



PROGRAMA EMERGENCIAL DAS PONTES DE MADEIRA PARA O ESTADO DE SÃO PAULO

Carlito Calil Jr.

Professor Titular do Depto. Eng. de Estruturas,
EESC-USP, Av. Trabalhador São-carlense, 400,
CEP 13566-970, São Carlos, SP, e-mail: calil@sc.usp.br

Jorge Luís Nunes de Góes

Pós-doutorando do Depto. Eng. de Estruturas,
EESC-USP, Av. Trabalhador São-carlense, 400,
CEP 13566-970, São Carlos, SP, e-mail: jgoes@sc.usp.br

Resumo

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de novas tecnologias para a construção de pontes de madeira, avaliação e aprimoramento das tecnologias já existentes e adaptação das tecnologias atualmente em desenvolvimento no exterior para as condições nacionais com o intuito de alcançar a tecnologia para a construção de pontes seguras em madeira seguindo técnicas construtivas simples e modernas, com durabilidade compatível com a de outros materiais estruturais e a um custo altamente competitivo. Como objetivo final prevê-se a ampla divulgação dos sistemas construtivos e estruturais por meio de construção de pontes demonstrativas, cursos de extensão e publicações em revistas e congressos nacionais e internacionais.

Palavras-chave: pontes de madeira, sistemas estruturais, estruturas de madeira.

Introdução

De suma importância ao desenvolvimento dos municípios do Estado de São Paulo, do ponto de vista econômico e social, as estradas devem assegurar a entrada de insumos nas propriedades agrícolas, o escoamento da produção e o livre deslocamento das populações do meio rural. Nota-se, entretanto, que, ao longo dos anos, incorretos processos de construção e manutenção foram empregados nestas vias, principalmente pela carência de informações técnicas por parte das Administrações Estaduais e Municipais.

A maioria das pontes de madeira no Brasil não é projetada e construída por técnicos e construtores especializados em madeiras. Isto resulta em estruturas caras, inseguras e de baixa durabilidade. O estado atual de degradação destas pontes reflete-se um quadro negativo do uso da madeira como material estrutural.

Constata-se, assim, a urgente necessidade de implantar nas estradas municipais e estaduais os avanços tecnológicos atuais para a construção e recuperação das pontes de madeira.

Considerando que o sistema rodoviário estadual conta com cerca de 220.000 km de estradas vicinais e estimando-se a existência de 0,5% de pontes, têm-se 2.200 km de pontes. Estimando-se também o vão médio das pontes em 10 metros, têm-se 111.000 pontes.

No Estado de São Paulo não há espécies de madeira tropicais. O uso estrutural da madeira de reflorestamento como uma alternativa às espécies tropicais é uma solução

natural. Dos reflorestamentos atuais, os pinus, os pinhos e os eucaliptos são os mais importantes para a construção civil. As áreas reflorestadas com eucalipto, de 1970 a 2000, passaram de 500.000 para 600.000 hectares. As peças estruturais são normalmente utilizadas roliças ou serradas com tratamento preservativo. Atualmente há grande disponibilidade destas espécies no Estado.

No momento encontra-se em desenvolvimento no Laboratório de Madeiras e Estruturas de Madeiras (LaMEM) do Departamento de Engenharia de Estruturas (SET) da Escola de Engenharia de São Carlos (EESC-USP) um projeto de pesquisa, modalidade temático, financiado pela FAPESP e intitulado “Programa Emergencial das Pontes de Madeira para o Estado de São Paulo”, com o objetivo de desenvolver novas tecnologias para a construção de pontes de madeira, avaliar e aprimorar as tecnologias já existentes e adaptar as tecnologias atualmente em desenvolvimento no exterior para as condições nacionais.

Iniciado em 2001, o projeto de pesquisa possibilitou o desenvolvimento de várias pesquisas em nível de mestrado: [Fiorelli (2002), Cheung (2003), Carreira (2003), Fonte (2004) e Freitas (2004) e doutorado: Pletz (2003), Pigozzo (2004), Fiorelli (2005), Góes (2005), Miná (2005) e Pinto (2005)], formando pesquisadores que contribuem para a disseminação destas novas tecnologias e o emprego racional da madeira.

