

MODELO REDUZIDO QUALITATIVO APLICADO NO ENSINO PARA PRÉ-AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO DE ARCOS TRIARTICULADOS EM SISTEMAS ESTRUTURAIS MLC

QUALITATIVE REDUCED MODEL APPLIED IN TEACHING FOR PRE- EVALUATION OF TRIARTICULATED ARCH BEHAVIOR IN MLC STRUCTURAL SYSTEMS

Leandro Dussarrat Brito ⁽¹⁾, **Isabella Bortoloto Joviano Santos** ⁽²⁾, **Julia Lobo Ribeiro** ⁽²⁾ (A),
Laura Viegas Carvalho ⁽²⁾, **Maria Raquel Sangaletti Lopes** ⁽²⁾

(1) Prof. Dr. na Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais no Campus de Poços de Caldas, Pós-doutorando pesquisador em Engenharia de Estruturas na Universidade de São Paulo (LaMEM/SET/EESC/USP). São Carlos, Brasil.

(2) Graduandas em Arquitetura e Urb., Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, P. de Caldas, Brasil.

Endereço de contato: leandro.3dr@outlook.com.br; (A) Apresentadora

Código de identificação: T7-08

Resumo

O conhecimento do comportamento estrutural é essencial e determinante para a idealização adequada de um projeto arquitetônico. É na concepção estrutural onde devem ser tomadas as premissas e mais importantes decisões na modelagem de uma estrutura, visando além dos aspectos estéticos, avaliações de segurança e economia. Uma das ferramentas intuitivas para pré-avaliar o comportamento de uma estrutura são os modelos reduzidos, que podem representar valores qualitativos similares ao comportamento de uma estrutura real. No entanto é fundamental que estudantes de Arquitetura e Engenharia tenham a habilidade de visualizar e compreender o comportamento das estruturas em diferentes hipóteses de ações e carregamentos, em função dos tipos de vinculações entre os elementos estruturais e entender a importância dos sistemas de contraventamento. Diante desses aspectos, o objetivo desse trabalho foi idealizar um modelo reduzido intitulado de ARCOS MLC com a intenção de apresentar exemplos práticos com conceitos essenciais para pré-avaliações qualitativas e intuitivas do comportamento do sistema de contraventamento, sob algumas hipóteses básicas de ações horizontais, a fim de demonstrar o quão é didática a aplicação desse modelo no ensino. Para validação qualitativa foram comparadas as deformadas no modelo reduzido, validando-as com os resultados obtidos a partir de simulações numéricas computacionais e compatibilizando-as com o comportamento o mais próximo do modelo real. Os resultados das deformadas validam que o comportamento do modelo reduzido é similar ao comportamento de uma estrutura real.

Palavras chave: estrutura; madeira; vínculos; arcos tri-articulados; arquitetura

Abstract

The knowledge of the structural behavior is essential and determinant for the adequate idealization of an architectural project. It is in the structural conception in which the premises and most important decisions must be taken in the modeling of a structure, aiming at aesthetic aspects, safety evaluations and economy. One of the intuitive tools to pre-evaluate the behavior of a structure is the reduced models, which may represent qualitative values similar to the behavior of a real structure. However, it is fundamental that students of Architecturing and Engineering have the ability to visualize and understand the behavior of the structures in different loads hypothesis, depending on the types of connections supports of the structural members and to understand the importance of the systems of bracing. In view of these aspects, the objective of this work was to idealize a reduced model entitled ARCOS MLC with the intention of presenting practical examples with essential concepts for intuitive and qualitative pre-evaluations of the behavior of the bracing system, under some basic hypotheses of horizontal loads, in order to demonstrate how didactic the application of this model in teaching. For qualitative validation, the deformed ones were compared in the reduced model, validating them with the results obtained from computational numerical simulations and making them compatible with the behavior closest to the real model. The results of the deformed ones validate that the behavior of the reduced model is similar to the behavior of a real structure.

Keywords: structures; timber; glulam arches; connections supports; architecture

1. INTRODUÇÃO

O conhecimento e percepção/intuitiva do comportamento estrutural é essencialmente determinante para uma idealização adequada de um Projeto Arquitetônico em Madeira Laminada Colada (MLC) aliada na concepção e otimização do Projeto Estrutural. É logo na primeira etapa de um projeto, denominada de “Concepção Estrutural”, onde devem ser tomadas as premissas e mais importantes decisões na idealização da forma arquitetônica aliada a modelagem da estrutura, visando além dos aspectos estéticos, garantir as condições de segurança e viabilidade econômica do empreendimento. Portanto, a “Concepção Estrutural” consiste na definição de todos os dados necessários para o cálculo da estrutura, tais como: escolha dos materiais, geometria; tipos de vinculações; hipóteses e combinações de ações e de carregamentos, intrínsecos ou extrínsecos a estrutura. Portanto é essencial que profissionais (Engenheiros e/ou Arquitetos) envolvidos em projetos estruturais tenham a habilidade intuitiva de visualizar e compreender o comportamento das estruturas, em função dos tipos de vinculações entre os elementos estruturais e entender a fundamental importância dos sistemas de contraventamento, quando submetidos a diferentes hipóteses e combinações de ações e de carregamentos.

Para isso, é fundamental que ainda no curso de graduação, os alunos (as) devam desenvolver a percepção intuitiva para compreender o comportamento local e global de uma determinada estrutura, desde a “Concepção Estrutural” até a Obra já em serviço, a fim de idealizar de maneira mais precisa o Projeto Arquitetônico aliado ao conhecimento e a percepção/intuitiva do comportamento estrutural essencial para a otimização na modelagem da estrutura.

