

DESENVOLVIMENTO DE SIMULADOR SÍSMICO PARA ESTUDO DE ESTRUTURAS COM AUXÍLIO DO KIT ESTRUTURAL MOLA

Marcos Antônio Barros – marcos_fis@hotmail.com

Unifacisa – Centro Universitário - Departamento de Engenharia Civil

Av. Senador Argemiro de Figueiredo, 1901 – Itararé.

CEP: 58411-020 – Campina Grande/PB

Cláudio Silva Soares – e-mail: claudio@uepb.edu.br

Universidade Estadual da Paraíba, Departamento de Agroecologia e Agropecuária

Sítio Imbaúba S/N, Lagoa Seca/Paraíba

CEP: 58.117- 000 – Lagoa Seca – Paraíba

Resumo: Atualmente os cursos de engenharia vem contando, cada vez mais, com ferramentas didáticas que fogem do atual modelo de aulas teóricas e uma das principais é a utilização de modelos qualitativos. No intuito de comprovar tal afirmativa, objetivou-se, neste estudo, analisar as reações de tensões em diferentes modelos de edificações, a partir da construção e desenvolvimento de uma mesa simuladora de abalos sísmicos com auxílio do kit estrutural mola. O modelo do simulador sísmico constou de uma plataforma de madeira MDF, com trilhos de alumínio que serviram como guia para as roldanas fixadas em outra base superior. A base superior foi interligada ao disco giratório por meio de uma haste metálica, o qual permitiu o movimento horizontal oscilatório da base superior, acionada através de uma parafusadeira elétrica. Verificou-se que a mesa simuladora foi capaz de demonstrar os efeitos sísmicos nas estruturas modelos, o que pôde ser comprovado pelos alunos através de cálculos matemáticos. Desta forma, este modelo pode ser utilizado, de forma satisfatória, como ferramenta de apoio didático nas aulas de mecânica geral e em outras disciplinas que analisem as forças incidentes numa estrutura edificada.

Palavras-chave: Mecânica. Modelo qualitativo. Ferramentas Didáticas.

1 INTRODUÇÃO

Os cursos de engenharia, principalmente o de engenharia civil, possuem muitas disciplinas que envolvem bastante teoria e, na maioria das vezes, poucas aulas práticas, devido a uma gama de empecilhos por parte de alguns professores. Essa lacuna da associação entre teoria e prática, muitas vezes, ocorre 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.

Didaticamente falando, é notado que uma aula dinâmica, aparentemente informal e descompromissada com livros didáticos e roteiros, com certeza, renda muito mais e gere 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.

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.

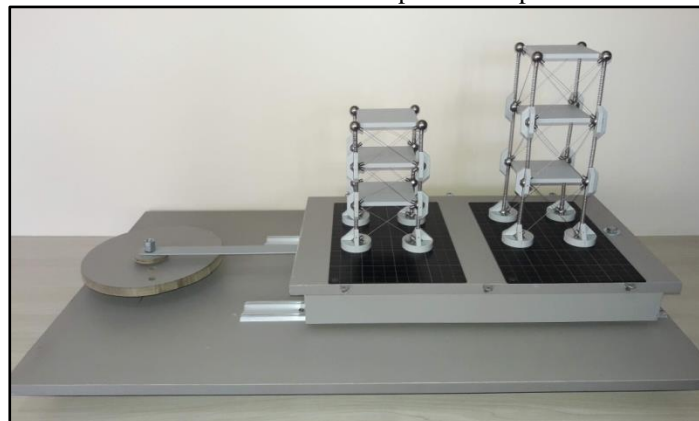
Uma ferramenta que vem ajudando nesse aprendizado é a utilização de modelos qualitativos, muitos deles vendidos comercialmente. Esses modelos ajudam o aluno a entender, de forma mais prática, como a estrutura é formada pela associação das diversas barras, e como funcionam os vínculos externos e internos 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).

