

AVALIAÇÃO DE MODELOS ESTRUTURAIS TRELIÇADOS COMO PRÁTICA NO APRENDIZADO EM MECÂNICA GERAL

Cláudio Silva Soares¹
Marcos Antônio Barros²

RESUMO

No anseio por se depurar o processo de ensino e aprendizagem, a partir de metodologias ativas, esta pesquisa parte da premissa que, nas disciplinas do curso de engenharia Civil, em especial Mecânica Geral, os alunos se deparam com a necessidade de projetar diversos componentes ou sistemas mecânicos, saindo das figuras representativas e estáticas dos livros, sobre a qual eles calculam momentos fletores e esforços cortantes, para algo mais concreto em que eles possam “vislumbrar” os esforços ali calculados, compreendendo seus significados, em associação aos conhecimentos teóricos adquiridos nessas disciplinas. Na presente pesquisa, foi sugerida aos estudantes da disciplina de Mecânica Geral a confecção de modelos didáticos reduzidos, do tipo sistemas mecânicos treliçados, utilizando-se dos materiais com baixo custo, do tipo palito de picolé, para que, a partir de uma carga concentrada, fosse possível calcular os esforços internos nos elementos treliçados, identificar elementos em compressão ou tração, bem como esboçar os diagramas de esforço cortante e momento fletor. Todos os modelos apresentados em sala aula foram inicialmente pensados a partir do “Mola Structural Kit”, calculados manualmente e com o uso do software Ftool, para depois serem aplicados aos modelos com uso de palitos. Ao final das apresentações, utilizando-se dos critérios qualitativo e quantitativo, como beleza estrutural, determinação do esforço cortante, momento fletor e os seus respectivos diagramas, os trabalhos foram avaliados. Desta forma, conclui-se que a aplicação dos modelos qualitativos evidenciou o desenvolvimento dos conteúdos teóricos relacionados à disciplina de Mecânica Geral de forma mais motivante, a exemplo do uso de treliças com palitos de picole, associado à metodologia centrada na experimentação concreta e visual, e tornou os alunos mais participativos e criativos.

Palavras-chave: Pontes, Treliças, Ferramenta Didática.

INTRODUÇÃO

A disciplina Mecânica Geral representa a base da fundamentação teórica e prática para a formação gradual de um engenheiro civil, formando os conhecimentos necessários para a solução de problemas reais em disciplinas posteriores, assim como para o contexto do profissional. Essa integração disciplinar, capitaneada por ações proativas, permite motivação,

¹ Graduando do Curso de Engenharia Civil da Unifacisa, claudioccauepb@gmail.com;

² Professor Doutor, Unifacisa – Centro Universitário - Departamento de Engenharia Civil, marcos_fis@hotmail.com

envolvimento e, portanto, maior rendimento acadêmico que, conseqüentemente, reduz o índice de reprovação e evasão na área.

Hoje já entendemos que, em qualquer área de conhecimento, para um bom aprendizado, o conteúdo deva ser transmitido de forma racional, partindo dos assuntos mais simples aos mais complexos. No entanto, Barros *et al.* (2018) ressaltam que, na maioria das vezes, isso não acontece na prática das disciplinas em questão, uma vez que grande parte dos professores cuida exclusivamente dos aspectos quantitativos, deixando o conhecimento qualitativo em segundo plano.

Quando se analisa didaticamente esse processo de aprendizado nos cursos de engenharia, é notado que uma aula dinâmica, aparentemente informal e descompromissada com livros didáticos e roteiros, com certeza, rende muito mais e gera mais resultados positivos em comparação com uma aula formal (ROCHA *et al.*, 2017). Partindo desse pressuposto, entende-se que os resultados didáticos que fogem do habitual, com a demonstração prática do que é ensinado, alcançam melhores efeitos em um estimado período.

Neste sentido, Margarido (2007) comenta que o treino com os modelos qualitativos/quantitativos é extremamente importante para a bagagem do futuro engenheiro, pois, antes deste aluno ser um calculista de estrutura, ele deverá ser o arquiteto que, ao conceber o projeto, sinta a estrutura que dará o esqueleto a sua obra.

De acordo com Lobosco & Câmara (2018), esses modelos apresentam certa flexibilidade construtiva, pois são construídos para a observação da mecânica estrutural, a partir de suas deformações, logo, precisam ser capazes de evidenciar o comportamento estrutural, através da visualização das deformações apresentadas pela montagem.