Diante desses aspectos, uma das ferramentas intuitivas que podem favorecer uma pré-avaliação do comportamento estrutural de um determinado sistema é a utilização de modelos reduzidos, que quando idealizados corretamente podem representar valores qualitativos/intuitivos similares ao comportamento de uma estrutura real.

1.1 Objetivos

Este trabalho tem como objetivo principal a idealização original de um modelo estrutural em escala reduzida, intitulado “ARCOS MLC”, associando ao sistema as “VIGAS MLC” (terças), que sugere uma inovação didática na metodologia de ensino na disciplina de Estruturas de Madeira, tanto na Arquitetura, quanto na Engenharia Civil, na aplicação de trabalhos práticos de concepção, projeto, cálculo e construção de modelos reduzidos qualitativos “MLC”, para melhor compreensão do comportamento das estruturas. A intenção da construção do protótipo “ARCOS MLC” é demonstrar de maneira clara, prática e intuitiva, aspectos visuais qualitativos, essenciais para o entendimento do comportamento dos Sistemas Estruturais com arcos triarticulados de Madeira Laminada Colada (MLC), a fim de transferir o conhecimento teórico e analítico ao mesmo tempo em que o aluno(a) desenvolve “O feling” na habilidade de perceber e compreender esses conceitos complexos.

1.2 Justificativa

A metodologia didática no ensino contemporâneo, aplicada nas disciplinas de Estruturas, tanto na Arquitetura quanto na Engenharia Civil, geralmente em muitas universidades no Brasil, as aulas ainda têm predominado o modelo tradicional, em que a exposição dos conceitos estruturais é feita quase exclusivamente via cálculos analíticos manuais, geralmente, menosprezando noções na exploração em análises visuais qualitativas, seja na resistência em aplicações de trabalhos com construções de modelos reduzidos mais representativos, seja na resistência ao uso de softwares estruturais profissionais, o que geralmente dificulta a aprendizagem na compreensão dos conceitos teóricos na vertente perceptiva/intuitiva, que tem sido deixada de certa forma para segundo plano.

Vale salientar, que a aplicação desse trabalho em sala de aula, também tem funções expressivas em motivar nos alunos da Arquitetura e da Engenharia Civil o desenvolvimento de habilidades como: a criatividade; o trabalho em equipe; e aplicação prática dos conhecimentos teóricos adquiridos, contribuindo significativamente no ensino/aprendizado de conceitos nas áreas de conhecimento de: resistência e propriedades dos materiais; mecânica e teoria das estruturas; sistemas estruturais e construtivos; concepção de projetos; técnicas montagem na execução.

Diante desse contexto, é fundamental, que dia após dia, o professor envolvido no ensino de Estruturas, se atualize as novas tecnologias, de tal maneira que deva transferir o conhecimento teórico e analítico ao mesmo tempo em que se deve desenvolver a percepção intuitiva “O feling” do aluno, através de trabalhos práticos de modelos reduzidos qualitativos, preferencialmente aliados com auxílio de modelagens computacionais parametrizadas gráficas e numéricas.

A escolha dos palitos de picolé para a construção dos elementos estruturais dos “ARCOS MLC” e das “VIGAS MLC”, que compõem a idealização tridimensional do sistema estrutural desse modelo reduzido, foi utilizar um material capaz de simular de maneira mais aproximada possível, a geometria e as propriedades físicas de resistência e elasticidade na caracterização e composição dos materiais, valorizando sempre a questão ambiental, sustentável e a viabilidade econômica dos trabalhos.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Na idealização, para a confecção dos elementos estruturais reduzidos dos “ARCOS MLC”, assim como das “VIGAS MLC” (terças), foram utilizados palitos laminados de madeira (palitos de picolé), sobrepostos unidos por colagem, observando o posicionamento das lamelas, a fim de simular de maneira mais aproximada possível, a geometria e as propriedades físicas de resistência e elasticidade na caracterização e composição dos materiais, na intenção de promover uma representação das rigidezes das peças de madeira similar aos das rigidezes efetivas que seriam em elementos estruturais como esses numa estrutura MLC em escala real (modelo real). Para a colagem lamelas de palito de madeira foi utilizada cola do tipo adesivo instantâneo. Como solução para a representação das rótulas dos arcos triarticulados, foram utilizadas cantoneiras metálicas, fixadas com parafusos, conectores e arames. Para as ligações das terças aos arcos foram utilizadas dobradiças metálicas de 10mm x 10mm. Para uma representação ideal na simulação do sistema de contraventamento foram utilizados cordoalhas de aço de 1,4mm de diâmetro, com terminais fixados em ambas extremidades, simulando-os como conectores com olhais de articulação. Como recurso utilizado para ligar os conectores com olhais (das extremidades das cordoalhas de aço) às dobradiças, promovendo as articulações ideais, foram utilizados pregos de aço 08x08. A fim de representar o comportamento de rótulas nas placas de base foram utilizados, cantoneiras metálicas e terminais de alumínio, fixados com parafusos e arruelas em peças de plástico e MDF.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA E FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A modelagem de estruturas em modelos reduzidos é um mecanismo simplificado de estudo físico aplicado na engenharia civil e na arquitetura, onde é possível representar na forma mais realista possível, o comportamento de uma determinada estrutura. O emprego de modelos físicos reduzidos foi e tem sido uma ferramenta importantíssima para se avaliar o comportamento de sistemas estruturais da engenharia civil, amplamente empregados em diversos centros de pesquisa na avaliação do comportamento das estruturas (Nascimento Neto). Tais mecanismos foram pesquisados por estudiosos como Arquimedes, Leonardo Da Vinci, Galileu Galilei, dentre outros, que já tentaram anteriormente a construção dos modelos físicos, em escala reduzida, embora as inúmeras tentativas, a realizações de construções só foram plausíveis após estudos na relação linear por Robert Hooke (1660) conhecida por “Lei de Hooke”, e principalmente a descoberta da teoria da

semelhança mecânica, por Isaac Newton. Um marco da aplicação na mecânica das estruturas é o trabalho publicado em 1638 por Galileu Galilei, onde é deduzido o valor da resistência à flexão de uma viga de madeira engastada numa extremidade, avaliando a aplicação de uma carga concentrada (peso) na extremidade livre (Figura 3.1a).