Foram construídas pontes demonstrativas em parceria com prefeituras do Estado de São Paulo, DER-SP e DERSA, e periodicamente são ministrados cursos de extensão na USP São Carlos para engenheiros e arquitetos interessados em aplicar as novas técnicas de construção em pontes de madeira.

Com base no exposto, este trabalho tem por objetivo apresentar os principais progressos alcançados no andamento do projeto temático, bem como contribuir para maior divulgação dos avanços na área de estruturas de madeira do País.

Sistemas Estruturais

A superestrutura das pontes de madeira pode ser projetada nos mais variados sistemas estruturais, e os principais são os seguintes: pontes em viga, pontes em placa, pontes em pórtico, pontes em arco, pontes pênses e pontes estaiadas. No Brasil, os sistemas de pontes que apresentam maior emprego são as pontes em viga e as pontes em placa.

As pontes em viga são basicamente formadas por pranchas de madeira serrada posicionadas transversalmente e apoiadas sobre vigas, também chamadas de longarinas. Os elementos estruturais principais (longarinas) podem ser formados por: vigas roliças de madeira, vigas de Madeira Laminada Colada (MLC), vigas compostas de madeira serrada, vigas treliçadas de madeira, vigas armadas de madeira, etc.

Já nas pontes em placa, os sistemas utilizados podem ser: tabuleiro misto madeira-concreto, tabuleiro protendido simples, tabuleiro protendido de seção T e tabuleiro multicelular protendido.

A seguir são apresentados de forma mais detalhada os principais sistemas estruturais, bem como algumas obras

projetadas e construídas com o apoio técnico dos pesquisadores do LaMEM.

Pontes em vigas de madeira roliça

Uma das técnicas mais competitivas dos pontos de vista técnico e econômico para construir pontes é viabilizada pela utilização da madeira roliça. Esta técnica permite usar a madeira na sua forma natural, diminuindo os níveis de industrialização, manipulação e transporte, aumentando a velocidade de construção, melhorando o aproveitamento da madeira e possibilitando reutilização integral. Permite ainda que se agregue valor a um produto que atualmente é proveniente da atividade de reflorestamento e, deste modo, se enfatize-se ainda mais a madeira como um material de construção ecologicamente correto. As pontes são construídas com peças de madeira roliça que apresentem eixo longitudinal praticamente retilíneo, seção transversal relativamente bem comportada e sem defeitos, como, por exemplo, presença de ataque de agentes bióticos.

Estas peças devem ser tratadas com sistema de vácuo-pressão, principalmente quando se trata de madeiras de reflorestamento. São várias as alternativas que se apresentam para a estrutura de pontes de madeira roliça.

A utilização de troncos de madeira ao longo do rodado decompõe as cargas segundo estes dois conjuntos de vigas que se apóiam em suas extremidades. A largura destes conjuntos de vigas corresponde à largura das rodas dos trens-tipo mais uma margem de variação em função da largura da ponte em construção.

As tábuas são pregadas sobre estas vigas roliças. A exposição da madeira roliça ao intemperismo praticamente de modo direto reduz a durabilidade dessas pontes.

As Figuras 1 e 2 mostram a Ponte Estrada Floresta construída neste sistema estrutural.



Dados:

Ano: 2002

Local: Piracicaba, SP

Sistema: ponte em viga

Madeira: eucalipto tratado

Classe: 30 t

Comprimento: 6 m

Largura: 5 m

1 faixa de tráfego

Figura 1 Ponte em viga de madeira roliça (Ponte Estrada Floresta).



Figura 2 Detalhes construtivos (Ponte Estrada Floresta).

Pontes em vigas treliçadas de madeira

As treliças são importantes elementos estruturais na área de madeiras, pois com peças de dimensões comerciais pode-se alcançar grandes vãos com elevada rigidez. As treliças de madeira com ligações parafusadas são leves, práticas e permitem a modulação, facilitando o transporte de elementos pré-fabricados.

As pontes em vigas de madeira roliças têm vão limitado em função das dimensões das vigas roliças disponíveis, em geral de até 12 m. Já as pontes em vigas treliçadas

atendem a vãos maiores, sendo apenas necessário o dimensionamento apropriado do elemento estrutural.

Geralmente, as pontes em viga apresentam pouca largura, para apenas uma faixa de tráfego. Esta estratégia permite pontes de custo menor, não só pela área reduzida, mas também por serem apenas vigas na posição diretamente sob o rodeiro. As tábuas do tabuleiro colocadas sobre as vigas são ligadas por meio de parafusos auto-atarraxantes.