Desta forma, quando se toma essas afirmações como referência para o atual momento de reflexão, em especial no curso de Engenharia Civil, acredita-se que a implementação dessas metodologias ativas possibilita aos alunos uma melhor compreensão dos aspectos teóricos vistos em sala de aula.

Sendo assim, quando se propõe dinamizar suas disciplinas, tomando como base os aspectos experimentais possíveis de serem elaborados nos laboratórios ou em sala de aula, proporciosa-se uma aprendizagem diferenciada, como preconiza esse tipo de metodologia (Barros *et al.*, 2018).

Os protótipos elaborados no *Mola Structural Kit* (Oliveira, 2008), projetados e executados em sala de aula, durante explicação dos conceitos teóricos necessários ao desenvolvimento do projeto, dinamizaram o processo de ensino e aprendizagem, quanto a

alguns aspectos que dizem respeito a estruturas mecânicas e suas características, inerentes às disciplinas de Mecânica Geral e Estrutura, ao tempo que desenvolveu a intuição dos alunos, a respeito da confecção de modelos diferentes dos que já haviam sido apresentados. Por outro lado, o uso de ferramentas virtuais, do tipo *Ftool*, facilita os cálculos realizados, bem como mostra, graficamente, como a estrutura se comporta. Notadamente, essa associação, apesar da limitação do tempo, permitiu aos estudantes “ver” os deslocamentos e deformações em cada elemento estrutural, calcular seus esforços internos, tornando, didaticamente, mais compreensível o seu comportamento, proporcionando resultados positivos, no aprendizado, como foi observado no entusiasmo final de cada apresentação.

Partindo dessa premissa, a pesquisa em questão apresenta como objetivo geral, a elaboração de sistemas mecânicos treliçados (pontes) que auxiliem no processo de ensino e aprendizagem da disciplina de Mecânica Geral.

Uma ferramenta que vem ajudando nesse aprendizado é a utilização de modelos qualitativos, muitos deles vendidos comercialmente ou feitos pelos próprios professores e alunos. Exemplificando como esses modelos ajudam o aluno a entender, de forma mais prática, pode-se imaginar a estrutura de uma edificação formada pela associação das diversas barras de sustentação, e como funcionam os vínculos externos e internos para garantir sua estabilidade, o que também torna a aula mais prática e participativa, porém não permitem a comparação de resultados obtidos por cálculos em sala de aula (como reações, esforços internos solicitantes e deslocamentos) com o observado no modelo (MOURA *et al.*, 2016).

METODOLOGIA

Este experimento foi realizado com os alunos do curso de Engenharia Civil da UNIFACISA, no período de abril a maio de 2019, onde os alunos foram reunidos em grupos de quatro para confecção de kits experimentais que possibilitaram a modelização dos sistemas mecânicos, discutidos em sala de aula, do tipo pontes treliçadas. A metodologia usada, nesta pesquisa, voltou-se para integralização de alguns dos conhecimentos teóricos vislumbrados na disciplina de Mecânica Geral, a exemplo de momento fletor e esforço cortante, com os possíveis aspectos práticos que esses mesmos conhecimentos possam proporcionar, a partir da utilização de estruturas estáticas e reduzidas, próximas de modelos reais. Esses modelos, aqui chamados de qualitativos, auxiliam na pré-visualização do seu comportamento, enquanto

permitem desenvolver, através da vivência dos ensaios, um sentimento intuitivo do comportamento dos sistemas estruturais.

Cada grupo de alunos ficou livre para escolher o tipo de treliça, conforme pode-se observar na figura 01.