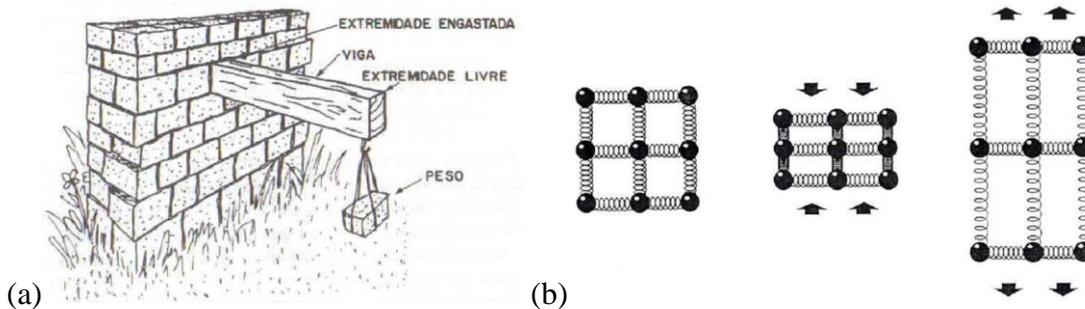


Figura 3.1: Exemplos clássicos de estudos de modelos reduzidos aplicados em teorias da física: (a) Viga engastada de Galileu Galilei (BAZZO; PEREIRA, 2003); (b) Compressão e Tração com modelo de molas (FRANÇA FILHO; LINDENBERG NETO, 2004).

Quando aplicados tecnologicamente em ensaios de laboratório para avaliações de protótipos de estruturas reais, os modelos reduzidos são, em geral, de extrema complexidade, podendo ser empregados em situações que se faz necessário uma investigação mais aprofundada de um determinado sistema pouco conhecido, e que quando associado a análises de modelos numéricos, pode favorecer na comparação dos resultados a validação do estudo do comportamento real de uma determinada estrutura. Para avaliações de protótipos de projetos realísticos, os modelos reduzidos devem ser construídos segundo as leis da “Teoria da Semelhança”, estudada inicialmente por Galileu Galilei (GALILEI, 1638), que demonstra que em aplicações de problemas de comparação de resistência das estruturas em escalas reduzidas, a simples semelhança geométrica não é suficiente. Para que um modelo possa representar um protótipo e/ou para que os resultados obtidos em ensaios com modelos possam ser validados aos protótipos, é preciso que, além da semelhança geométrica, os modelos sejam construídos com materiais que apresentem semelhança física, compatíveis em relação aos materiais do protótipo, observando-se a “Teoria da Semelhança”.

Portanto, a maior dificuldade deste tipo de análise é encontrar o material adequado e as técnicas de fabricação para o modelo (CARNEIRO, 1996). Em estruturas especiais e em estruturas de pontes, tem se utilizado muito modelos no estudo de vibrações e do efeito das cargas dinâmicas nas estruturas. Tem sido comum o uso desses modelos para estudar problemas devido aos efeitos sísmicos e às ações de vento nas estruturas. Na Figura 3.2 são apresentados dois exemplos clássicos de modelos reduzidos para estudos da resposta dinâmica: estudo de caso da ponte de Tacoma Narrows e estudo em túnel de vento do complexo viário jornalista Roberto Marinho.

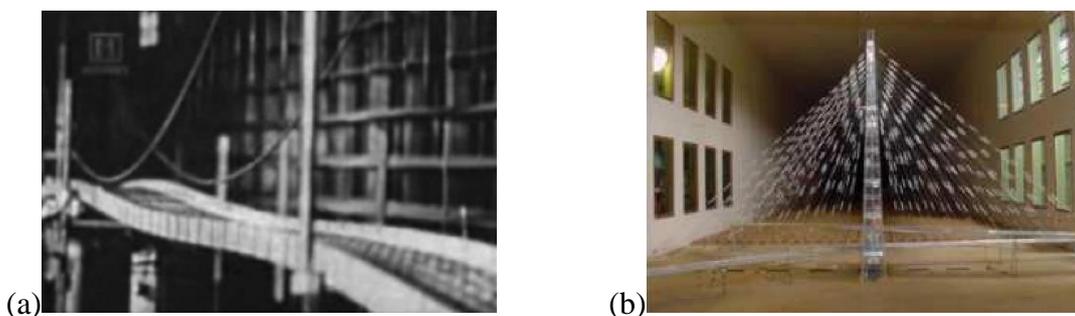


Figura 3.2: Modelos reduzidos para estudos da resposta dinâmica em pontes: (a) Ponte de Tacoma Narrows (OLIVEIRA, 2008); (b) Estudo em túnel de vento complexo viário Roberto Marinho (SOUZA et al., 2008).