As Figuras 3 e 4 mostram a Ponte Aiuroca construída neste sistema estrutural.



Dados:

Ano: 2003

Local: Aiuroca, MG

Sistema: ponte em viga

Madeira: eucalipto tratado

Classe: 30 t

Comprimento: 15,7 m

Largura: 3,9 m

1 faixa de tráfego

Figura 3 Ponte em viga treliçada de madeira (Ponte Aiuroca).



Figura 4 Detalhes construtivos (Ponte Aiuroca).

Pontes em placa mista de madeira–concreto

Os sistemas de pontes em placa mista de madeira–concreto consistem em uma laje de concreto conectada a elementos estruturais de madeira de tal modo que as partes funcionem em conjunto. O nível de transferência de esforços entre a laje de concreto e a madeira pode definir um comportamento monolítico, quando não há deslocamentos relativos entre esses materiais, ou semi-rígido, quando as transferências de tensões ocorrem com pequenos deslocamentos relativos.

Nos tabuleiros mistos, a laje de concreto, além de proteger a madeira contra as intempéries e o desgaste superficial por abrasão, diminui as vibrações provocadas pelas cargas dinâmicas com o aumento do peso próprio, aumenta o isolamento acústico e a proteção contra fogo e proporciona maior rigidez e resistência comparada ao sistema unicamente de madeira. A resistência ao carregamento dobra e a rigidez aumenta de três a quatro vezes. Embora entre o concreto e a madeira as propriedades mecânicas e hidrotérmicas sejam diferentes, não se tem

conhecimento de problemas de utilização decorrentes dessas causas.

Os tabuleiros mistos são de duas formas: seção T, com a laje de concreto apoiada sobre vigas de madeira serradas ou MLC, ou sistema de laje, quando a laje de concreto se apóia sobre uma base contínua de madeira formada por lâminas serradas ou peças roliças justapostas. A ação conjunta da madeira e do concreto na flexão é desenvolvida pelos conectores de cisalhamento dispostos ao longo da face superficial das vigas de madeira, que transmitem forças de cisalhamento longitudinais e impedem a separação vertical entre a laje de concreto e as peças de madeira, deslocamento denominado de “uplift”.

Na laje de concreto de aproximadamente 12 cm de espessura é acrescentada armadura construtiva para evitar sua fissuração. Uma camada de asfalto é colocada sobre o concreto com a finalidade de proteger as peças de madeira e regularizar as superfícies de concreto. As Figuras 5 e 6 mostram uma ponte mista de madeira–concreto construída na rodovia SP 148 conhecida como Ponte Caminho do Mar.

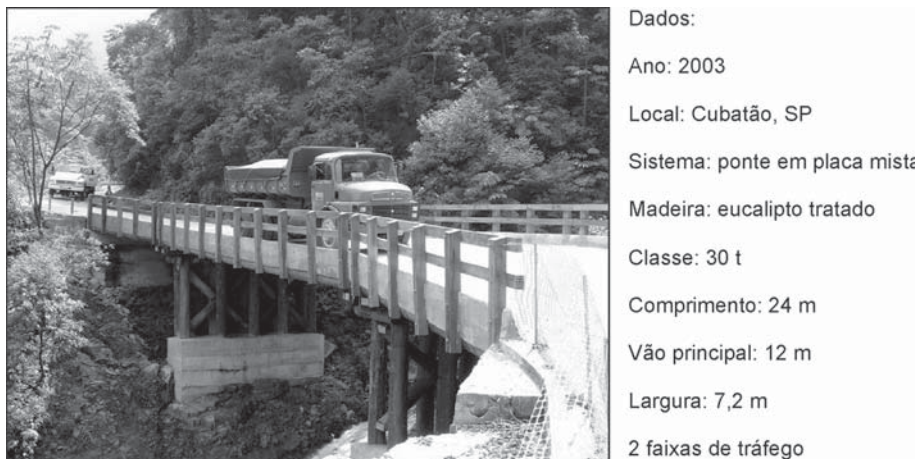


Figura 5 – Ponte em placa mista madeira–concreto (Ponte Caminho do Mar).



Figura 6 Detalhes construtivos (Ponte Caminho do Mar).

