

**Modelos didáticos para avaliação estrutural**  
**Teaching models for structural evaluation**  
**Modelos didáticos para evaluación estructural**

Recebido: 10/09/2020 | Revisado: 12/09/2020 | Aceito: 14/09/2020 | Publicado: 16/09/2020

**Cláudio Silva Soares**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8730-698X>

Centro Universitário Unifacisa, Brasil

E-mail: [claudioccauepb@gmail.com](mailto:claudioccauepb@gmail.com)

**Marcos Antônio Barros**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4553-4503>

Centro Universitário Unifacisa, Brasil

E-mail: [marcos\\_fis@hotmail.com](mailto:marcos_fis@hotmail.com)

**Resumo**

Atualmente o emprego de ferramentas didáticas, em forma de modelos qualitativos, vem facilitando o aprendizado dos discentes dos cursos de engenharia. Não é raro que esses modelos muitas vezes são comercializados ou produzidos pelos próprios alunos e professores. Sendo assim, o objetivo deste estudo foi avaliar as reações de tensões, nos distintos modelos de edificações, a partir da construção de um modelo de mesa sísmica e de uma estrutura predial de cinco pavimentos distanciados entre si de duas formas (0,2 e 0,3m). O simulador sísmico foi construído com uma plataforma de madeira MDF, sobre a qual foram fixados trilhos de alumínio para servir de guia das roldanas fixadas em outra plataforma superior. A plataforma superior foi ligada a um disco de MDF através de uma haste de aço. A função deste disco foi permitir o movimento horizontal oscilatório da base superior, sendo impulsionada através de uma parafusadeira elétrica. Os resultados experimentais indicaram que a mesa simuladora foi capaz de reproduzir os efeitos sísmicos nos modelos estruturais, assim como a comprovação destes resultados por parte dos discentes através de cálculos matemáticos que demonstraram os diferentes níveis de dilatações sofridas quando os modelos das edificações foram submetidos a diferentes espaçamentos entre os pavimentos. De forma geral, constatou-se que o modelo estudado pode ser utilizado, de forma satisfatória, como ferramenta didática de apoio nas aulas das disciplinas de análise estrutural, como mecânica

geral, teoria das estruturas, dentre outras que analisem as forças sísmicas incidentes numa estrutura edificada.

**Palavras-chave:** Ensino; Análise; Qualitativa; Ferramenta pedagógica.

### **Abstract**

Currently the use of teaching tools, in the form of qualitative models, is facilitating the learning of engineering students. Often these models are marketed or produced by students and teachers. Thus, the objective of this study was to evaluate the reactions of stresses, in the different models of buildings, from the construction of a model of seismic table and a building structure of five floors spaced from each other in two ways (0.2 and 0, 3m). The seismic simulator was built with a wooden MDF platform, where aluminum rails were fixed to serve as a guide for the pulleys fixed on another upper platform. The upper platform was connected to an MDF disk through a steel rod. The function of this disc was to allow the horizontal oscillatory movement of the upper base, being driven by an electric screwdriver. The experimental results indicated that the simulator table was able to reproduce the seismic effects in the structural models, as well as the proof of these results by the students through mathematical calculations that demonstrated the different levels of expansion suffered when the building models were subjected to different spacing between floors. In general, it was found that the model studied can be used, satisfactorily, as a didactic support tool in the classes of structural analysis disciplines, such as general mechanics, structural theory, among others that analyze the seismic forces on a structure built up.