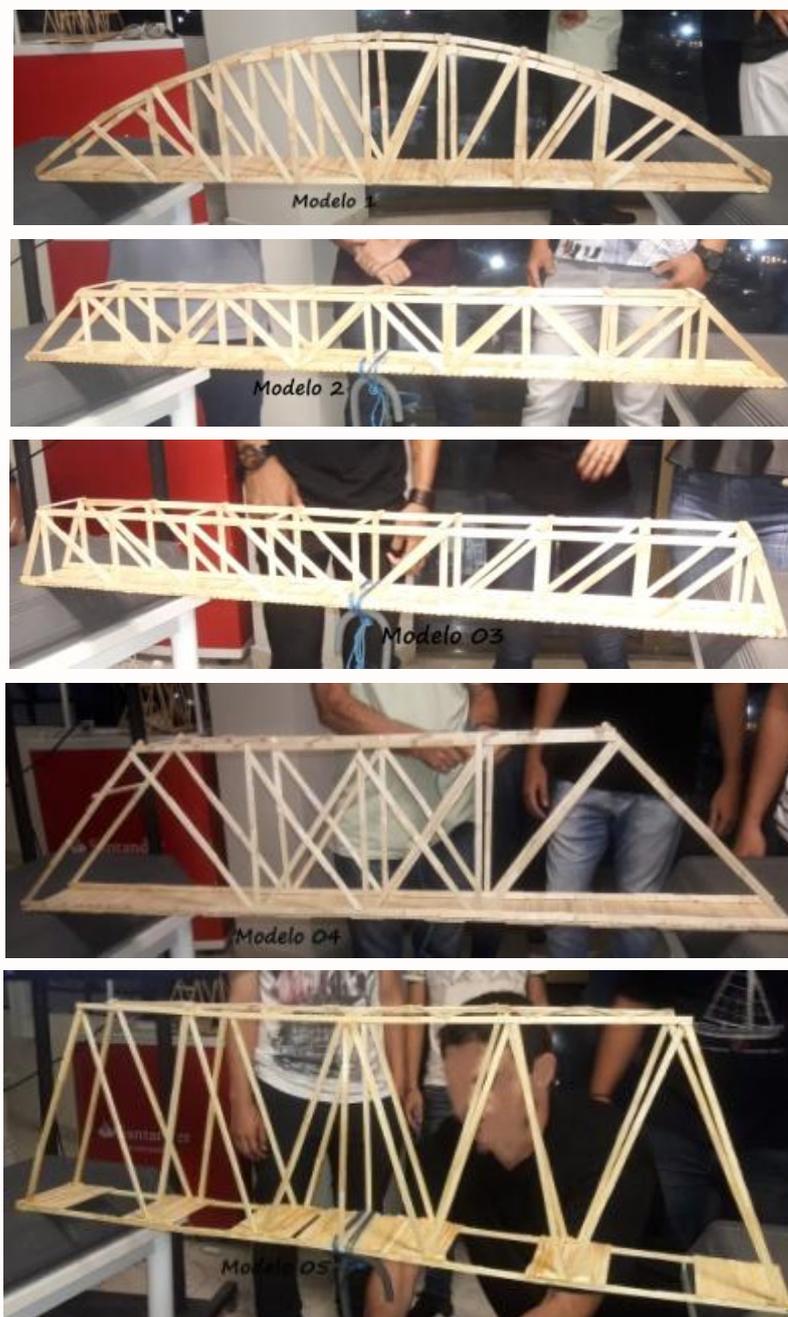


Figura 1. Modelos (1,2, 3,4,5) de pontes utilizadas no experimento. Fonte: os autores.

Na primeira etapa deste trabalho, foram escolhidas algumas estruturas, a exemplo de treliças simples, que permitiram a fixação dos conhecimentos adquiridos, ao longo do desenvolvimento da disciplina Mecânica Geral, especificamente, utilizando-se de assuntos

que possibilitaram aos alunos o cálculo de esforços internos e momentos, para futuras aplicações na construção dos aparatos treliçados, visando a construção de uma ponte feita a partir de palitos de picolé.

Com o uso do *Mola Structural Kit* (Oliveira, 2008), foram desenvolvidos alguns modelos treliçados em sala de aula, similar ao que encontramos em Beer *et al.* (2015). Usando uma carga externa de valor variável e de acordo com cada treliça pensada no programa, foi pedido que cada grupo calculasse os esforços internos nos seus diversos elementos, mostrando se havia compressão ou tração, além de calcular as reações nos apoios.

Com a finalidade de se obter um grau de confiabilidade maior dos cálculos realizados de forma usual (manual), realizou-se em sala de aula todo procedimento de cálculo com auxílio do software *FTOOL* (MARTHA, 2012), para a obtenção de valores relativos às trações e compressões dos elementos da treliça, valores das reações de apoio, esforço cortante e normal, momento fletor e as possíveis deformações.