Diante do exposto, o presente trabalho teve o objetivo de analisar as reações de tensões em diferentes modelos de edificações, a partir da construção e desenvolvimento de uma mesa simuladora de abalos sísmicos com auxílio do kit estrutural mola. Nessa perspectiva, organizou-se este estudo em mais três seções. Na segunda, apresentou-se o percurso metodológico utilizado para realizar a pesquisa. Na terceira, debateu-se acerca dos resultados e, por fim, foram delineados algumas considerações finais.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi realizado, no departamento de Engenharia Civil da UNIFACISA, no período de fevereiro a abril de 2019, envolvendo quatro alunos e perfazendo uma carga horária de oito horas semanais. O modelo do simulador sísmico (Figura 1) constou de uma plataforma de madeira MDF (*Medium Density Fiberboard*), sobre a qual foram instalados trilhos de alumínio que serviram como guia para as roldanas fixadas em outra base superior. Por sua vez, a base superior foi interligada ao disco giratório, por meio de uma haste metálica, o qual permitia o movimento horizontal oscilatório da base superior. O acionamento do movimento deste disco foi feito através de uma parafusadeira elétrica acoplada ao parafuso central do mesmo.

Figura 1- Simulador sísmico e estrutura representada por Kit Estrutural Mola.



Fonte: Elaboração Própria

As variações de velocidade e, conseqüentemente, a intensidade do abalo sísmico, foram obtidas com os diferentes níveis de rotações que a parafusadeira possui, assim como com a variação da disposição da barra de ligação nos diferentes orifícios do disco.

Com relação à medição da intensidade sísmica, essa foi determinada através de um *App* de *Smartphone*, denominado *Vibrationanalysis* que fornece dados em gráficos e numéricos, como deslocamento nos eixos x , y e z , amplitude da aceleração e distância, assim como frequência do movimento.

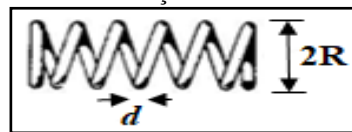
Para avaliação do simulador sísmico, foram aplicados exemplos de modelos qualitativos ou elásticos, elaborados a partir da semelhança geométrica direta com a estrutura proposta de diferentes edificações, segundo descrito no delineamento experimental. Nessa maquete estrutural, os pilares e vigas foram representados por molas metálicas que permitem tração e compressão se deformando, quando carregadas por alguma força externa e retornando à sua forma original após o descarregamento. Neste caso, em especial, esta força seria gerada pelas vibrações da mesa simuladora de abalos sísmicos.

Neste trabalho foram utilizados diferentes modelos de estruturas elaborados com o kit mola estrutural (OLIVEIRA, 2008), sendo esses representados por 2 (duas) alturas de pavimento (7,5 cm e 4,5 cm) e variadas opções de contraventamentos. Em seguida, cada modelo foi submetido aos movimentos sísmicos da mesa simuladora e, em sequência, analisado, separadamente, através das seguintes variáveis:

a) Resistência ao rompimento: foi verificado o momento em que cada tipo de estrutura-modelo, eventualmente, ruísse com a retirada de apoios e ou contraventamentos.

b) Constante de rigidez (K) do sistema modelo, considerando a mola como uma coluna biengastada de seção circular com flexão em seu eixo x . A constante de rigidez foi calculada, segundo a Equação (01) e figura 2.

Figura 2 - Demonstração dos elementos da mola.



Fonte: Elaboração Própria

$$k = \frac{G*d^4}{64*n*R^3} \quad (01)$$

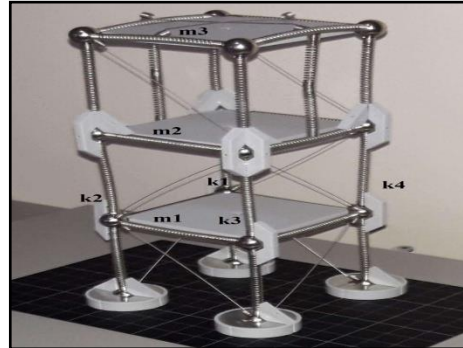
Onde,

K = Constante da mola; G = Módulo de elasticidade; n = Número de espiras; R = Raio da espira; d = diâmetro do fio da mola.

O módulo de elasticidade transversal (G), para uma mola de aço, possui um valor correspondente a 75,0 GPa (HIBBELER, 2010).

