

Estudo experimental da influência das chapas com dentes estampados na perda de protensão em tabuleiros de madeira protendidos transversalmente

Experimental study of the metal-plate-connected in the prestresses losses in wood bridge deck

Andrés Batista Cheung
André Luis Christoforo
Carlito Calil Junior

Resumo

Esta pesquisa apresenta o estudo experimental da influência das chapas com dentes estampados (CDE) na perda de protensão em tabuleiros treliçados protendidos transversalmente para aplicação em pontes de madeira. Como os conectores diminuem o contato direto das peças de madeira, as perdas de protensão apresentam valores diferentes dos obtidos nos tabuleiros laminados protendidos convencionais. Dessa forma, esta pesquisa apresenta um estudo experimental em uma faixa, em que as perdas de protensão são avaliadas por meio de instrumentação contínua em sala com temperatura e umidade controlada. Com isso foi possível identificar os níveis de tensão nas barras após o período de 60 dias, que corresponde à fase inicial de serviço da ponte, com o objetivo de fornecer dados preliminares para o estabelecimento de planos de protensão. Os valores obtidos experimentalmente foram ajustados aos modelos teóricos e empíricos por meio do método dos mínimos quadrados. Os resultados demonstraram, pela análise dos valores médios, que não foram notadas diferenças significativas entre o sistema com chapas com dentes estampados e o sistema sem chapas; porém, faz-se necessária a realização de mais ensaios para que se possa ter uma amostra de maior representatividade.

Palavras-chave: Protensão. Pontes. Modelos reológicos. Método dos mínimos quadrados.

Abstract

This paper presents an experimental study on the influence of metal plate connected on loss in prestress in wood bridge decks. As the connectors reduce the direct contact of the wood, the losses in prestress present values different from those obtained in conventional laminated prestressed plates. This paper presents an experimental study where the losses in prestress were assessed by continuous instrumentation in a room with controlled temperature and humidity. That allowed the identification of the stress levels on the elements after 60 days, which corresponds to the initial stage of bridge service, with the aim of providing preliminary data to establish prestressing plans. The experimental values were adjusted to the theoretical and empirical models by the least squares method. Through mean value analysis, the results demonstrated that no significant differences occurred between the metal-plate-connected system and the system without connectors, however, it more tests are needed in order to obtain a more representative sample.

Keywords: *Prestress. Bridges. Rheological models. Least squares method.*

Andrés Batista Cheung
Universidade Federal de Mato Grosso
do Sul
Campo Grande - MS - Brasil

André Luis Christoforo
Universidade Federal de São Carlos
São Carlos - SP - Brasil

Carlito Calil Junior
Universidade de São Paulo
São Carlos - SP - Brasil

Recebido em 17/07/15
Aceito em 31/10/16

Introdução

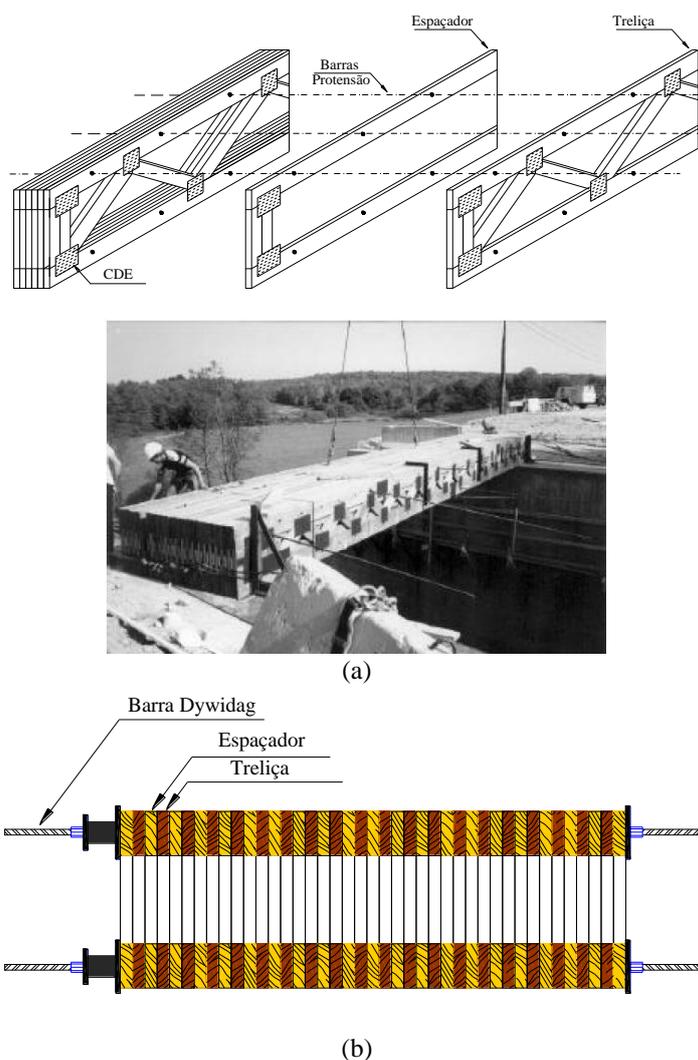
Para uma adequação da realidade nacional em níveis internacionais de desenvolvimento tecnológico e construção de pontes, é necessária a pesquisa de tecnologias já consagradas em outros países. O sistema protendido transversalmente, originário do Canadá em 1976 (CHEUNG; PINTO; CALIL JUNIOR, 2012), é empregado atualmente em países como Austrália, Canadá, EUA, Japão e Suíça. No Brasil, os estudos sobre essa nova tecnologia ainda são bastante recentes e buscam a adaptação tecnológica com madeiras nacionais e de reflorestamento (CHEUNG; LINDQUIST; CALIL JUNIOR, 2004).