A avaliação de cada estrutura construída e apresentada levou em consideração alguns critérios qualitativos (arquitetura, tipos de treliças) e quantitativos (cálculo dos esforços internos e resistência à carga externa concentrada), objetivando sinalizar para a qualidade dos modelos de pontes construídas.

Antes da realização do processo de colagem dos modelos reduzidos, foi preciso realizar algumas simulações no software *FTOOL* e no *Structure Mola Kit* (Oliveira, 2008), no sentido de se obter o melhor design da ponte. Para a sua construção, realizou-se uma minuciosa seleção dos palitos, já que esses não apresentavam uniformidade.

Na confecção das pontes, foram utilizados os seguintes materiais com baixo custo de aquisição:

- a) Papel milimétrico;
- b) Lápis;
- c) Cola para madeira;
- d) Palitos de picolé;
- e) Régua e trena.

Os palitos utilizados nas treliças possuem as seguintes dimensões: 115 mm de comprimento, 2,0 mm de espessura e 8,4 mm de largura. A resistência do palito à tração é de 90 kgf ou 882,9 N. Sua resistência à compressão é de 4,9 kgf ou 48,07 N. Já a resistência à compressão de uma composição formada por dois palitos de 110 mm é de 27 kgf ou 264,87

N. As juntas para as barras foram feitas com emenda por superposição de três palitos. As pontes em questão teriam que apresentar comprimento de 1,10 m e altura máxima de 0,30 m.

Para fins de avaliação dos modelos de pontes apresentados pelos alunos, foram levados em consideração o peso, a carga concentrada suportada e a eficiência da ponte. A carga concentrada foi determinada colocando-se pesos no centro de gravidade de cada modelo de ponte até se obter seu completo colapso. Já a eficiência de cada modelo foi determinada através da equação 01.

$$E_f = \frac{\text{carga concentrada}}{\text{peso da ponte}} \quad \text{Eq. 01}$$

Os dados dos parâmetros foram submetidos à análise de variância pelo teste F a 5% de probabilidade. Também foi realizada análise de regressão para os parâmetros quantitativos (doses de adubo) em cada parâmetro. A análise estatística foi realizada no programa SISVAR (Ferreira, 2014).

DESENVOLVIMENTO

Há tempos que o processo didático pedagógico, principalmente, na área de engenharia, apresenta algumas necessidades que precisam sanadas, com a finalidade de o aluno absorver de forma mais eficiente o conteúdo ministrado por professores, uma vez que na sua maioria, estes não possuem disciplinas de formação pedagógica em seus cursos de formação.

Muitas vezes essas necessidades são representadas pela falta da associação entre teoria e prática, ocorridas devido à ausência de interdisciplinaridade dentro dos cursos, ou seja, muitas disciplinas estritamente teóricas deixam de ser exploradas, de forma a incitar, no aluno, uma visão de aplicação prática em outras disciplinas ou, até mesmo, no exercício do futuro profissional engenheiro. Aliado a isso, a grade curricular dos cursos de engenharia civil possuem muitas disciplinas com carga horária, quase na sua totalidade, abrangendo bastante teoria e, na maioria das vezes, poucas aulas práticas, devido a uma base curricular desatualizada e muito aquém das necessidades atuais.

Desta forma, é de fundamental importância que os profissionais envolvidos na concepção dos projetos estruturais tenham habilidade de visualizar e compreender o comportamento da referida estrutura em diferentes hipóteses de combinações das ações e

carregamentos e, assim como comentam Barros *et al.* (2018), até mesmo como funcionam os vínculos externos e internos, permitindo a comparação de resultados obtidos em cálculos em sala de aula (como reações, esforços internos solicitantes, momento fletor).

Neste sentido, Brito *et al.*, (2017) comentam que, para isso, é essencialmente necessário que os alunos devam desenvolver a percepção espacial intuitiva, para compreender o comportamento local e global de uma determinada estrutura, a fim de idealizar o projeto arquitetônico aliado ao conhecimento e percepção da importância da otimização na modelagem da estrutura.

No entanto, segundo Teixeira (2016), atualmente no ensino de engenharia, a exploração desta vertente intuitiva é deixada de certa forma para segundo plano, já que 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 por parte dos alunos.