**Keywords:** Teaching; Analyze; Qualitative; Pedagogical tool.

### **Resumen**

Actualmente, el uso de herramientas didácticas, en forma de modelos cualitativos, viene facilitando el aprendizaje de los estudiantes de los cursos de ingeniería. No es raro que estos modelos a menudo sean comercializados o producidos por los propios estudiantes y profesores. Así, el objetivo de este estudio fue evaluar las reacciones de esfuerzos, en los diferentes modelos de edificación, a partir de la construcción de un modelo de mesa sísmica y una estructura de edificación de cinco plantas espaciadas entre sí de dos formas (0,2 y 0, 3 m). El simulador sísmico se construyó con una plataforma de madera MDF, sobre la cual se fijaron rieles de aluminio que sirvieron de guía para las poleas fijadas en otra plataforma superior. La plataforma superior estaba conectada a un disco de MDF a través de una varilla de acero. La función de este disco era permitir el movimiento oscilatorio horizontal de la base

superior, siendo accionada por un destornillador eléctrico. Los resultados experimentales indicaron que la mesa del simulador fue capaz de reproducir los efectos sísmicos en los modelos estructurales, así como la prueba de estos resultados por parte de los estudiantes a través de cálculos matemáticos que demostraron los diferentes niveles de expansión sufridos cuando los modelos de construcción fueron sometidos a diferentes espaciamiento entre pisos. En general, se encontró que el modelo estudiado puede ser utilizado, satisfactoriamente, como herramienta de apoyo didáctico en las clases de disciplinas de análisis estructural, tales como mecánica general, teoría estructural, entre otras que analizan las fuerzas sísmicas sobre una estructura. construido.

**Palabras clave:** Enseñanza; Análisis; Cualitativo; Herramienta pedagógica.

## 1. Introdução

Há um longo tempo o processo didático pedagógico apresenta algumas lacunas que precisam ser preenchidas, com o objetivo de que o aluno aprenda de forma mais eficiente o conteúdo ministrado por professores, principalmente, na grande área da engenharia. Isso ocorre, uma vez que na sua maioria, os estudantes não possuem disciplinas de formação pedagógica em seus cursos de formação.

Essa lacuna observada nos cursos de engenharia e, representada muitas vezes pela falta da agregação entre teoria e prática, ocorre devido à ausência de interdisciplinaridade dentro desses cursos, ou seja, muitas disciplinas basicamente teóricas deixam de ser exploradas, de forma a incitar no aluno, uma visão de aplicações práticas em outras disciplinas e, até mesmo, na vida profissional deste futuro engenheiro. Somado a isso, ainda verifica-se que a grade curricular dos cursos de engenharia civil apresenta muitas disciplinas com a maioria da carga horária abrangendo bastante teoria e poucas aulas práticas, devido a uma grande quantidade de obstáculos, que vão desde a falta de formação didática da maioria dos professores, até mesmo a uma estrutura curricular desatualizada e muito aquém das necessidades atuais.

Quando esse processo de aprendizado é analisado didaticamente nos cursos de engenharia, é notado que uma aula dinâmica, aparentemente informal e descompromissada com livros didáticos e roteiros, muitas vezes, rende muito mais e gera mais resultados positivos em comparação com uma aula formal (Rocha et al., 2017). Partindo-se desse princípio, verifica-se que os resultados didáticos que fogem do habitual, com a demonstração

prática do que é ensinado, alcançam melhores efeitos no aprendizado em um estimado período.

Desta forma, uma ferramenta que vem ajudando nesse aprendizado é a utilização de modelos qualitativos que muitas vezes são comercializados ou produzidos pelos próprios discentes e docentes. Tomando-se como exemplo de como esses modelos podem ajudar o aluno a entender, de forma mais prática, pode-se imaginar uma edificação estrutural formada pela associação de diversas hastes 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).

Segundo Lobosco e Câmara (2018), esses modelos didáticos apresentam uma variada flexibilidade construtiva, pois são construídos para observação do comportamento mecânico da estrutura, a partir de suas deformações, logo, precisam ser capazes de evidenciar esse comportamento estrutural, através da visualização das deformações apresentadas pela modelagem.

Nesse caminho, algumas universidades, a exemplo da PUCPR, já vem estimulando seus professores a incluírem novas propostas de aprendizagem em suas reorganizações metodológicas, para atender aos novos perfis delineados para os seus estudantes. No entanto, é um desafio fazer mudanças desse tipo no ensino superior, tanto para professor quanto ao aluno (Maziero, 2018).