O sistema treliçado protendido transversalmente se apresenta como uma alternativa viável na construção de pontes com vãos maiores que 10 m. O sistema é leve e apresenta boas características de

resistência e rigidez para uso em pontes industrializadas de madeira. Além dessas características, oferece outras vantagens: garantia de segurança, rapidez e economia no custo, o que possibilita que os elementos estruturais sejam fabricados em série (CHEUNG, 2003).

Esse sistema é constituído de treliças e espaçadores adjacentes (uns aos outros) que são associados a um sistema de protensão transversal que os mantém unidos, apresentando um comportamento de placa ortótropa (Figura 1). Os sistemas protendidos são geralmente constituídos de barras de aço de diâmetros de 16 mm a 32 mm, laminado a quente de alta resistência (ST 85/105 ou ST 105/125) da Dywidag. Porém, outros sistemas de protensão podem ser utilizados como as cordoalhas de aço e os fios de fibra de carbono.

Figura 1 - (a) Sistema treliçado protendido transversalmente e (b) Corte da seção transversal



Fonte: adaptado de Dagher *et al.* (1995).

Perdas de protensão em pontes treliçadas protendidas transversalmente

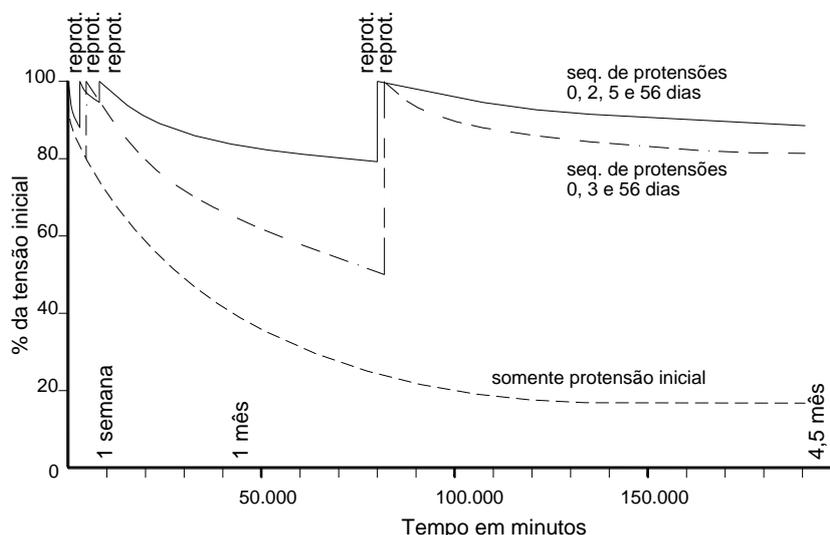
Os principais fatores que influenciam a perda de protensão são a umidade da madeira, deformação lenta da madeira, fluência da barra e temperatura ambiente (TAYLOR; CSAGOLY, 1979; OLIVA; DIMAKIS, 1988; MCCUTCHEON; GUTKOWSKI; MOODY, 1996).

Taylor e Csagoly (1979) observaram que se o tabuleiro é protendido apenas na sua construção, a perda de protensão durante a vida útil será maior que 80%. Porém, se fosse realizada mais de duas

reprotensões (3 dias e 8 semanas) a perda final não superaria 60%. Os autores recomendam como protensão inicial um valor 2,5 vezes o valor de projeto, e no mínimo 2 reprotensões ao nível inicialmente aplicado, nos períodos de 3 dias e 8 semanas após a montagem (Figura 2).