Dentre os modelos existentes, há os qualitativos, a exemplo do que foi utilizado nesta pesquisa (OLIVEIRA, 2008), os quais permitem ao estudante de engenharia a habilidade de visualizar e compreender o comportamento das estruturas em diferentes circunstâncias, como cargas laterais, verticais, inclinadas, e o modo como a forma da estrutura vai influenciar no seu comportamento.

Segundo observações feitas por Barros *et al.* (2018), esse sentimento, na fase da concepção estrutural e na de escolha da forma dos elementos a serem utilizados, ajuda o aluno a entender, de forma mais prática, como a estrutura é formada, como trabalha cada elemento que a compõe.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados do teste de Tukey (Tabela 1) revelaram diferenças estatísticas entre os modelos estruturais das pontes de palito de picolé, para todas as variáveis analisadas.

Na variável peso da ponte, pode-se verificar que o modelo 01 apresentou maior valor quando comparado aos demais modelos, em virtude deste apresentar um maior reforço com o aumento do número de palitos de picolé e cola. Por outro lado, esse mesmo modelo apresentou menor capacidade de suporte de carga concentrada e menor eficiência.

Isso reforça o pressuposto que, em alguns casos, não adianta aumentar a quantidade de palitos ou outros materiais, pois se o projeto não for bem elaborado, esse peso pode atuar como mais uma carga que a estrutura terá que suportar.

Embora o modelo 01 tenha apresentado o segundo maior peso, este apresentou a maior capacidade de suporte de carga concentrada e maior eficiência. Esse fato pode ter ocorrido devido à eficiente concepção de seu projeto estrutural (Figura 1), já que o mesmo foi elaborado em forma de arco, pois Pérez-Fadón (2005) comentam que os Sumérios, por volta de 3.500 a.C., no vale do rio Eufrates, já colocavam pedras formando um arco para que essas trabalhassem à compressão e não à flexão como nas vigas.

Neste sentido, Calisto (2011) reforça que o arco, com sua forma que acompanha a linha de pressões, devido ao seu próprio peso, é o tipo estrutural mais adequado aos materiais de construção maciços. Desta forma, os alunos puderam confirmar essa teoria com auxílio do modelo de palito de picolé confeccionado por eles.

Tabela 1. Resultados do teste de Tukey para peso, carga concentrada suportada e eficiência dos modelos de pontes de palito de picolé.

Ponte	Peso (kg)	Carga suportada (kg)	Eficiência
Modelo 01	0,418 <i>b</i>	42,0 <i>a</i>	100,0 <i>a</i>
Modelo 02	0,353 <i>e</i>	26,0 <i>b</i>	73,65 <i>b</i>
Modelo 03	0,379 <i>d</i>	15,0 <i>c</i>	39,58 <i>c</i>
Modelo 04	0,397 <i>c</i>	09,0 <i>d</i>	22,67 <i>d</i>
Modelo 05	0,430 <i>a</i>	06,0 <i>e</i>	13,95 <i>e</i>

Numa perspectiva didática deste trabalho, é importante salientar que a determinação destes dados é de extrema importância, pois quando se trabalha com modelos representativos, o aluno pode extrapolar os cálculos para os demais materiais utilizados nas edificações de tamanho e material em escala natural.

Essa idéia é corroborada por Moura *et al.* (2016), quando ressaltam a possibilidade de comparação de resultados calculados em modelos, utilizando as teorias da resistência dos materiais e das estruturas, auxiliando assim no aprendizado, uma vez que permite apresentar bases teóricas dos problemas aos alunos, aplicá-las na resolução de exercícios e comprová-las com a comparação daquilo calculado ao que foi medido no modelo.

A ideia de que os modelos, utilizados nas aulas práticas, trazem muitos benefícios ao processo de aprendizagem dos alunos é reforçada por Anastasiou & Alves (2012), quando comentam que estes alunos não, apenas, memorizam conteúdos e processos de cálculo, mas

também podem entender e compreender o conteúdo, além de ajudar a introduzi-los no método científico.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após aplicação das cargas concentradas em cada modelo de ponte de palitos, os grupos de alunos relataram sobre os esforços calculados com auxílios do software FTOOL, em comparação àquilo observado durante aplicação das cargas concentradas. Essa ferramenta computacional, usada após o cálculo manual, torna mais prático o trabalho do engenheiro estrutural, vindo a executar corretamente diagramas e informando as reações de apoio. Também foi verificado pelos alunos que, sistemas e softwares não são capazes de substituírem o ser humano por completo, pois apenas as pessoas são capazes de analisar as estruturas com subjetividade, assim como as consequências que essas trarão.