As recorrentes mudanças nas ciências e, conseqüentemente, nos métodos e procedimentos que os rodeiam, traz à tona a procura por novos meios de ensino, para os quais, surge a necessidade de uma nova atitude envolvendo discentes e docentes. Com relação aos docentes, há tempos assumiram o papel de transmissor de conhecimento, enquanto que os discentes, permanecem em atitude passiva, receptiva e reprodutora, atuando como espectadores, sem maior preocupação com a crítica e reflexão dos problemas impostos em suas áreas do conhecimento (Behrens, 2011).

Em contrapartida, a utilização de modelos didáticos vem sendo descrita e usada durante boa parte da história humana, pois Oliveira (2008) enfatiza que o homem vem utilizando modelos representativos em diferentes setores da ciência, como meio de adquirir conhecimento não somente no campo da engenharia, mas também na maioria dos laboratórios e em qualquer área de conhecimento, para simulação da realidade.

Neste sentido, é de fundamental importância que os profissionais envolvidos na concepção dos projetos estruturais sejam capazes de visualizar e compreender o comportamento da referida estrutura sob variadas situações de combinações das ações e carregamentos das forças externas e internas. Neste contexto, Brito et al., (2017) comentam que, para isso, há necessidade de que os alunos desenvolvam a percepção espacial intuitiva, compreendendo, desta forma, o comportamento local e global de determinada estrutura, com objetivo de idealizar o projeto arquitetônico em conjunto com a percepção da importância da otimização na modelagem da estrutura.

Nos estudos de estruturas especiais, assim como em pontes, é crescente o uso de modelos didáticos para avaliar o efeito de vibrações e das cargas dinâmicas nesses tipos de estruturas. Sendo assim, tem sido observado que o uso desses modelos é muito comum no estudo de futuros problemas causados por efeitos sísmicos e por ações de vento nas estruturas (Brito et al., 2017).

No entanto, de acordo com Teixeira (2016), é notório que no ensino de engenharia a exploração desta vertente intuitiva vem ficando em segundo plano, já que a exposição dos conceitos estruturais é feita quase exclusivamente por via analítica. Neste caso, há um menosprezo das noções qualitativas, fazendo com que haja dificuldade de aprendizado no entendimento dos conceitos teóricos por parte dos discentes.

Sendo assim, o objetivo deste estudo foi avaliar as reações de tensões, nos distintos modelos de edificações, a partir da construção de um modelo de mesa sísmica e de uma estrutura predial de cinco pavimentos distanciados entre si de duas formas (0,2 e 0,3m), visando contribuir no aprendizado dos discentes do curso de engenharia civil.