A Figura 3 mostra, para a primeira plataforma de massa m_1 , a disposição paralela das molas com seus respectivos coeficientes de rigidez k_1 , k_2 , k_3 , k_4 para cada pavimento. As demais plataformas seguem o mesmo princípio para m_2 e m_3 , com seus respectivos valores de k . Como as quatro molas restringem o movimento da massa m_1 a um eixo em comum, utiliza-se a equação 2, para se obter a constante de mola equivalente. As plataformas do dispositivo kit mola são paralelas, logo, mantiveram as molas de uma mesma plataforma sempre com o mesmo comprimento. Para o comprimento $l = 75$ mm e $l = 45$ mm, a figura 3 mostra o k_{eq1} da massa m_1 . No primeiro caso, se considerou a distância entre as plataformas de 75 mm e, no segundo, de 45 mm, sendo, deste modo, esses os comprimentos das molas.

Figura 3 - Molas k_1 em paralelo agindo sob massa m_1 da plataforma.



Fonte: Elaboração Própria

Deste modo, a constante de rigidez equivalente para a primeira plataforma é mostrada na Equação (2).

$$K_{eq1} = \sum_1^4 K_n \quad (02)$$

Com a constante elástica da mola, é possível saber a força máxima que ela pode receber, descobrindo o Δx máximo da mola. Para isso, é necessário multiplicar a quantidade de elos, descontando os elos que servem como base, pelo diâmetro do arame da mola e, com esse resultado, subtrair do comprimento total da mola:

$$\Delta x = l - (n * d) \quad (03)$$

Onde,

l = comprimento da mola; n = número de elos da mola; d = diâmetro do fio da mola.

Com estes resultados, basta substituí-los na fórmula de força elástica:

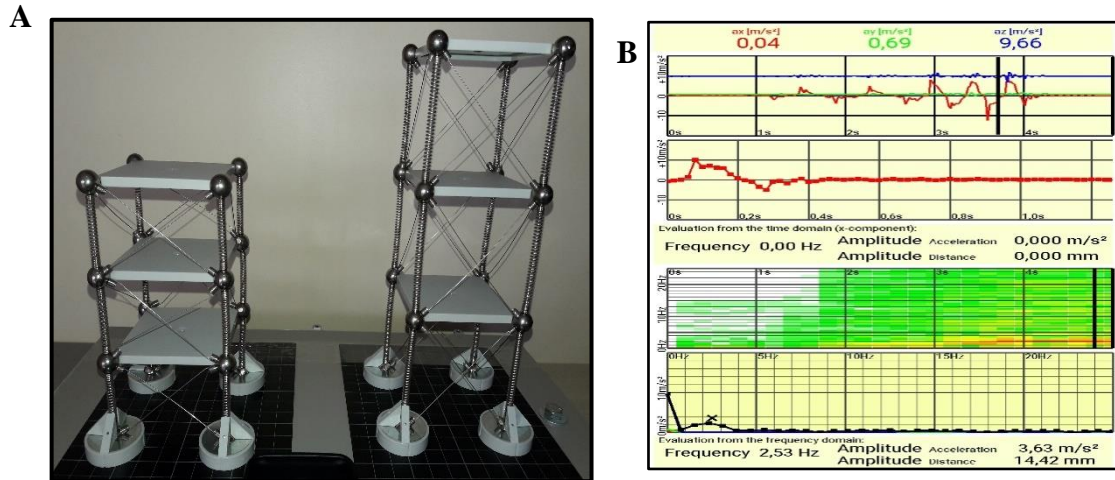
$$F_{el} = K * \Delta x \quad \text{Eq. 04}$$

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

No primeiro teste que se refere à resistência ao rompimento total dos modelos estruturais, após ativação da mesa sísmica, foi verificado que as duas estruturas, independentemente da distância entre pavimentos, apresentaram-se intactas ao final da aplicação das frequências sísmicas. Isso se deve ao fato de que ambas se apresentavam com todos os apoios e contraventamentos, impedindo que as estruturas sofressem movimentos horizontais. Nas figuras a seguir, podem se verificar os tipos e disposições destes contraventamentos (4A), assim como as frequências utilizadas na mesa sísmica (4B).

A importância dos contraventamentos para estabilizar uma edificação, também, foi verificada por outros autores, pois segundo Silva *et al.* (2018), o contraventamento é um sistema indispensável, para minimizar os efeitos das ações horizontais, tendo, ainda, a função de aumentar a rigidez da estrutura, reduzindo os deslocamentos e a magnitude dos efeitos de 2ª ordem.