3.1 Modelos reduzidos aplicados no ensino

É fundamental que os profissionais (Engenheiros e/ou Arquitetos) envolvidos com projetos estruturais, tenham a habilidade de visualizar e compreender o comportamento das estruturas em diferentes hipóteses de combinações das ações e carregamentos, intrínsecas e extrínsecas à estrutura (HILSON, 1972). Para isso, ainda no curso de graduação, é essencialmente necessário que os alunos devam desenvolver a percepção espacial intuitiva, para compreender o comportamento local e global de uma determinada estrutura, desde a primeira fase na Concepção Estrutural até a Obra já em serviço, a fim de idealizar o Projeto Arquitetônico aliado ao conhecimento e percepção da importância da otimização na modelagem da estrutura, visando além de obter os aspectos estéticos, garantir maior precisão na avaliação das condições de segurança e viabilidade econômica do empreendimento.

O uso de modelos reduzidos qualitativos aplicados no ensino do comportamento de estruturas é uma atividade complementar que vem sendo desenvolvida há mais de 70 anos como uma ferramenta didática de auxílio na aprendizagem. Segundo HARRIS et al.(1999) apud OLIVEIRA (2008), um dos primeiros a utilizar modelos estruturais para demonstrações em sala de aula foi RATHBUN, que em 1934 utilizou blocos de madeira presos por arames para demonstrar o comportamento de um arco. Porém, segundo TEIXEIRA (2016), atualmente no “ensino de engenharia, a exploração desta vertente intuitiva é deixada de certa forma para segundo plano. A exposição dos conceitos estruturais é feita quase exclusivamente por via analítica, menosprezando noções qualitativas”, o que dificulta a aprendizagem na compreensão dos conceitos teóricos.

Entretanto, graças a dedicação de alguns docentes, uma vertente acadêmica contemporânea em pesquisas tem defendido a importância da análise visual no comportamento de estruturas, através de modelos reduzidos qualitativos, como ferramenta de auxílio no ensino/aprendizagem nos cursos de graduação de Engenharia e de Arquitetura, citando-se como exemplos: HILSON (1972); SANTOS (1983); REBELLO (1992); PRAVIA (1995); SCHWARK (1996); RODRIGUES e HERMIDA (2006); OLIVEIRA (2008); SARAMAGO (2011); JAVARONI et al (2012); TEIXEIRA (2016), dentre outros.

PRAVIA a partir de 1994, com o intuito de aprimorar a didática de ensino nas disciplinas de aço e madeira, aplica trabalhos com construções de modelos reduzidos (Figura 3.3), com a finalidade de demonstrar o comportamento de sistemas de coberturas em estruturas de madeira, e relata que os resultados foram excelentes dados as respostas na motivação dos alunos ao utilizar tais modelos como aprendizado prático aliado ao teórico (PRAVIA, 1995).



Figura 3.3: Modelos qualitativos de estruturas: (a) Sistema de cobertura em madeira com treliças howe (PRAVIA,1995); (b) Bancada de ensaios usada na competição MINITRUSS na LESE/UPF.

DUPLAT et al (2008), realizam um trabalho de estudo de ponte treliçada do tipo Warren Modificada, com banzos paralelos, utilizando palitos de picolé e cola, onde os objetivos foram além da construção a realização de testes de carga, como parte dos requisitos do processo de avaliação da disciplina Resistência dos Materiais da UNICAMP (Figura 3.4).



Figura 3.4: Modelo de ponte treliçada do tipo Warren Modificada construído com palitos de picolé.
Fonte: (DUPLAT et al, 2008)

Segundo o Prof. MARGARIDO, no estudo das estruturas existem duas vertentes que devem ser seguidas, para que o aluno adquira a experiência, fundamental para conceber adequadamente uma estrutura: a da percepção intuitiva e a do conhecimento teórico de cálculo. Para isso, o professor deve desenvolver os conhecimentos teóricos ao mesmo tempo em que se desenvolve a percepção intuitiva do aluno (REBELLO, 2000).

É de conhecimento que cientificamente o cérebro humano é dividido seus hemisférios em funções distintas. No lado esquerdo, processam-se os raciocínios lógicos e analíticos, e no lado direito, os pensamentos intuitivos e sintéticos. Portanto, é fundamental que o profissional envolvido em projetos estruturais (Engenheiro e/ou o Arquiteto) encontre um equilíbrio entre a razão e intuição (BROHN, 1992) apud SCHWARK (1996). Uma referência bibliográfica muito interessante com abordagens ilustrativas sobre a concepção estrutural e a percepção visual do comportamento das estruturas é o livro “Sistemas Estruturais” de Heino Engel (2003).

Outro trabalho interessante realizado no Brasil é a COMPET, competição de pontes treliçadas de palitos de churrasco, organizada pelo PET/FECIV/UFU, realizada entre alunos de Engenharia Civil da Universidade Federal de Uberlândia-MG e demais universidades. O objetivo da COMPET é motivar nos alunos da graduação o desenvolvimento de habilidades como a criatividade, o trabalho em equipe e aplicação dos conhecimentos técnicos adquiridos, onde destacam-se a aplicação de conhecimentos básicos de mecânica das estruturas, resistência e propriedades dos materiais no projeto e execução dos protótipos com palitos de churrasco (COMPET, 2011).

JAVARONI et al (2012), publicaram no COBENGE 2012, o trabalho do projeto acadêmico intitulado de “INTERPONTES”, que consiste numa competição de modelos reduzidos de pontes executadas com palitos de churrasco e cola tipo epóxi, organizado pela PRO JUNIOR em parceria com a Engenharia Civil da UNESP de Bauru, SP, que apresenta o planejamento do evento desde sua primeira edição, os resultados obtidos e o efetivo interesse e participação como motivação no aprendizado dos alunos.