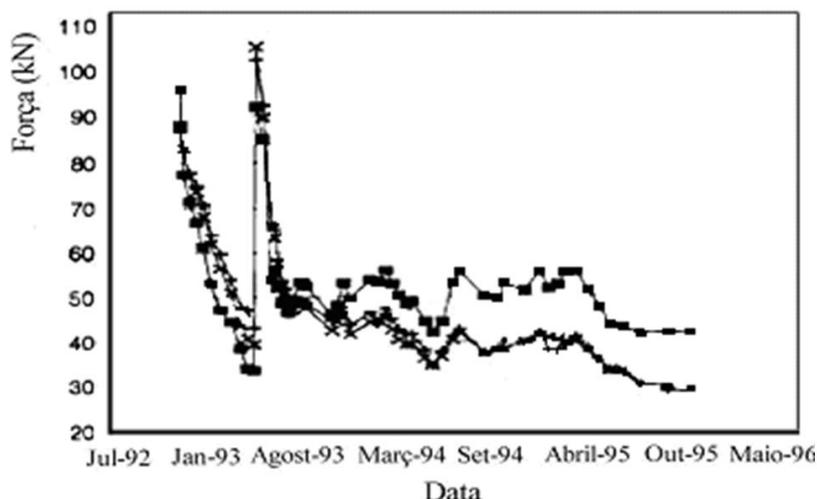
Nas pontes treliçadas protendidas existem mais alguns fatores que afetam o comportamento da protensão, levando aos valores de estabilização da força de protensão em níveis abaixo do esperado. Segundo Triche e Ritter (1996), na primeira ponte protendida treliçada, construída em Tuscaloosa no Alabama, as perdas de protensão não haviam estabilizado mesmo passados 3,5 anos de sua construção (Figura 3).

Figura 2 - Perda de protensão e reprotensão em função do tempo



Fonte: Taylor e Csagoly (1979).

Figura 3 - Perdas de protensão na ponte em Tuscaloosa



Fonte: Triche e Ritter (1996).

Dagher *et al.* (1999a, 1999b) apresentam os resultados de monitoramento das pontes de North Yarmouth e Byron, nas quais ainda não tinham apresentado estabilização nas forças de protensão. Por isso foram realizadas provas de carga nas pontes antes e depois da protensão de recuperação, na qual evidenciaram que mesmo com baixos níveis de protensão a ponte apresentava um deslocamento menor que os prescritos pela norma americana AASHTO:1991 (AMERICAN... 1991), que é de $L/500$ para os carregamentos móveis, sendo L o vão da ponte.

Um dos fatores de maior influência na perda de protensão no sistema treliçado é a ligação das treliças com o uso de chapa com dentes estampados, pois essas apresentam uma espessura que introduz pequenas lacunas no sistema, ocasionando uma área de contato reduzida nos banzos. Segundo Dagher (1995), uma das maneiras de se reduzir essa interferência consiste na elaboração de espaçadores; entretanto, mesmo com o seu emprego as pontes apresentaram elevadas perdas de protensão, conforme podem ser observadas nas Figura 4a e 4b.

As perdas de protensão ocorrem nas pontes protendidas de madeira devido aos diversos fatores, tais como a deformação lenta da madeira, a relaxação do aço e a retração da madeira. Porém, a deformação lenta da madeira é provavelmente o fator mais importante nas perdas de protensão. Deve-se lembrar ainda que nesse sistema construtivo a aplicação da força é perpendicular às fibras da madeira, e nessa direção a madeira apresenta valores de propriedades mecânica inferiores (CHEUNG, 2003).

Modelos reológicos para deformação lenta

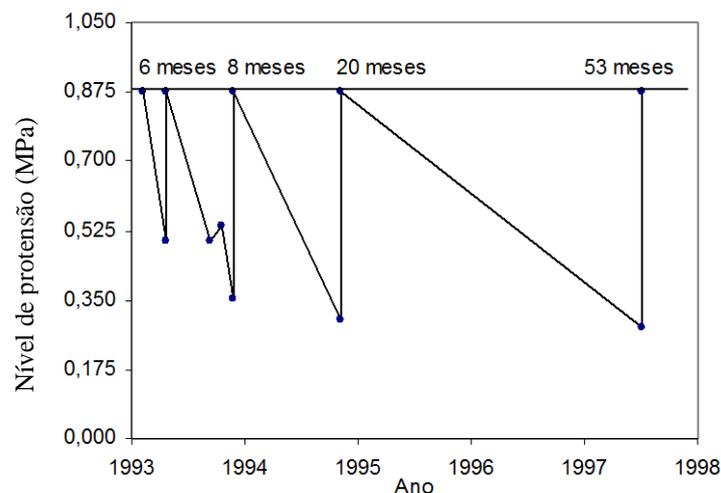
É imprescindível para o perfeito entendimento do sistema treliçado protendido transversalmente a investigação de modelos matemáticos que representem o efeito da perda de protensão. Bodig e Jayne (1982) apresentam alguns modelos matemáticos para descrever o comportamento reológico dos materiais, assim como ilustrado na Figura 5.

Os modelos reológicos de Hooke, Newton, Maxwell e Kelvin (Figura 5) são limitados, e não conseguem expressar o comportamento real do conjunto. O modelo de Burger, ilustrado na Figura 6, é o modelo matemático mais adequado para o estudo da perda de protensão por deformação lenta da madeira, pois possui incorporada uma associação dos quatro modelos envolvidos com cinco estágios de deformação, sendo a deformação viscosa, deformação retardada, recuperação elástica imediata e recuperação elástica retardada.