Figura 6 - Disposição dos apoios (6A) e dados sísmicos da mesa modelo (6 B).

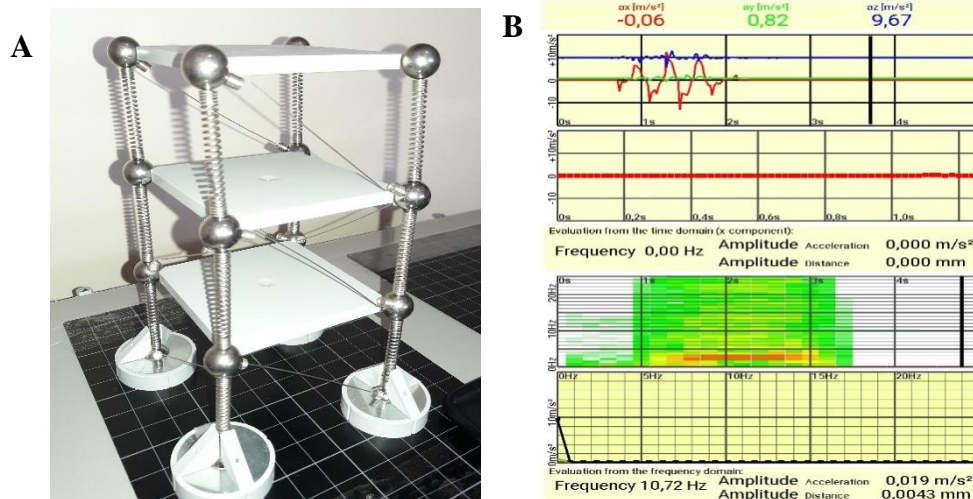


Fonte: Elaboração Própria

Em última análise, a edificação que sobrou intacta, no teste anterior, foi submetida, novamente, aos movimentos oscilatórios da mesa sísmica, no entanto, foram retirados os contraventamentos de dois lados do pavimento superior. Neste caso, a estrutura não resistiu aos movimentos da mesa e apresentou desmoronamento total (Figura 6 A e 6 B).

Quando os elementos de uma estrutura estão sujeitos a esforços e a deformação ocorre, o eixo das barras não se mantém retilíneo. Esta mudança de posição, no espaço, gera um momento chamado momento de 2ª ordem, que, em princípio, aumenta os valores dos esforços solicitantes ao longo delas (NBR 6118/2014).

Figura 7 - Disposição dos apoios (7 A) e dados sísmicos da mesa modelo (7 B).



Fonte: Elaboração Própria

Para determinação do peso de cada modelo estrutural formado com o kit estrutural Mola, foi utilizada uma balança de precisão 0,001g. Deste modo, o peso total de cada estrutura foi determinado, multiplicando-se o peso unitário de cada peça por sua respectiva quantidade presente em cada modelo de edificação (Tabela 1). No caso da estrutura formada com maiores

distâncias entre pavimentos (75 mm), obteve-se um peso total de 508,52g. Por outro lado, a estrutura com distâncias de 45 mm entre pavimentos apresentou um peso de 491,93g, ou seja, uma diferença de 16,59 g entre os dois modelos.

Cabe salientar que a determinação destes dados é de extrema importância, quando se trabalha com modelos representativos, pois, a partir desses, o aluno pode extrapolar os cálculos para os demais materiais utilizados nas edificações de tamanho e material natural.

Neste contexto, Moura *et al.* (2016) ressaltam que a possibilidade de comparação de resultados calculados, utilizando as teorias da resistência dos materiais e das estruturas, auxilia no aprendizado, uma vez que permite apresentar as bases teóricas dos problemas aos alunos, aplicá-las na resolução de exercícios e comprová-las com a comparação do calculado ao medido no modelo.

Tabela 1 - Peso de cada componente do modelo de prédio. * Média de três repetições.