4. IDEALIZAÇÃO ORIGINAL DO MODELO REDUZIDO “ARCOS MLC”

A metodologia didática no ensino contemporâneo, aplicada nas disciplinas de Estruturas, tanto na Arquitetura quanto na Engenharia Civil, geralmente em muitas universidades no Brasil, as aulas ainda têm predominado o modelo tradicional, em que a exposição dos conceitos estruturais é feita quase exclusivamente via cálculos analíticos manuais, geralmente, menosprezando noções na exploração em análises visuais qualitativas, seja na resistência em aplicações de trabalhos com construções de modelos reduzidos mais representativos, seja na resistência ao uso de softwares estruturais profissionais, o que geralmente dificulta a aprendizagem na compreensão dos conceitos teóricos na vertente perceptiva-intuitiva, que tem sido deixada de certa forma para segundo plano.

Observa-se que essa resistência pode estar relacionada a alguns fatores. À resistência em aplicações de trabalhos com construções de modelos reduzidos bem mais representativos no seu

comportamento estrutural, mesmo que utilizando materiais com custos bem acessíveis, talvez seja pelo tabu em se tornar um trabalho muito árduo, numa época em que tem sido frequente a redução na carga horária das disciplinas, ou até mesmo pela falta de iniciativa ou percepção da importância desse complemento no ensino. Já quanto à resistência ao uso de softwares estruturais profissionais e/ou científicos, como ferramenta de auxílio no ensino em simulações com modelagens computacionais paramétricas gráficas e numéricas, muitas vezes, até pouco tempo atrás a justificava era plausível, pela dificuldade financeira de muitas universidades, na aquisição desses sistemas computacionais, que geralmente são de alto valor comercial. No entanto, felizmente, esse cenário tem mudado, mesmo que lentamente, pois muitas empresas de softwares profissionais e/ou científicos, já perceberam essa problemática, e têm disponibilizado licenças temporárias gratuitas ou com valores simbólicos bem acessíveis, para universidades, pesquisadores e estudantes, no intuito de contribuir como uma ferramenta de apoio ao ensino, em trabalhos acadêmicos e em projetos de pesquisas sem fim comercial.

Diante desse contexto, BRITO (2016) tem desenvolvido um trabalho didático original, com aplicações práticas em sala de aula na disciplina de Arquitetura em Madeira, na idealização e montagem de elementos estruturais reduzidos “MLC”, confeccionados com peças sobrepostas de palitos laminados de madeira (palitos de picolé), unidos por colagem com adesivo instantâneo, que simulam de forma bem aproximada às características físicas e geométricas, nas formas das lamelas de elementos estruturais de vigas, de pilares e de arcos de Madeira Laminada Colada (MLC). As Figuras 4.1 a 4.6 demonstram idealização desse modelo, os elementos constituintes e o processo de montagem.

4.1 Elementos constituintes e montagem do modelo reduzido “ARCOS MLC”

Para a idealização e montagem do modelo em escala reduzida das “VIGAS MLC” (terças), assim como dos “ARCOS MLC”, foram utilizados palitos laminados de madeira (palitos de picolé), sobrepostos unidos por colagem, observando o posicionamento das lamelas, a fim de simular de maneira mais aproximada possível, a geometria e as propriedades físicas de resistência e elasticidade na caracterização e composição dos materiais, na intenção de promover uma representação das rigidezes das peças de madeira similar aos das rigidezes efetivas que seriam em elementos estruturais como esses numa estrutura MLC em escala real (modelo real). Para a colagem lamelas de palito de madeira foi utilizada cola do tipo adesivo instantâneo (Figuras 4.1 e 4.2).

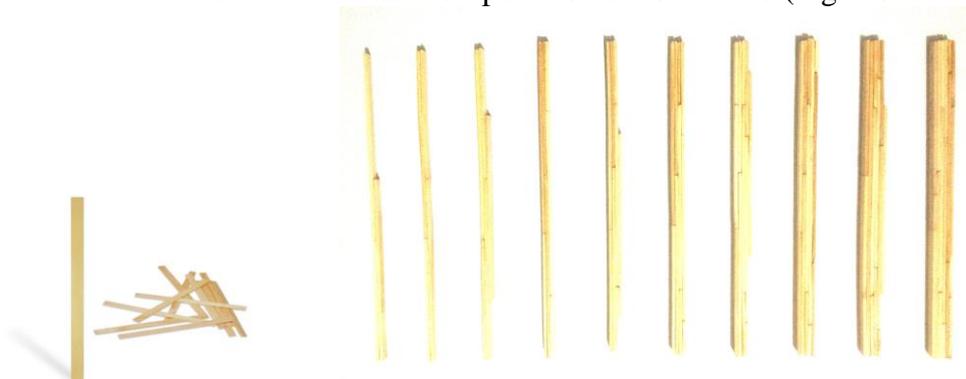


Foto: (BRITO, 2016)

Figura 4.1: Processo de montagem: elementos estruturais reduzidos “ARCOS MLC”.

Para a representação das rótulas de topo dos arcos triarticulados, foram utilizadas cantoneiras metálicas para móveis, fixadas com parafusos, conectores e arames (Figura 4.3).