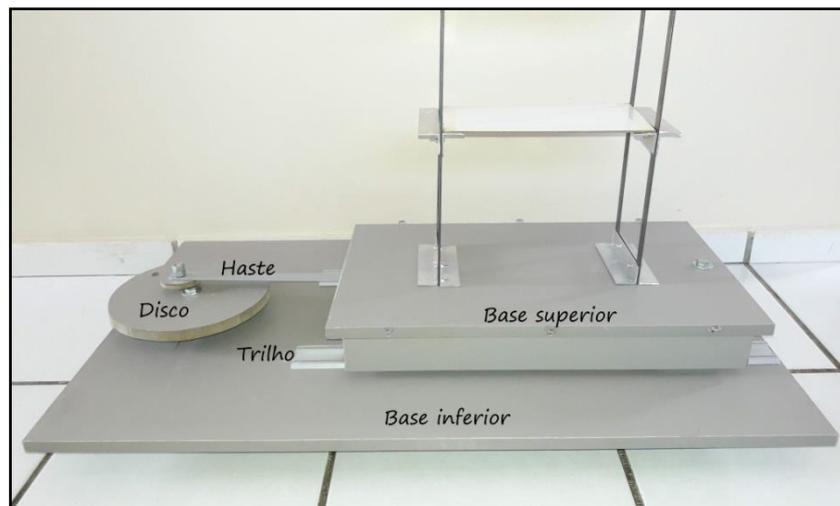
## **2. Metodologia**

O experimento foi idealizado e efetivado por alunos do curso de Engenharia Civil da UNIFACISA, durante o período de maio a junho de 2019, constando de uma pesquisa qualitativa do tipo pesquisa-ação (Pereira et al., 2018). Na elaboração da mesa simuladora de abalo sísmico (Figura 1), foi utilizada uma plataforma de madeira MDF (*Medium Density Fiberboard*), sobre a qual foram fixados trilhos de alumínio para servir de guia das roldanas fixadas em outra plataforma superior. A plataforma superior foi ligada a um disco de MDF através de uma haste de aço. A função deste disco foi permitir o movimento horizontal oscilatório da base superior, sendo impulsionada através de uma parafusadeira elétrica.

As alterações de velocidade no disco e, conseqüentemente, intensidade do abalo sísmico, foram obtidas com os diferentes níveis de rotação que a parafusadeira apresenta, assim como a variação da posição da haste de ligação nos diferentes orifícios do disco.

Quanto à medição da intensidade sísmica da mesa nas diferentes velocidades, esta foi determinada através de um *App* de *Smartphone* denominado *Vibrationanalysis*, o qual fornece dados numéricos e gráficos, a exemplo do deslocamento nos eixos  $x$ ,  $y$  e  $z$ , amplitude da aceleração e distância, assim como frequência do movimento oscilatório da mesa.

**Figura 1.** Mesa simuladora de abalos sísmicos. Fonte: os autores.

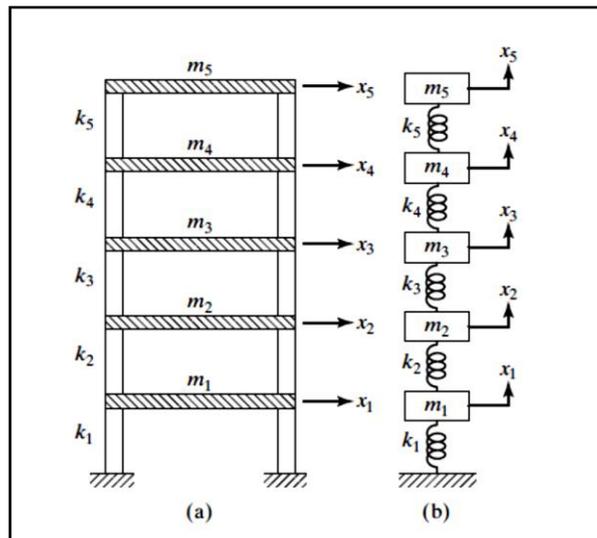


Fonte: Os autores.

Para avaliação do simulador sísmico, foram aplicados exemplos de modelos qualitativos elaborados a partir da semelhança geométrica direta com a estrutura proposta de uma edificação de cinco pavimentos com duas distâncias distintas entre os mesmos (0,2 e 0,3m). De acordo com Lobosco e 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.

Neste sentido, conforme demonstrado na Figura 2 (Rao, 2008), foi elaborado um diagrama de corpo livre (DCL) com um modelo simplificado de deslocamentos laterais nos múltiplos graus de liberdade (pavimentos), com plataformas paralelas representando as massas do sistema, as colunas como o elemento de mola e excitação do modelo no eixo  $x$ .

**Figura 2.** Diagrama de corpo livre do modelo de vibrações em plataformas paralelas.



Fonte: Rao (2008).

No modelo proposto neste trabalho (Figura 3), as quatro colunas de sustentação (meia cremalheira) representam a função de elemento de mola. A variação da flexão no modelo foi obtida através da fixação de apoios laterais em cada pavimento, fazendo-se variar a sua constante de rigidez. Por sua vez, essa constante de rigidez também pode ser obtida por meio da variação das distâncias entre cada pavimento.