Da Figura 6, u é o deslocamento total no tempo t , u_e é o deslocamento elástico, u_r é o deslocamento retardado e u_v o deslocamento viscoso. A deformação lenta pode ser expressa por meio de um modelo aditivo, assim como expressa a Equação 1, sendo $\varepsilon_{(t)}$ a deformação total no tempo t , ε_e a deformação elástica, ε_r a deformação retardada e ε_v a deformação viscosa.

$$\varepsilon_{(t)} = \varepsilon_e + \varepsilon_r + \varepsilon_v \quad \text{Eq. 1}$$

Figura 4 - Perda de protensão na Ponte de Byron



Fonte: adaptado de Dagher *et al.* (1999b).

Figura 5 - Modelos reológicos de Hooke, Newton, Maxwell e Kelvin

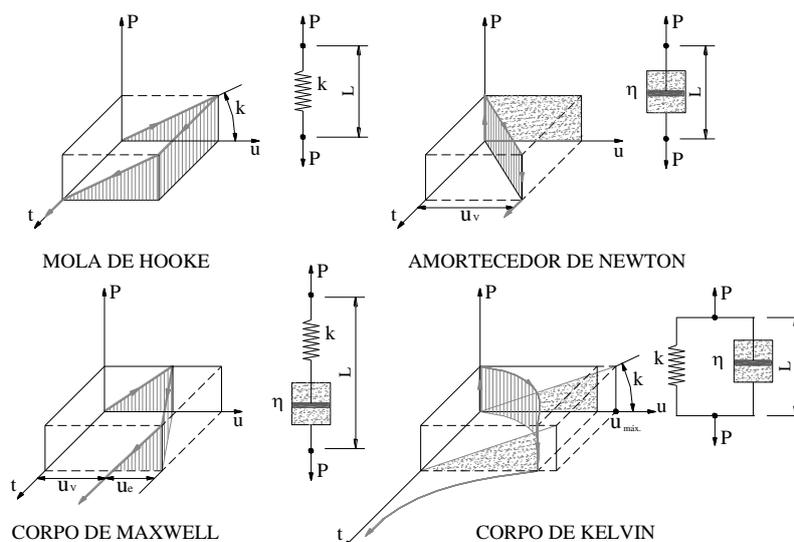
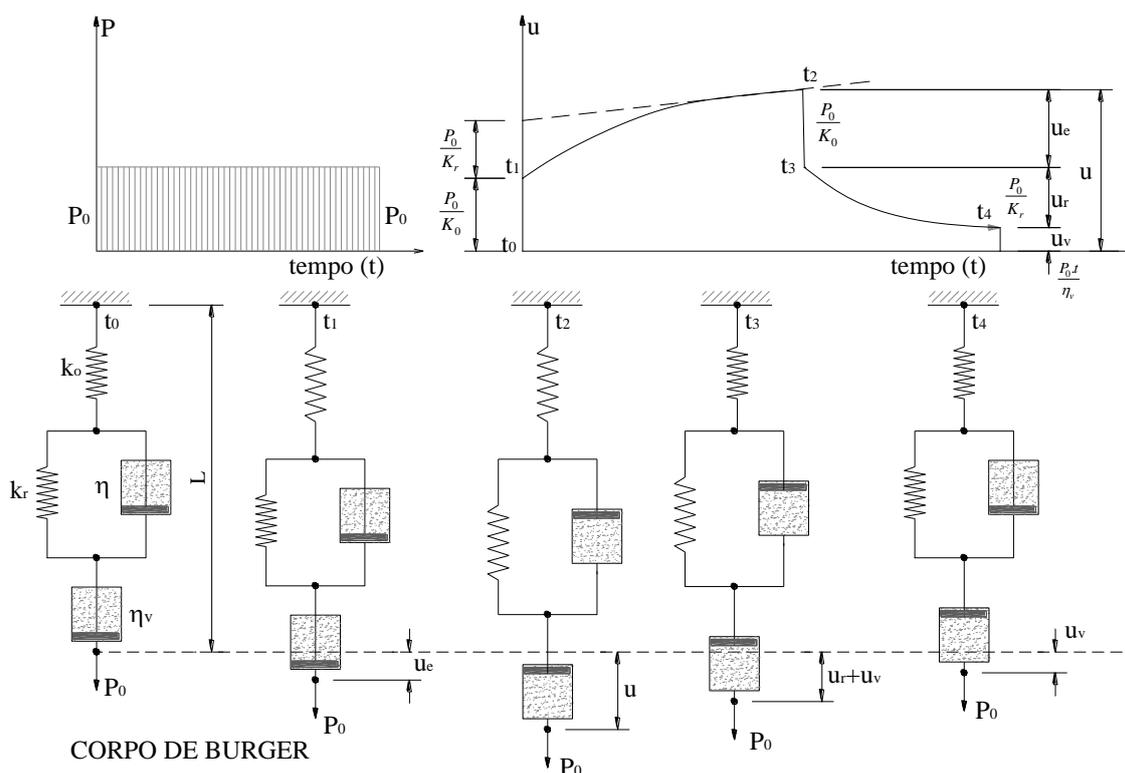