Foto: Autores

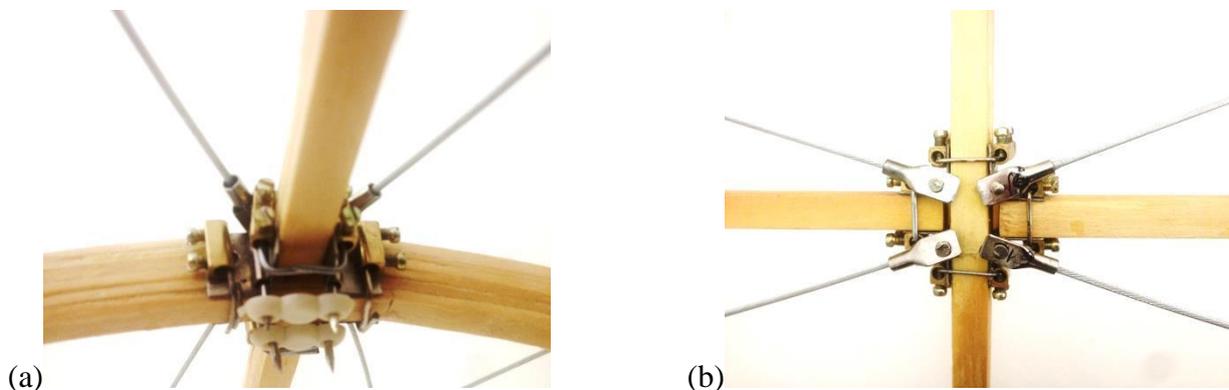
Figura 4.2: Processo de montagem: modelo reduzido “ARCOS MLC”.



Foto: (BRITO, 2016)

Figura 4.3: Elementos constituintes: ligações rótulas de topo.

A fim de representar os elementos de ligações das terças aos arcos foram utilizadas dobradiças metálicas de 10mm x 10mm (Figura 4.4a). Como solução para uma representação ideal na simulação do sistema de contraventamento foram utilizados cordoalhas de aço de 1,4mm de diâmetro, com terminais de compressão para fios fixados em ambas extremidades, simulando os conectores com olhais para articulação (Figura 4.4b). Como recurso para ligar os conectores olhais (das extremidades das cordoalhas de aço) às dobradiças, promovendo as articulações ideais, foram utilizados pregos de aço 08x08.



Fotos: (BRITO, 2016)

Figura 4.4: Elementos constituintes: ligações com terminais articulados, fixados nas extremidades das cordoalhas de aço de 1,4mm de diâmetro, que compõem o sistema de contraventamento da estrutura.

Com a intenção de representar o comportamento de rótulas, nas placas de base foram utilizados, cantoneiras metálicas e terminais de alumínio, fixados com parafusos e arruelas em peças de plástico e MDF (Figura 4.5).

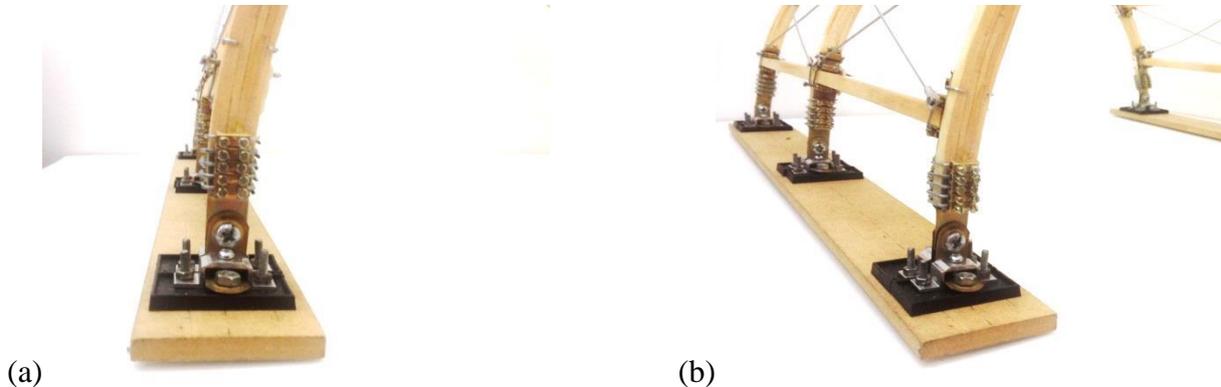


Foto: (BRITO, 2016)

Figura 4.5: Elementos constituintes: rótulas nas placas de base foram utilizados, cantoneiras metálicas e terminais de alumínio, fixados com parafusos e arruelas em peças de plástico e MDF.

Para o estudo foram apresentados exemplos práticos, para auxílio didático em sala de aula, com hipóteses de aplicação de carga concentrada pontual no modelo reduzido, a fim de obter uma pré-avaliação do comportamento das cordoalhas de aço (comprimidas; tracionadas) no sistema de contraventamento, e promover o “O feling” dos alunos do comportamento de estruturas especiais de ARCOS MLC, submetidas a ações horizontais (exemplo: avaliações hipóteses de deformações e do comportamento global da estrutura, simulações de ações de vento). Com o Modelo reduzido proposto, é possível fazer simulações qualitativas do comportamento físico, em dois tipos de modelos arquitetônicos parametrizados, de sistema estrutural tridimensional com: arcos abatidos (Figura 4.6a); e arcos mouriscos (Figura 4.6b).



Foto: (BRITO, 2016)

Figura 4.6: Modelo reduzido “Arcos MLC” simulações qualitativas do comportamento físico do sistema estrutural tridimensional com: (a) arcos abatidos; (b) e arcos mouriscos.