Pontes em placa protendida simples

O conceito de pontes de tabuleiro laminado protendido surgiu no Canadá, na região de Ontário, em 1976, onde o sistema de tabuleiro de ponte utilizado era o laminado pregado, que consiste em vigas de madeira serrada posicionadas, ao longo do vão, uma adjacente à outra e conectadas por pregos.

O sistema de pontes de tabuleiro em madeira laminada longitudinalmente com protensão transversal utiliza peças de madeira de dimensões comerciais disponíveis. As seções transversais destas peças geralmente apresentam largura de 5 cm e a altura, em função do vão livre, é da ordem de 20 cm a 40 cm.

Quanto ao comprimento das peças, é possível encontrar de até 7 m. Quando o vão livre da ponte ultrapassar esta dimensão deve-se utilizar o sistema de juntas de topo: as peças de madeira são serradas, mas não aparelhadas.

O sistema de protensão pode ser constituído por barras de aço com diâmetros nominais entre 15 mm e 32 mm. O sistema da Dywidag é de aço laminado a quente de alta resistência (ST 85/105 ou ST 105/125), sendo a ancoragem efetuada por um conjunto de placa de ancoragem quadrada (ou retangular) e porca sextavada e uma placa de distribuição, quadrada ou retangular, de aço comum. A protensão é aplicada por meio de cilindros hidráulicos.

As Figuras 7 e 8 mostram a Ponte Jockey Club construída neste sistema estrutural.



Dados:

Ano: 2002

Local: São Carlos, SP

Sistema: ponte em placa

Madeira: eucalipto tratado

Classe: 45 t

Comprimento: 8 m

Largura: 4 m

1 faixa de tráfego

Figura 7 Ponte em placa protendida simples (Ponte Jockey Club).



Figura 8 Detalhes construtivos (Ponte Jockey Club).

Pontes em placa multicelular protendida

As pesquisas realizadas com o sistema protendido simples evidenciaram a praticidade na construção e o baixo custo das pontes para vãos de até 9 m. Todavia, seu momento de inércia é limitado pelo tamanho das lâminas de madeira serrada disponíveis, que são de no máximo 40 cm. Então,

para alcançar maiores vãos com a tecnologia da madeira protendida, novos conceitos foram necessários.

Para satisfazer a necessidade de vãos maiores, pesquisadores americanos desenvolveram o sistema multicelular protendido, que consiste em mesas superior e inferior laminada protendida ligadas à alma (viga, que

também pode ser chamada de nervura). As nervuras aumentam significativamente a rigidez do tabuleiro da ponte, tornando-se assim capaz de vencer maiores vãos (10 a 25 m). O material das vigas pode ser MLC (Madeira Laminada Colada), LVL (Laminated Veneer Lumber) ou vigas compostas de madeira. Atualmente estão em fase de construção, no Campus II da Escola de Engenharia de São Carlos, duas pontes multicelulares protendidas.

Uma das pontes utiliza vigas de MLC e a outra, vigas compostas de madeira serrada e chapas de compensado.

O termo MLC refere-se ao material obtido a partir da colagem de topo e de face de pequenas peças de madeira, na forma reta ou curva, com as fibras de todas as lâminas paralelas ao eixo da peça. As lâminas, de comprimento suficientemente grande, são obtidas por meio da emenda longitudinal de tábuas e podem ser coladas face a face e borda a borda para a obtenção da altura e da largura desejadas, podendo ainda ser arqueadas para obter forma curva durante a colagem. A Figura 9 mostra o ensaio de flexão de uma viga de MLC a ser utilizada na construção de uma das pontes do Campus II.

As vigas compostas de madeira têm por principal vantagem a otimização da distribuição de áreas dos materiais

na seção, ou seja, as porções sujeitas às maiores tensões decorrentes de flexão (mesas) têm sua área aumentada e distanciada da linha neutra, resultando em maior valor do Módulo de Resistência à Flexão (W) e, conseqüentemente, diminui os valores das tensões normais atuantes.

Na alma da seção transversal, onde predominam as tensões de cisalhamento, a área pode ser diminuída, sendo dimensionada para suportar essas tensões tangenciais. Nesta região utiliza-se o compensado por este possuir melhor comportamento estrutural no cisalhamento. Com isso otimiza-se a geometria do elemento estrutural em função das propriedades intrínsecas de cada material.