Figura 6 - Modelo reológico de Burger



Fridley, Tang e Soltis (1992) utilizou o modelo de Burger, que consiste em um modelo aditivo, expresso pela Equação 2, para representar o comportamento da madeira (*Pinus elliottii*) submetido a um ensaio de deformação lenta, e apresentou algumas constantes para o modelo (Tabela 1). Da Equação 2, σ_0 é a tensão atuante, k_e é a constante elástica, k_r é a constante elástica do

Modelo de Kelvin, η_r é a constante viscoelástica do Modelo de Kelvin e η_v é a constante viscoelástica do amortecedor de Newton.

$$\epsilon_{(t)} = \sigma_0 \cdot \left\{ \frac{1}{k_e} + \frac{1}{k_e} \times \left[1 - e^{-\frac{k_r t}{\eta_r}} \right] + \frac{t}{\eta_v} \right\} \text{ Eq. 2}$$

Tabela 1 - Constantes para o Modelo de Burger

Constantes	15% de Umidade	19% de umidade	28% de umidade
k_e (kN/cm ²)	1181,2	1096,8	921,0
k_r (kN/cm ²)	1947,5	1525,7	1146,0
η_r (kN/cm ² -min)	32060746,7	23623708,1	12585249,2
η_v (kN/cm ² -min)	3,9E+11	3,1E+11	2,3E+11

Modelos empíricos podem descrever a perda de protensão pelo simples fato de ser de difícil obtenção os parâmetros viscoelásticos do modelo de Burger. As equações empíricas mais utilizadas para descrever o comportamento são: parabólica, logarítmica e polinomial, porém a logarítmica apresenta em geral o melhor ajuste com os dados experimentais (CHEUNG, 2003).

Pelo exposto, como nos outros sistemas protendidos de madeira, a perda de protensão é um fator preponderante no projeto e no comportamento da ponte ao longo do tempo. Assim, dando continuidade aos estudos já existentes, este trabalho procurou contribuir para o projeto e construção de tabuleiros ortótropos treliçados protendidos transversalmente, investigando a influência das chapas com dentes estampados na perda de protensão, utilizando para isso ensaios em faixas representativas de tabuleiros de pontes e o método dos mínimos quadrados na geração de modelos matemáticos responsáveis por possibilitar a estimativa da perda de protensão em função do tempo.

Material e métodos

Para o entendimento do comportamento final da perda de protensão foram realizados ensaios em faixas representativas para avaliar a influência da chapa com dentes estampados (CDE) na perda de protensão do tabuleiro. Foram construídos 5 tabuleiros de 95 cm × 160 cm × 20 cm, com o objetivo de controlar melhor as variáveis mais significativas do fenômeno.

Okimoto (2001) concluiu dos seus ensaios realizados que os corpos de provas maiores tem um comportamento mais representativo do que corpos de prova de dimensões menores (20 cm × 20 cm × 100 cm), por possuírem melhor distribuição das forças de protensão, menores influências de rachaduras, presença de nós e outros elementos que possam interferir nas análises, ou seja, melhora a distribuição dos defeitos compatibilizando as variáveis de interferência.

Os ensaios foram realizados com madeira de *Pinus elliottii* em uma sala climatizada com umidade (U) de 65% e temperatura (T) de 25 °C, com o intuito de fixar essas duas variáveis, representando a classe de umidade 1 da norma brasileira NBR 7190

(ABNT, 1997). Foi aplicada uma tensão de 0,7 MPa e foram realizadas reprotensões para a avaliação da perda de protensão total. Em todas as peças dos tabuleiros foram determinadas a umidade aparente por meio do medidor elétrico DUP 8805 e pelo método de ensaio da norma brasileira NBR 7190 (ABNT, 1997).

A Figura 7 mostra os corpos de prova (CP1; CP2; CP3) utilizados na avaliação da perda de protensão. Foram utilizados para isso células de carga para a avaliação da força nas barras e transdutores de deslocamentos para avaliação do deslocamento total por deformação lenta. Foram realizados 5 ensaios experimentais em sala climatizada, sendo 2 para o modelo estrutural delineado para o corpo de prova 1 (CP1), 2 para o CP2 e 1 para o CP3.