**Figura 3.** Molas  $k_1, k_2, k_3, k_4$  em paralelo agindo sob as massas  $m_1, m_2, m_3, m_4, m_5$  das plataformas.



Fonte: Os autores.

Na composição das colunas de sustentação do modelo, foi escolhida uma haste de aço com 1.000 mm de comprimento; 13,02 mm de largura e 2,87 mm de espessura.

Neste modelo estrutural foram consideradas três peças distintas: réguas, plataformas e suportes. Os suportes foram fixados nas peças centrais das plataformas e na mesa por meio de parafusos e porcas nos orifícios com a mesma distância das furações da mesa isolante de vibrações, garantindo a compressão necessária de modo a restringir qualquer deslocamento ou deslizamento da régua na base. O material escolhido para o suporte foi alumínio 6061.

As peças centrais das plataformas consistiram no principal elemento de massa do modelo, que possuem furações para fixação com os suportes. Com relação à montagem deste modelo, apresentada na Figura 3, pode-se verificar que o mesmo foi formado por 05 plataformas (pavimentos), resultando em 5 graus de liberdade para o sistema.

No experimento presente, as plataformas foram dispostas em duas alturas distintas, sendo adotados 200 mm e 300 mm, separadamente, em cada teste de vibração da mesa sísmica. Na simulação do tipo de engastamento das vigas, a régua foi considerada como uma coluna biengastada de seção retangular com flexão em seu eixo  $x$ , sendo o segundo momento de inércia da área ( $I_x$ ), em relação ao eixo  $x$ , calculado segundo a equação 01, onde  $b$  é a largura da régua e  $h$  a espessura (Beer et al., 2011).

$$I_x = \frac{b \cdot h^3}{12} \quad \text{Eq. 01}$$

O material de constituição da régua foi considerado como aço, na qual foi realizado o cálculo do deslocamento de viga biengastada sob carregamento perpendicular, obtida através da equação 02 que determina a constante de rigidez da régua de aço ( $k$ ), conforme sua altura ( $l$ ).

$$k = \frac{12 \cdot E \cdot I_x}{l^3} \quad \text{Eq. 02}$$

A partir da determinação da constante de rigidez, em seguida foi calculada a constante de rigidez equivalente da régua de aço ( $k_{eq}$ ), sendo que para cada plataforma, as quatro réguas que a sustentam funcionam como uma associação de molas em paralelo, agindo sobre uma mesma massa. A Figura 3 ilustra ainda, para a primeira plataforma de massa  $m_1$ , a disposição paralela das réguas com coeficientes de rigidez  $k_1, k_2, k_3, k_4$ .

Levando-se em conta o pressuposto de que as quatro réguas restringem o movimento da massa  $m_1$  a um eixo em comum, a constante de rigidez equivalente ( $k_{eq}$ ) na primeira plataforma foi calculada a partir do somatório das constantes de rigidez das quatro vigas, conforme a equação 03.

$$K_{eq} = \sum_1^4 K_n \quad \text{Eq. 03}$$

As plataformas do dispositivo são paralelas, logo manterão as réguas de uma mesma plataforma sempre com a mesma altura entre as demais plataformas (200 mm).

A possibilidade de flambagem da estrutura também foi verificada, já que as réguas representam o elemento estrutural do modelo didático e que podem estar sujeitas a cargas axiais de compressão, logo, torna-se importante a verificação se as réguas não sofreriam essa deformação. Para essa verificação foi necessário calcular dois fatores: o índice de Esbeltez das réguas  $e$ , se a maior carga axial de compressão, a qual uma régua esteja submetida, é menor que a carga crítica para flambagem.

