pesquisa (CPq) do programa de Pós-Doutorado, ao Departamento de Engenharia de Estruturas e ao



Laboratório de Madeiras e de Estruturas de Madeira, da Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo, pelas oportunidades nas realizações de pesquisas neste trabalho.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2018). Texto base de etapa do projeto de revisão de norma ABNT NBR 7190: 2018. Projetos de estruturas de madeira. Texto base de etapa do Projeto de Revisão, disponibilizado em reunião do CB-02. Brasil.

Brito, L. D.; CALIL JUNIOR, C (2013). Uso do Resistograph IML-RESI-F500-S em inspeções NDT para avaliações internas de elementos estruturais de madeira. In: IX International Congress on Pathology and Recovery Structures. João Pessoa, Brasil.

Brito, L. D (2014). Patologia em estruturas de madeira: metodologia de inspeção e técnicas de reabilitação. Tese (Doutorado em Engenharia Civil/Engenharia de Estruturas) Departamento em Engenharia de Estruturas. Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Carlos, Brasil.

Brito, L. D.; Calil Junior, C. (2016). Metodologia de inspeção para proposta de reabilitação da passarela pênsil de Piracicaba. XV EBRAMEM - Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira. Curitiba, Brasil.

Calil Junior, C. et al. (2006). Manual de projeto e construção de pontes de madeira. Suprema. ISBN 85-98156-19-1. São Carlos, 2006. Disponível para download gratuito em: <<<<<
<http://www.set.eesc.usp.br/portal/pt/livros/361-manual-de-projeto-e-construcao-de-pontes-de-madeira>>>>>> Acesso em: 29 julho de 2019.

Calil Junior, C.; Pigozzo, J. C.; Brito, L. D.; (2012). Laudo técnico: inspeção visual nos elementos estruturais das quatro pontes de madeira do acesso ao campus II – EESC/USP e provas de carga. Laboratório de Madeiras e de Estruturas de Madeira. Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Carlos, Brasil.

Calil Junior, C.; Brito, L. D. (2015). Inspection and rehabilitation of timber structural elements. Manual of design and construction of timber bridges. 1ed.Saarbrücker: LAP LAMBERT Academic Publishing, v. , p. 117-131.

Calil Junior, C.; Brito, L. D. (2018). Relatório de inspeção periódica e manutenções preventivas: inspeção visual nos elementos estruturais de madeira das quatro pontes de acesso ao Campus II – EESC/USP. Laboratório de Madeiras e de Estruturas de Madeira. Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Carlos, Brasil.

Calil Junior, C. (2011). Assessment of historic timber structures in Brazil. Anais SHATIS'11: International Conference on Structural Health Assessment of Timber Structures. Lisbon, Portugal, 2011.

Pigozzo, J. C.; Saad, N. S. Calil Junior, C. (2014). Avaliação experimental da Ponte P01-CAMPUS II-USP, com tabuleiro misto de madeira e concreto, após seis anos de utilização. In: XIV EBRAMEM - Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira. Natal, Brasil.