Depois de realizados os ensaios nos corpos de prova CP1; CP2; CP3 e obtidos os valores da perda de protensão para um período de 60 dias, modelos logarítmicos fundamentados no métodos dos mínimos quadrados (Equação 4) foram gerados com o intuito de se encontrar relações matemáticas que possibilitem estimar a perda de protensão (P) em função do tempo (3, 7 e 60 dias) para cada tipo de corpo de prova assim como para o conjunto envolvendo os três. Da Equação 3, a e b são os parâmetros obtidos pelo métodos dos mínimos quadrados, ε é o erro gerado pelo modelo e P_0 consiste na protensão inicial aferida ao sistema.

$$\frac{P}{P_0} = a \cdot \ln(t) + b + \varepsilon \quad \text{Eq. 3}$$

A qualidade dos modelos de regressão obtidos para cada configuração do corpo de prova é medida por meio do coeficiente de determinação (R^2), que quanto mais próximo de 1 (ou de 100%), melhores ou mais precisos são os modelos (MONTGOMERY, 2005).

Resultados

As Figuras 8, 9 e 10 apresentam as avaliações das perdas de protensão com o tempo para os três modelos (CP1; CP2; CP3) estruturais investigados, sendo P_0 a protensão inicial e P a protensão avaliada no instante de tempo t .

Figura 9 - Avaliação da perda de protensão: (a) nº 3-CP2 e (b) nº 4-CP2

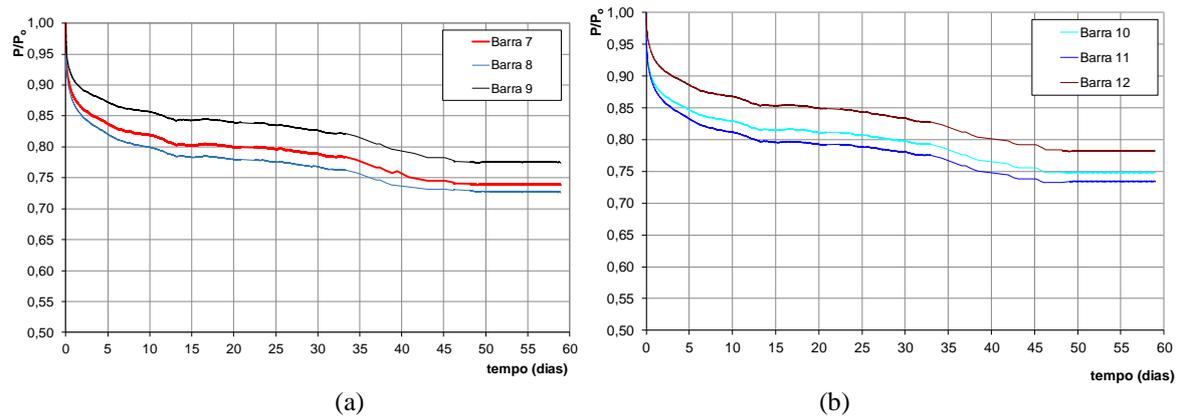
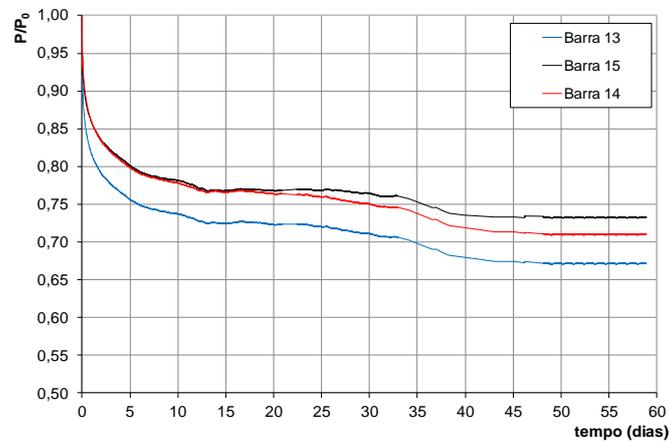


Figura 10 - Avaliação da perda de protensão nº 5-CP3



A Tabela 2 apresenta resumidamente os resultados dos 5 ensaios realizados, e os ensaios 1 e 3 apresentaram maiores áreas e chapas com dentes estampados que os ensaios 2 e 4. Já no ensaio 5 o tabuleiro foi protendido sem a presença de chapas com dentes estampados. Da Tabela 2, PT-3d, PT-7d e PT-60d consistem na perda de protensão após 3, 7 e 60 dias, respectivamente, e D-3d, D-7d e D-60d os deslocamentos (mm) medidos nos pontos médios dos tabuleiros após 3, 7 e 60 dias respectivamente.

Devido ao número de corpos de prova reduzido, foram analisados os resultados por meio das médias. Observa-se da Tabela 2 que a barra central possui uma perda de protensão maior que a das barras das extremidades. Quando se compara os ensaios 1, 2, 4 e 5, nota-se que as perdas seguem a mesma tendência. A investigação demonstrou que os ensaios apresentaram uma perda de protensão média de 30% em 60 dias.