Neste sentido, considerando as réguas como elementos de viga biengastada, sabe-se que o  $l_{ef} = 0,5l$  (Beer & Dewolf, 2015). Como o comprimento da régua é um fator determinante para a resistência à flambagem, foram calculados o índice de Esbeltez (equação 04) e carga crítica (equação 05) para dois casos, onde apenas a distância entre as plataformas é alterada no modelo didático em duas avaliações separadas. No primeiro caso se considerou a distância entre as plataformas de 200 mm e, desse modo, este é o comprimento real das réguas. No segundo caso é considerada a distância de 300 mm entre as plataformas.

$$S_r = \frac{l_{ef}}{r} \quad \text{Eq. 04}$$

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}} \quad \text{Eq. 05}$$

Na equação 04,  $l_{ef}$  é o comprimento efetivo da viga dependente de sua condição de extremidade. Na equação 05,  $I$  é o momento de inércia da seção transversal, e  $A$ , a área da seção transversal da viga estudada.

Beer e Dewolf (2015) demonstraram que a fórmula de Euler (equação 06) determina o valor crítico da força ( $P_{cr}$ ). Se a força axial de compressão ( $P$ ) for maior que a força crítica ( $P_{cr}$ ), a viga sofrerá flambagem em algum momento.

$$P_{cr} = \frac{4\pi^2.E.I}{l^2} \quad \text{Eq. 06}$$

Para determinação da massa crítica ( $m_{cr}$ ), esta é proveniente do carregamento crítico ( $P_{cr}$ ) dividido pela aceleração da gravidade ( $9,80665\text{m/s}^2$ ), conforme equação 07.

$$m_{cr} = \frac{P_{cr}}{9,80665} \quad \text{Eq. 06}$$

As régua, que representavam os pilares da estrutura, conectadas entre a plataforma isolante e o primeiro pavimento, são as principais estruturas que estão submetidas ao maior carregamento de peso e, conseqüentemente, possuem maior risco de flambagem. Isso devido à maior massa apoiada sobre elas. Desta forma, o carregamento crítico foi comparado com o carregamento que estas quatro primeiras régua estavam submetidas durante o experimento.

Para determinação do peso de cada item do modelo estrutural, 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.

Quando divide-se o valor da massa total pelo número de régua que a suportam, chega-se no valor máximo de carregamento que uma régua estará sujeita no dispositivo (equação 08).

$$m_{máx} = \frac{m_{tot}}{n^{\circ} \text{ pavimentos}} \quad \text{Eq. 08}$$

### 3. Resultados e Discussão

As características de cada peça presente no modelo estrutural da edificação, como tipo de material, quantidade e peso total de cada conjunto são descritos na Tabela 1, onde observa-se que o maior peso foi encontrado nos suportes de alumínio, enquanto que o menor foi observado nas porcas de aço. Por sua vez, foi observado que a estrutura total em si pesou 0,886 kg.

**Tabela 1.** Peso dos componentes do modelo didático estudado.

Peça	Material	Peso unitário (kg)	Quantidade (ud)	Total (kg)
Plataforma	MDF	0,0756	05	0,378
Suporte	Alumínio	0,0233	20	0,466
Parafuso	Aço carbono	0,0015	20	0,030
Porca	Aço carbono	0,0006	20	0,012
			<i>P<sub>total</sub>:</i>	0,886

Fonte: Os autores.

Neste sentido, vale ressaltar que a determinação destas variáveis torna-se de grande importância quando se analisa modelos didáticos em escala pequena, uma vez que, a partir dos dados experimentais de cada componente estrutural, o pesquisador tem a possibilidade de extrapolar seus cálculos para uma edificação de tamanho em escala natural.

Essa observação é corroborada por Moura et al. (2016), pois os autores ressaltam que, quando os professores comparam cálculos encontrados a partir de modelos didáticos com aqueles calculados para edificação em escala natural, empregando-se as teorias encontradas na literatura específica, há uma melhora significativa no aprendizado, já que esse método proporciona a apresentação de bases teóricas dos problemas aos discentes, aplicando-as na resolução de exercícios de forma que pode-se comprovar os resultados com aquilo calculado no modelo didático.