O modelo reduzido idealizado “ARCOS MLC” tem como objetivo essencial, auxiliar o aluno (a) numa pré-avaliação, a percepção do caminho dos esforços axiais de tração e de compressão, observando as deformações das cordoalhas de aço do sistema de contraventamento e o comportamento da estrutura, com exemplos de simulações, em certas hipóteses básicas de ações

horizontais, em função da intensidade e posição de uma carga concentrada hipotética, aplicada numa determinada região pontual na estrutura.

4.2 Modelo computacional paramétrico para simulação numérica

Para validação qualitativa foram comparadas as deformadas no modelo reduzido, em função da posição de aplicação de uma carga concentrada hipotética, validando-as com os resultados obtidos a partir modelagem computacionais paramétrica, supondo o sistema estrutural com arcos abatidos, para simulações gráficas e numéricas, com auxílio do software de análise estrutural Dlubal RSTAB 8.06 [sob a licença temporária para estudantes/universidades (LaMEM/SET/EESC/USP)], a fim de compatibilizá-las o mais próximo possível do que seria o comportamento de uma estrutura real (modelo real) como essa.

Como exemplificação, demonstra-se um estudo básico de avaliações qualitativas/intuitivas, a fim de facilitar a compreensão dos alunos(as) no entendimento do comportamento real de estruturas em ARCOS MLC, submetida, por exemplo, a certas hipóteses básicas de cargas horizontais oriundas de ações de vento (Figura 4.7).

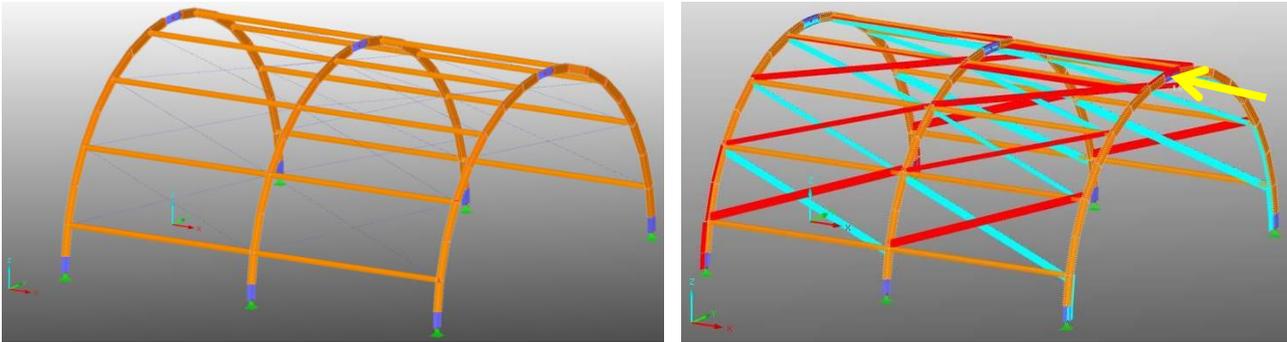


Figura 4.7: Exemplo de simulação com carga concentrada horizontal aplicada no topo do arco 3: (a) modelagem computacional paramétrica, admitindo o sistema estrutural com arcos abatidos; (b) resultado gráfico dos esforços axiais de tração e de compressão, nos tirantes do sistema de contraventamento, gerados na análise estrutural no Dlubal RSTAB 8.06. Fonte: (BRITO, 2016)

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esse trabalho foi resultado de sucesso numa idealização original com incentivo e motivação em uma inovação didática na metodologia de ensino, desenvolvida e aplicada em trabalhos práticos em sala de aula, na disciplina de Estruturas de Madeira no curso de Arquitetura e Urbanismo.

Os resultados visualmente observados das deformadas constaram que o comportamento do modelo reduzido é realmente similar ao comportamento de uma estrutura real, que pôde ser validado com auxílio modelo computacional gráfico.

Essa validação dos resultados sugere elaborar alguns exercícios didáticos na aplicação da maquete estrutural para a pré-avaliação do comportamento de estruturas de ARCOS MLC com o objetivo de demonstrar o quão é versátil a aplicação desse modelo no ensino de graduação na Arquitetura, em sala de aula.

Conforme visto, no estudo das estruturas existem duas vertentes que devem ser seguidas, para que o aluno(a) absorva o conceito adquira uma certa experiência, essencial para conceber adequadamente uma determinada estrutura: a do conhecimento teórico de cálculo e a da percepção intuitiva. Para isso, é fundamental que o professor envolvido no ensino de análise de estruturas deva transferir o conhecimento teórico ao mesmo tempo em que se deve desenvolver a percepção intuitiva do aluno.

O resultado desse trabalho, sugere-se uma mudança na metodologia de ensino contemporâneo das disciplinas vinculadas a Área de Estruturas, implementando uma metodologia didática aplicada, complementada com trabalhos efetivamente práticos em sala de aula, a fim de motivar e promover uma efetiva compreensão do aluno no comportamento das Estruturas. Para isso, a aplicação de trabalhos práticos com modelos reduzidos qualitativos e intuitivos aliando a análises com simulações gráficas e numéricas/computacionais, pode ser uma ferramenta didática interessante, essencial para o bom aprendizado e desenvolvimento intelectual na percepção intuitiva do aluno, que é “O feling”.

O reconhecimento desse trabalho é parte de uma inovação didática na metodologia de ensino desenvolvida e aplicada pelo Prof. Leandro Dussarrat Brito no Curso de Arquitetura e Urbanismo, onde os resultados obtidos e o efetivo interesse dos alunos tem a acrescentado um incentivo motivador no aprendizado e desenvolvimento na percepção intuitiva sobre o comportamento das estruturas especiais em Madeira Laminada Colada (MLC).