Verifica-se também que o efeito de deformação lenta no tabuleiro é um fator determinante na avaliação da perda de protensão. Todos os

tabuleiros apresentaram deslocamentos significativos referentes à deformação lenta. Porém, os ensaios 3 e 4 apresentaram alongamentos nas fases iniciais e podem ser atribuídos a inchamento da madeira devido ao aumento da umidade aparente até atingir o equilíbrio.

As faixas com conectores não apresentaram diferenças significativas de perdas de protensão em relação à faixa sem conectores representada pelo ensaio 3. Nos ensaios 4 e 5 obtiveram-se menores perdas de protensão que os ensaios 1, 2 e 3. Isso pode ser atribuído à variabilidade da madeira ensaiada e à variação de umidade e temperatura da sala climatizada em períodos com fortes oscilações climáticas.

A Tabela 3 apresenta os resultados dos modelos de regressão para os três modelos estruturais investigados (CP1; CP2; CP3), em que a e b são os coeficientes do modelos logarítmico (Equação 3) obtidos pelo método dos mínimos quadrados e R^2 é o coeficiente de determinação.

Tabela 2 - Resultados da perda de protensão nas faixas representativas

Nº	Tipo	Barra	PT-3d	D-3d (mm)	PT-7d	D-7d (mm)	PT-60d	D-60d (mm)
1	CP1	1	15,90%		19,99%		36,51%	
		2	16,90%	0,71	20,97%	1,02	34,91%	2,09
		3	14,40%		18,30%		36,46%	
2	CP2	7	13,44%		16,24%		34,02%	
		8	18,39%	0,53	21,34%	0,75	36,36%	1,90
		9	18,13%		20,98%		38,38%	
3	CP3	13	22,40%		25,50%		32,80%	
		14	17,90%	-0,12	21,20%	0,44	26,70%	0,70
		15	18,10%		21,40%		29,00%	
4	CP1	4	14,80%		17,50%		26,20%	
		5	16,30%	0,36	19,20%	0,40	27,50%	0,93
		6	11,50%		13,90%		22,60%	
5	CP2	10	13,90%		16,40%		25,10%	
		11	15,10%	-0,38	18,10%	-0,35	26,60%	0,86
		12	10,00%		12,50%		21,80%	

Nota: (+) Encurtamento do tabuleiro; e (-) Alongamento do tabuleiro.

Tabela 3 - Coeficientes ajustados dos modelos de regressão logarítmica por barra e por modelos estruturais

Ensaio	Tipo	Barra	a	b	R ²
1	CP1	1	-0,045	0,876	0,96
		2	-0,044	0,865	0,98
		3	-0,045	0,891	0,95
2	CP2	7	-0,047	0,864	0,98
		8	-0,047	0,867	0,96
		9	-0,046	0,913	0,95
3	CP3	13	-0,038	0,814	0,96
		14	-0,029	0,851	0,97
		15	-0,034	0,855	0,96
4	CP2	10	-0,031	0,889	0,89
		11	-0,032	0,878	0,93
		12	-0,031	0,925	0,87
5	CP1	4	-0,031	0,881	0,91
		5	-0,032	0,867	0,95
		6	-0,029	0,912	0,86

Após o ajuste das curvas logarítmicas para cada barra (Tabela 3), é proposta uma expressão para avaliar a perda de protensão, Equação 4, em que ε é a função do erro.

$$\frac{P}{P_0} = -0,038 \cdot \ln(t) + 0,886 + \varepsilon \quad \text{Eq. 4}$$

Para fins práticos de aplicação foi considerado que o erro tem um comportamento normalizado, ou seja, segue uma distribuição normal, apesar de não ter sido realizado um teste de normalidade em razão do pequeno número de corpos de prova utilizados na pesquisa. Assim, pode-se dizer que

como a variância é constante e a média dos resíduos tende a zero, a Equação 4, considerando-se $\varepsilon=0$, pode ser utilizada na estimativa inicial das perdas de protensão nos tabuleiros treliçados protendidos.

Conclusões

O trabalho permitiu investigar as perdas de protensão em tabuleiros treliçados protendidos transversalmente por meio de ensaios em faixas representativas.

Também foi investigada a influência das chapas na perda de protensão dos sistemas, concluindo-se que não há diferenças significativas entre o sistema com chapas e o sistema sem chapas. No entanto, são necessários mais ensaios para que a análise seja conclusiva com base em uma amostragem representativa.

A expressão empírica encontrada com o método dos mínimos quadrados para a estimativa da perda de protensão em função do tempo consiste em uma importante contribuição ao meio técnico, pois disponibiliza mais informações para a elaboração do projeto e garante melhor controle da manutenção dos níveis de protensão nos tabuleiros de pontes.