Segundo Lobosco e Câmara (2018), a proposta do modelo didático não busca a produção de uma ferramenta para substituir os procedimentos tradicionais de concepção estrutural, mas uma forma de estimular o aprendizado intuitivo dos comportamentos estruturais, ou seja, um modelo para ser utilizado em processos de experimentação qualitativos, estimulando a compreensão intuitiva e auxiliando o aluno a relacionar o comportamento mecânico observado nos modelos físicos com a aplicação dos modelos numérico-computacionais.

Na tabela 2 encontra-se o resultado do segundo momento de inércia da área em relação ao eixo  $x$  ( $I_x$ ), obtido através da equação 01. Diante os resultados expostos nesta tabela, para este modelo didático de edificação, verifica-se que o segundo momento de inércia apresentou valor de  $2,565 \times 10^{-11} \text{ m}^4$ .

**Tabela 2.** Resultado do segundo momento de inércia da área em relação ao eixo  $x$  ( $I_x$ ).

$b$ (m)	$h$ (m)	$I_x$ ( $\text{m}^4$ )
$13,02 \times 10^{-3}$	$2,87 \times 10^{-3}$	$2,565 \times 10^{-11}$

Fonte: Os autores.

Neste sentido, Zanelatto (2017) utilizou um modelo com réguas de aço inox de seções  $b$  e  $h$  com  $25,0 \times 10^{-3}$  e  $7,0 \times 10^{-4}$  m, respectivamente, e obtiveram um valor de  $7,146 \times 10^{-13} \text{ m}^4$  no segundo momento de inércia ( $I_x$ ). Quando se compara o resultado desse autor com os dados deste trabalho, verifica-se que quando maior a seção transversal ( $b.h$ ) da coluna estrutural de sustentação da edificação, maior será o valor do segundo momento de inércia neste edificação.

Na Tabela 3 estão dispostos os resultados dos cálculos da constante de rigidez, para uma única régua, onde verifica-se que o aumento da altura entre as plataformas ( $l$ ) faz com que haja diminuição desta constante de rigidez.

**Tabela 3.** Cálculo da constante de rigidez ( $k$ ).

$l$ (m)	$E$ (N.m <sup>2</sup> )	$I_x$ (m <sup>4</sup> )	$k$ (N.m <sup>-1</sup> )
0,2	19x10 <sup>10</sup>	2,565x10 <sup>-11</sup>	7.310,25
0,3	19x10 <sup>10</sup>	2,565x10 <sup>-11</sup>	2.166,00

Fonte: Os autores.

Levando-se em consideração os diferentes espaçamentos entre as plataformas do modelo didático ( $l = 0,2$  m e  $0,3$  m), a Tabela 4 dispõe o coeficiente de rigidez  $k_1$  da massa  $m_1$ ,  $k_2$  da massa  $m_2$ ,  $k_3$  da massa  $m_3$  e  $k_4$  da massa  $m_4$  e o coeficiente de rigidez equivalente, sendo esse proveniente do somatório dos demais.

**Tabela 4.** Resultado do cálculo da constante de rigidez equivalente ( $k_{eq}$ ).

$l$ (m)	$k_1$ (N/m)	$k_2$ (N/m)	$k_3$ (N/m)	$k_4$ (N/m)	$k_{eq}$ (N/m)
0,2	7.310,25	7.310,25	7.310,25	7.310,25	29.241,00
0,3	2.166,00	2.166,00	2.166,00	2.166,00	8.664,00

Fonte: Os autores.

Analisando-se os resultados (Tabela 4), assim como foi verificado para a constante de rigidez no item anterior, também ficou evidenciado que a alteração da altura entre as plataformas do modelo é inversamente proporcional ao coeficiente de rigidez equivalente ( $k_{eq}$ ).

Desta forma, os alunos corroboraram com a ideia de Almeida e Santos (2020) quando postularam que as metodologias ativas de ensino consideram a participação dinâmica do aluno na formação do conhecimento, instigando o conhecimento a partir da cooperação mútua, discussão e atuação.