Os alunos puderam observar esses traços qualitativos nos modelos das pontes de palito, as quais ofereceram uma ferramenta didática com grande potencial para facilitar o processo de aprendizado dos conceitos, métodos e cálculo utilizados no estudo de estruturas.

Também foi observado que, durante o processo, os alunos trabalharam com entusiasmo e motivação, desempenhando, em cada unidade, um papel de agente do processo de aprendizagem, interagindo com o professor, com os demais componentes do grupo e de outros grupos, num diálogo que priorizou a construção do conhecimento.

Desta forma, conclui-se que a aplicação dos modelos qualitativos evidenciou o desenvolvimento dos conteúdos teóricos relacionados à disciplina de Mecânica Geral de forma mais motivante, a exemplo do uso de treliças com palitos de picole, associado à metodologia centrada na experimentação concreta e visual, e tornou os alunos mais participativos e criativos.

REFERÊNCIAS

ANASTASIOU, L. G. C.; ALVES, L. P. **Processos de Ensino na Universidade: pressupostos para estratégias de trabalho em aula**. 10ª Ed. Univille, 2012.

BARROS, M.A.; SILVA, L.G.S.; SOUZA, A.L.A.P.; CRISPIM, E.C.S. Sistemas mecânicos treliçados para auxiliar o aprendizado prático em mecânica geral. In: XLVI CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA, 2018. **ANAIS**. Salvador, 2018.

BEER, F. P.; DEWOLF, J. T. **Mecânica dos materiais**. 7ª Ed. Porto Alegre: AMGH, 2015.

(83) 3322.3222

contato@conapesc.com.br

www.conapesc.com.br

BRITO, L.D.; SANTOS, I.B.J.; RIBEIRO, J.L.; CARVALHO, L.V.; SANGALETTI LOPES, M.R. Modelo reduzido qualitativo aplicado no ensino para pré-avaliação do comportamento de arcos triarticulados em sistemas estruturais MLC. II CONGRESSO LATINOAMERICANO DE ESTRUTURAS DE MADERA, 2017. **ANAIS**. Buenos Aires, 2017.

CALISTO, P.M.S. **Projecto de uma Ponte em Arco entre as Ribeiras de Porto e Gaia**. Dissertação (Mestrado) Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2011.

FERREIRA, D. F. Sisvar: A guide for its bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciência e Agrotecnologia**, v.38, p.109-112, 2014.

LOBOSCO, T.; CÂMARA, D. C. Desenvolvimento de modelos qualitativos para o ensino de estruturas. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, Campinas, SP, v. 9, n. 3, p. 167-178, set. 2018.

MARGARIDO, A.F. **Pesquisa Experimental Aplicada ao Ensino de Estruturas nas Escolas de Arquitetura**. Conferência pronunciada no Primeiro Encontro de Professores de Estrutura para Escolas de Arquitetura. São Paulo: FAUUSP. 2007.

MARTHA, L. F. **Ftool: Um programa gráfico-interativo para ensino de comportamento de estruturas, versão 3.0**. Rio de Janeiro: PUCRJ, 2012. Software de análise bidimensional de estruturas. Disponível em: <<http://www.tecgraf.puc-rio.br/ftool/#download>>. Acesso em: 30 de julho 2019.

MOURA, A. C.; CARBONARI, G.; ALDO, A.A.; BABUGIA, F.; ZANLUCHI, G.; GUSTAVO PRONI; PRIETO, L.W. Desenvolvimento de um modelo reduzido didático qualitativo e quantitativo de treliça plana. In: XLIV CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA, 2016, Natal/RN. **ANAIS**. Natal, 2016.

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.

PÉREZ-FADÓN, S. Arcos: Evolución Tendencias Futuras. IV INTERNACIONAL CONFERENCE ON ARCH BRIDGES, **ANAIS**, 2005. Barcelona.

ROCHA, A.C.C.; LUCENA, J.C.T.; CRUZ, T.A.G.; COUTINHO, A.C.; MAIA, F.G.R. Análise do comportamento estrutural através de simulações de protótipos: para fins didáticos.



In: XLV CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA, 2017, Joinville/SC. **Anais**. Joinville, 2017.

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.