Estrutura com 75 mm entre plataforma			
Peça	Massa unitária (g)*	Quantidade	Total (g)
Mola 75 mm	4,64	12	55,68
Ligação contínua	2,99	16	47,84
Esfera	13,95	12	167,4
Ligação 90°	2,17	12	26,04
Tirante 110 mm	1,45	18	26,01
Placa	19,61	03	58,83
Ligação base	31,68	04	126,72
Peso total (g) = 508,52			
Estrutura com 45 mm entre plataforma			
Mola 45 mm	3,31	12	39,72
Ligação contínua	2,99	16	47,84
Esfera	13,95	12	167,4
Ligação 90°	2,17	12	26,04
Tirante 93 mm	1,41	18	25,38
Placa	19,61	03	58,83
Ligação base	31,68	04	126,72
Peso total (g) = 491,93			

Fonte: Elaboração Própria

A partir da Equação (01), foram determinados os valores da constante de rigidez (K) para os dois tipos de molas utilizadas nos modelos estruturais (75mm e 45mm). Na Tabela 2, estão dispostos estes resultados para uma única mola, de acordo com seu tamanho. A partir dos resultados apresentados, pode-se verificar que a constante de rigidez da mola aumenta, à medida que diminui seu comprimento ou número de elos. Essa rigidez é facilmente percebida pelos alunos, quando flexionam os dois modelos de molas com as mãos, ou seja, a utilização deste tipo de modelo lhes permite verificar e comprovar, de forma prática, os resultados obtidos nos cálculos, quando se utilizam fórmulas matemáticas.

Tabela 2 - Cálculo da constante de rigidez (k).

Estrutura com 75mm entre plataforma				Estrutura com 45mm entre plataforma			
G (GPa)	d (mm)	n (ud)	R (mm)	G (GPa)	d (mm)	n (ud)	R (mm)
75,0	1,0	30	3,0	75,0	1,0	16	3,0

Fonte: Elaboração Própria

$$k = \frac{G * d^4}{64 * n * R^3} \rightarrow k = \frac{(75 \times 10^9) * (1 \times 10^{-3})^4}{64 * 30 * (3 \times 10^{-3})^3} = 1.446,76 \text{ N/m (molas 75mm)}$$

$$k = \frac{G * d^4}{64 * n * R^3} \rightarrow k = \frac{(75 \times 10^9) * (1 \times 10^{-3})^4}{64 * 16 * (3 \times 10^{-3})^3} = 2.712,67 \text{ N/m (molas 45mm)}$$

Quando se verificam os dados referentes à constante de rigidez equivalente (k_{eq1}) das quatro molas de um pavimento do modelo estrutural, pode-se verificar e constatar o mesmo comportamento da constante de rigidez em, apenas, uma mola, ou seja, aquele pavimento, composto por molas de menor comprimento, apresentou maior valor desta variável estudada (Tabela 3).

A ideia de que os modelos, utilizados nas aulas práticas, trazem muitos benefícios ao processo de aprendizagem dos alunos é reforçada por Anastasiou e 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.

Tabela 3 - Cálculo da constante de rigidez equivalente para cada pavimento (k_{eq1}).

Estrutura com 75mm entre plataforma				Estrutura com 45mm entre plataforma			
k_1 (N/m)	k_2 (N/m)	k_3 (N/m)	k_{eq1} (N/m)	k_1 (N/m)	k_2 (N/m)	k_3 (N/m)	k_{eq1} (N/m)
1.446,76	1.446,76	1.446,76	4.340,28	2.712,67	2.712,67	2.712,67	8.138,01

Fonte: Elaboração Própria

Em seguida, foi utilizada a equação 03 para determinação das forças máximas que cada tipo de mola poderia receber (Δx).

$$\Delta x = l - (n * d) \rightarrow \Delta x = 75 - (30 * 1) \rightarrow \Delta x = 45 \text{ mm (molas 75mm)}$$

$$\Delta x = l - (n * d) \rightarrow \Delta x = 75 - (16 * 1) \rightarrow \Delta x = 59 \text{ mm (molas 45mm)}$$

Com os resultados das forças máximas suportadas por cada mola (Δx) e suas respectivas constantes de rigidez (K), foi possível determinar sua força elástica máxima ($F_{el \text{ max}}$), utilizando-se a equação 04.

$$F_{el} = K * \Delta x \rightarrow F_{el} = 1.446,76 \text{ N/m} * 0,045 \text{ m} = 65,10 \text{ N (molas 75mm)}$$

$$F_{el} = K * \Delta x \rightarrow F_{el} = 2.712,67 \text{ N/m} * 0,059 \text{ m} = 160,05 \text{ N (molas 45mm)}$$