Referências

- AMERICAN ASSOCIATION OF HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS. **Guide Specifications for Design of Stress Laminated Wood Decks**. Washington, 1991.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190**: projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro, 1997.
- BODIG, J.; JAYNE, B. A. **Mechanics of Wood and Wood Composites**. New York: Van Nostrand Reinhold Company, 1982.
- CHEUNG, A. B. **Tabuleiro Ortótropo Treliçado Protendido Transversalmente Para Aplicação em Pontes de Madeira**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.
- CHEUNG, A. B.; LINDQUIST, M.; CALIL JUNIOR, C. Calibração das Propriedades Elásticas de Uma Placa Ortótropa Utilizando Algoritmos Genéticos. **Revista Sul-Americana de Engenharia Estrutural**, v. 1, n. 2, p. 75-95, 2004.
- CHEUNG, A. B.; PINTO, E. M.; CALIL JUNIOR, C. Confiabilidade Estrutural de Vigas de Madeiras Submetidas à Flexão em Condições Normais e em Situação de Incêndio. **Revista Madeira: Arquitetura e Engenharia**, v. 12, p. 1-12, 2012.
- DAGHER, H. *et al.* **Field Performance of a Stress-Laminated Truss Bridge Located in North Yarmouth, Maine**. Report Number AEWC 98-7. Orono, Maine; Advanced Engineered Wood Composites Center, 1999a.
- DAGHER, H. *et al.* **Field Performance of a Stress-Laminated Truss Bridge Located in Byron, Maine**. Report Number AEWC 98-6. Orono, Maine; Advanced Engineered Wood Composites Center, 1999b.
- DAGHER, H. *et al.* Using Lightweight MPC Wood Trusses in Bridges. In: **RESTRUCTURING AMERICA AND BEYOND STRUCTURES CONGRESS**, 13. Boston, 1995. **Proceedings...** New York: American Society of Civil Engineers, 1995.
- FRIDLEY, K. J.; TANG, R. C.; SOLTIS, L. A. Creep Behavior Model for Structural Lumber. **Journal of Structural Engineering**, v. 118, n. 8, p. 2261-2277, 1992.
- MCCUTCHEON, W. J.; GUTKOWSKI, R. M.; MOODY, R. C. Performance and Rehabilitation of Timber Bridges. **Transportation Research Record**, v.1053, p. 65-69, 1996.
- MONTGOMERY, D. C. Design and Analysis of Experiments. 6th. ed. Arizona: John Wiley & Sons Inc., 2005.
- OKIMOTO, F. S. **Análise da Perda de Protensão em Pontes Protendidas de Madeira**. São Carlos, 2001. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2001.
- OLIVA, M.G.; DIMAKIS, A.G. Behavior of Stress-Laminated Timber Highway Bridge. **Journal of Structural Engineering**, v. 114, n. 8, p. 1850-1869, 1988.
- TAYLOR, R. J.; CSAGOLY, P. F. Transverse Post-Tensioning of Longitudinally Laminated Timber Bridge Decks. **Research Report**, RR220. Ontario, Canadá, 1979.
- TRICHE, M. H.; RITTER, M. A. Three-Year Evaluation of a Metal-Plate Connected Wood Truss Bridge. In: **STRUCTURES CONGRESS**, 14. Chicago, 1996. **Proceedings...** New York: American Society of Civil Engineers, 1996.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Battistella Indústria e Comércio de Madeiras Ltda. e à Gang-Nail pela doação de madeiras e conectores para realização desta pesquisa, e também à Comissão de Aperfeiçoamento de Pessoal do Nível Superior (Capes) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (Fapesp) pelo apoio financeiro, sem o qual este trabalho não poderia ter sido realizado.

Andrés Batista Cheung

Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismos e Geografia | Universidade Federal de Mato Grosso do Sul | Cidade Universitária, Centro | Caixa Postal 549 | Campo Grande - MS - Brasil | CEP 79070-900 | Tel.: (67) 3345-7376 Ramal 7376 | E-mail: andres.cheung@ufms.br

André Luis Christoforo

Departamento de Engenharia Civil | Universidade Federal de São Carlos | Rodovia Washington Luís, km 235 - SP-310 | São Carlos - SP - Brasil | CEP 36307-352 | Tel.: (16) 3351-8262 | E-mail: christoforoal@gmail.com

Carlito Calil Junior

Departamento de Estruturas, Escola de Engenharia | Universidade de São Paulo | Av. Trabalhador Saocarlense, 400, Centro | Caixa Postal 359 | São Carlos - SP - Brasil | CEP 13566-590 | Tel.: (16) 3373-9320 | E-mail: calil@sc.usp.br

Revista Ambiente Construído

Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
Av. Osvaldo Aranha, 99 - 3º andar, Centro
Porto Alegre - RS - Brasil
CEP 90035-190
Telefone: +55 (51) 3308-4084
Fax: +55 (51) 3308-4054
www.seer.ufrgs.br/ambienteconstruido
E-mail: ambienteconstruido@ufrgs.br