AGRADECIMENTOS

À Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais Campus Poços de Caldas, segue nossos agradecimentos ao Curso de Arquitetura e Urbanismo, direcionados ao Coord. Prof. Luiz Paulo Cobra Monteiro, ao Coordenador de Atividades Complementares Temáticas Prof. Antônio Carlos Rodrigues Lorette, pela aceitação, compreensão e incentivo em publicar esse trabalho, e ao Ralph Landi responsável pelo laboratório de Maquetaria. A Dlubal pela fundamental iniciativa em disponibilizar licenças temporárias de softwares para pesquisadores, estudantes/universidades, no intuito de contribuir como ferramenta de apoio ao ensino, em projetos de pesquisa e em trabalhos acadêmicos. Aos Presidentes e Colaboradores da Comissão Organizadora, do Comitê Diretivo, do Comitê Científico e a Universidad Nacional del Noroeste de Buenos Aires, UNNOBA por proporcionar o CLEM+CIMAD 2017.

REFERÊNCIAS

- [1] BAZZO, W. A.; PEREIRA, L. T. V. Introdução à Engenharia. 6ª Edição, DAUFSC. ISBN 85-328-0091-2. Florianópolis (2003).
- [2] CARNEIRO, Fernando Lobo. Análise dimensional e teoria da semelhança e dos modelos físicos. 2. ed. Rio de Janeiro: Editora UFRJ, 1996.
- [3] COMPET (2011). Competição de pontes treliçadas de palitos de churrasco e outros materiais. Disponível em: <<<http://www.petcivil.feciv.ufu.br/compet>>> Acessado em 08/12/2016.
- [4] DUPLAT, D. N et al. Estudo de ponte articulada do tipo Warren Modificada utilizando palitos de picolé. Trabalho de Resistência dos Materiais EM423, Engenharia Mecânica, UNICAMP. Campinas, 2008.
- [5] ENGEL, H. Sistemas Estruturais. Ed. GG (Gustavo Gili). Barcelona, 2003.
- [6] FRANÇA FILHO, L; LINDENBERG NETO, H. Resistência dos materiais com descrição, modelos e história dos conceitos. COBENGE 2004, Congresso Brasileiro de ensino de Engenharia, Brasília, 2004.
- [7] HARRIS, H. G.; SABINS, G. M. Structural modeling and experimental techniques. 2nd ed. CRC Press LLC. Florida, 1999.
- [8] HILSON, B. Basic structural behaviour via models. Crosby Lockwood. London, 1972.
- [9] HOSSDORF, Heinz. Model analysis of structures. Van Nostrand Reinhold. New York, 1974.
- [10] OLIVEIRA, M. S. Modelo estrutural qualitativo para pré-avaliação do comportamento de estruturas metálicas. Dissertação (Mestrado) Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 2008.
- [11] PRAVIA, Z. M. C.; BORDIGNON, R. Modelos intuitivos para ensino de estabilidade das estruturas. In: Anais COBENG 2000, Ouro Preto, 2000.
- [12] PRAVIA, Z. M. C.; ORLANDO, D. Modelos qualitativos de treliças planas: construção e aplicação no ensino da análise e comportamento estrutural. In: Anais COBENGE 2001.

- [13] PRAVIA, Z. M. C. A Construção permanente do laboratório de ensaios em sistemas estruturais (LESE) da Universidade de Passo Fundo. In: Anais COBENGE 2003.
- [14] PRAVIA, Z. M. C. A.; DREHMER, G. A.; DELLA VECHIA, A. F. Modelo qualitativos do comportamento da estabilidade lateral de treliças planas. In: COBENGE 2004.
- [15] REBELLO, Y. C. P. Contribuição ao ensino de estruturas nas escolas de arquitetura. Dissertação (Mestrado) Faculdade de Arquitetura e Urbanismo de São Paulo. São Paulo, 1992.
- [16] RODRIGUES, P. F. N.; HERMIDA, A. S. Modelagem de elementos básicos de estruturas para a análise qualitativa do comportamento estrutural. Revista de Ciência e Tecnologia, Universidade Iguazu, V. 6, n. 1, jun. 2006.
SANTOS, J. A. Sobre a concepção, o projeto, a execução e a utilização de modelos físicos quantitativos na engenharia de estruturas. Departamento de Engenharia de Estruturas da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1983.
- [17] SARAMAGO, R. C. P. Ensino de estruturas nas escolas de Arquitetura no Brasil. Dissertação (Mestrado) Arquitetura e Urbanismo, Escola de Engenharia de São carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2011.
- [18] SCHWARK, M. P. Sugestões para um curso intuitivo de teoria das estruturas. Dissertação (Mestrado) Engenharia, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1996.
- [19] SOUZA, A. M. L.; ROCHA, M. M.; NÚNES, G. J. Z.; CARPEGGIANI, E. A.; PALUCH, M. Estudo em túnel de vento da resposta dinâmica do complexo viário jornalista Roberto Marinho. In: Jornadas Sudamericanas de Ingenieria Estructural, Santiago, 2008.
- [20] TEIXEIRA, G. A. S. Análise de estruturas porticadas através de modelação física. Dissertação (Mestrado) Engenharia Civil / Estruturas. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2016.
- [21] VIEIRA, I. A. Sugestões para o ensino de estruturas ao arquiteto. In: Encontro de Professores de Estrutura para Escolas de Arquitetura. Ed. FAU USP. São Paulo, 1974.
- [22] ZANETINI, S. Aspectos do ensino de estruturas para arquitetos. In: Encontro de Professores de Estrutura para Escolas de Arquitetura. Ed. FAU USP. São Paulo, 1974.