Estes resultados indicam que aquele modelo com estrutura de menor espaçamento entre pavimentos apresenta maior força elástica máxima, ou seja, ela é mais resistente às forças impostas pelas vibrações da mesa sísmica. Os cálculos, mais uma vez, corroboram com o que foi verificado, anteriormente, quando se aplicaram os testes com a mesa sísmica e verificou-se que a estrutura de menor espaçamento entre pavimentos resistiu a um maior número de vibrações.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com os testes e cálculos realizados neste experimento, verificou-se que a mesa simuladora foi capaz de demonstrar os efeitos sísmicos nas estruturas-modelo, comprovado pelos alunos durante a realização do experimento. Desta forma, o presente modelo experimental mostrou-se eficaz, no sentido de que pôde-se ter um grau de confiabilidade maior nos cálculos realizados, para obtenção de valores relativos às constantes de rigidez, força elástica, etc. Além disso, há traços qualitativos que podem ser observados no Kit Estrutural Mola (Oliveira, 2008), no qual os modelos desenvolvidos oferecem uma ferramenta didática com grande potencial para facilitar o processo de aprendizagem dos conceitos, métodos e cálculo utilizados no estudo de estruturas edificadas.

Constatou-se 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.

Durante os ensaios, os alunos puderam observar quais eram os pontos mais solicitados das estruturas construídas, de acordo com as suas geometrias. Comparando-se o desempenho desses alunos, em cada um dos modelos desenvolvidos, bem como nos resultados por eles obtidos, constatou-se um maior rendimento acadêmico, de forma que esse ganho conceitual foi sentido no processo de avaliação bimestral.

Por fim, conclui-se que a aplicação desta proposta evidenciou que o desenvolvimento dos conteúdos teóricos relacionados à disciplina de Mecânica Geral, associado à uma metodologia centrada na experimentação concreta e virtual, torna seus conteúdos mais motivantes e, conseqüentemente, torna os alunos mais participativos e criativos.

5 REFERÊNCIAS

ANASTASIOU, Léa das Graças Camargos; ALVES, Leonir Pessate. **Processos de Ensinagem na Universidade**, Ed Univille, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**. Projeto de estruturas de concreto. Rio de Janeiro, 2014.

BERENSON, Mark L.; LEVINE, David. M. **Basic Business Statistics, Concepts and Applications**. Prentice Hall, N.J., 1992.

HIBBELER, Russell Charles. **Resistência dos materiais**. 7ª ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2010.

LOBOSCO, Tales; CÂMARA, Débora Carvalho. 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.

MOURA, André Campos *et al.* Desenvolvimento de um modelo reduzido didático qualitativo e quantitativo de treliça plana. In: XLV Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia, 2016, Natal/RN. **Anais**. Natal, 2016.

OLIVEIRA, Márcio Sequeira. **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.

ROCHA, Alba Cesanna Coutinho *et al.* 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.

SILVA, Magno Leandro da; HONÓRIO FILHO, Manoel; SANTOS, Marcello Silva. Análise da influência do tipo de laje na estabilidade da estrutura de concreto armado. **Revista Episteme Transversalis**, Volta Redonda-RJ, v.9, n.1, p.01-19, 2018.

DEVELOPMENT OF SEISMIC SIMULATOR FOR STUDY OF STRUCTURES WITH AID OF STRUCTURAL KIT SPRING

Abstract: *At present, the engineering courses are counting even more with didactic tools that escape the current model of theoretical classes, and one of the main ones is the use of qualitative models. The objective of this work was to construct and analyze a seismic simulation table to verify the stress reactions in different models of buildings. The model of the seismic simulator consisted of an MDF wooden platform, with aluminum rails that served as guide for the pulleys fixed in another upper base. The upper base was interconnected to the rotating disk by means of a metal rod, which allowed the oscillating horizontal movement of the upper base, driven by an electric screwdriver. It was verified that the simulation table was able to demonstrate the seismic effects in the model structures, which can be proven by the students through mathematical calculations. In this way, this model can be used satisfactorily as a didactic support tool in general mechanics classes and other disciplines that analyze the forces that affect a built structure.*

Key-words: *Mechanics. Qualitative model. Didactics.*