A Figura 10 mostra a fabricação de uma viga composta utilizada na construção de uma das pontes do Campus II.

O procedimento de montagem da ponte consiste em posicionar as vigas sobre os apoios e instalar as barras de protensão no sentido transversal do tabuleiro. A força de protensão, determinada em projeto, é aplicada com cilindros hidráulicos.

As Figuras 11 e 12 mostram a ponte multicelular protendida com vigas compostas de compensado do Campus II da USP São Carlos.



Figura 9 Ensaio de flexão de uma viga de MLC.



Figura 10 Fabricação de uma viga composta de madeira.



Dados:

Ano: 2005

Local: São Carlos, SP

Sistema: ponte em placa

Madeira: eucalipto tratado

Classe: 45 t

Comprimento: 12 m

Largura: 10 m

2 faixas de tráfego + passeio

Figura 11 Ponte em placa multicelular protendida (Ponte P03 – USP).



Figura 12 Detalhes construtivos (Ponte P03 – USP).

Considerações Finais

O resultado principal esperado com o programa é uma contribuição tecnológica para o projeto e a construção de pontes de madeira para o Brasil. Atualmente, a maioria dos projetos destas estruturas é desenvolvida sem o conhecimento tecnológico da madeira e de sua adequação ao melhor sistema estrutural e construtivo.

O resultado final esperado corresponde à apresentação de projetos detalhados de pontes de madeira para pequenos e médios vãos, com sistemas construtivos simples, baixo custo, segurança adequada e durabilidade amplamente satisfatória. Sua relevância se impõe no atendimento da necessidade nacional de pontes em estradas, interligando milhares de microrregiões brasileiras.

Num país como o nosso, que dispõe de grandes reservas florestais e capacidade de reflorestamento, é possível construir milhares de pontes para estas estradas, desde que se forneça a tecnologia adequada. O acesso facilitado e a redução dos percursos com a construção de novas pontes, tecnologicamente apropriadas, poderão diminuir desperdícios e prejuízos, hoje amplamente divulgados.

Até o momento foram construídas oito pontes mistas de madeira–concreto de 7 a 12 m de vão no Estado, uma ponte em viga roliça de 8 m de comprimento no município de Piracicaba, uma ponte em viga treliçada de 15,7 m de comprimento no município de Aiuroca, uma ponte protendida de 8 m de comprimento no município de São Carlos e uma ponte multicelular protendida também em São Carlos. Além disso, já foram ministrados três cursos de Extensão/Atualização na Escola de Engenharia de São Carlos, USP, para engenheiros e arquitetos de prefeituras do Estado e também do Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo.

Também foram desenvolvidos programas computacionais para o projeto de pontes em viga e pontes em placa. Os programas já estão prontos e em fase de testes.

Agradecimentos

Os autores expressam seus agradecimentos à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo suporte financeiro para o desenvolvimento da pesquisa.

Referências Bibliográficas

CARREIRA, M. R. *Critérios para classificação visual de peças estruturais de Pinus spp.* 2003. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

CHEUNG, A. B. *Tabuleiro ortótropo treliçado protendido transversalmente para aplicação em pontes de madeira.* 2003. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

FIGORELLI, J. *Utilização de fibra de carbono e fibra de vidro para reforço de vigas de madeira.* 2002. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

FIGORELLI, J. *Estudo teórico e experimental de vigas de madeira laminada colada reforçadas com fibra de vidro.* 2005. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

FONTE, T. F. *Pontes protendidas de Eucalipto citriodora.* 2004. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

FREITAS, R. R. *Classificação de peças estruturais de Pinus spp. Pela MSR (Machine Stress Rate).* 2004. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

GÓES, J. L. N. *Estudo de pontes de madeira com tabuleiro multicelular protendido.* 2005. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

MINÁ, A. *Estudo de estacas de madeira para fundações de pontes de madeira.* 2005. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

PIGOZZO, J. C. *Estudo e aplicações de barra de aço coladas como conectores em lajes mistas de madeira e concreto para tabuleiros de pontes.* 2004. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

PINTO, E. M. *Determinação de um modelo de taxa de carbonização transversal a grã para madeira de Eucaliptus citriodora e Eucaliptus grandis.* 2005. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

PLETZ, E. *Passarela estaiada com tabuleiro de madeira laminada protendida em módulos curvos.* 2003. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.