Os resultados calculados da constante de rigidez foram validados com auxílio do modelo didático da estrutura predial, pois quando este foi submetido ao movimento da mesa sísmica, foi verificado que, quanto maior a distância entre as plataformas da edificação, maior foi a deformação apresentada na estrutura, já que esta apresentou menor rigidez em comparação àquela de menor distância entre plataformas.

Segundo Schodeck e Bechthold (2015), a concepção estrutural, seja avaliada por meio de simulação numérica ou mesmo virtual, demanda um conhecimento aprofundado do comportamento e das condições de equilíbrio de uma estrutura e seus componentes. Em contrapartida, Lobosco e Câmara (2018) ressaltam que os modelos didáticos se inserem no processo de aprendizagem ao promover um primeiro momento dos alunos com o comportamento estrutural e mecânico de uma edificação através de uma experiência vivenciada e empírica, abrindo caminho a uma compreensão mais ampla e intuitiva do comportamento estrutural, sendo, muitas vezes, capaz de romper a aversão dos alunos às simulações matemáticas.

Em seguida, na Tabela 5 estão dispostos os resultados do cálculo da flambagem em decorrência das duas distâncias entre pavimentos ( $l$ ), para determinar se esta existiu ou não na estrutura estudada.

**Tabela 5.** Resultado do cálculo da flambagem nas duas distâncias entre pavimentos.

$l$ (m)	$r$ (m)	$l_{ef}$	$S_r$	$P_{cr}$ (N/m)	$m_{cr}$ (kg)	$m_{máx}$ (kg)
0,2	$8,285 \times 10^{-4}$	0,10	120,70	4.809,952	490,48	0,222
0,3	$8,285 \times 10^{-4}$	0,15	181,05	2.137,756	217,99	0,222

Fonte: Os autores.

Nesta análise, Norton (2013) considerou que, quando uma viga apresenta índice de Esbeltez ( $S_r$ ) maior que dez, a mesma poderá sofrer falha por flambagem, devido ao carregamento axial de compressão. Se o  $S_r$  for menor que dez, a viga não sofrerá falha por flambagem, apenas por compressão.

Quando se analisam os resultados encontrados neste trabalho (Tabela 5), percebe-se que a viga poderá sofrer flambagem, uma vez que o índice de Esbeltez encontrado foi maior que dez, nas duas distâncias utilizadas entre pavimentos.

Outros autores (Evans et al., 2009; Salvadori, 2000) também utilizaram régua como representação de vigas e demonstração da influência de suas dimensões na ação da flambagem em pilares.

Segundo Pravia et al., (2004), a análise numérica envolvida na disposição de restrições para impedir a flambagem fora do plano não é simples, e é difícil de se ensinar ferramentas numéricas desse tipo para cursos de graduação, por tanto, resta mostrar o fenômeno qualitativo para permitir que esse conceito seja compreendido e devidamente aplicado na prática profissional sem necessidade de análises numéricas elaboradas.

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.

Neste sentido, Guerra (2020) observaram que a utilização de uma maquete didática permitiu aos acadêmicos um melhor aproveitamento do conteúdo desenvolvido durante sua atividade, atrelado a uma atmosfera problematizadora, aberta e horizontal, permitindo que a construção do conhecimentos se dê de forma leve e fluida.

#### **4. Considerações Finais**

Ao analisar os resultados experimentais, foi observado que o modelo didático da mesa sísmica transmitiu seus abalos sísmicos para o modelo estrutural do prédio. Esse fato foi comprovado pelos discentes através do cálculo das variáveis envolvidas neste sistema, demonstrando os efeitos das dilatações da estrutura, nos diferentes pavimentos do modelo estrutural. Desta forma, verificou-se a eficiência do modelo experimental, quando se utilizou essa ferramenta didática para comprovação dos cálculos realizados. Somado a isso, também observou-se que as avaliações qualitativas do modelo didático apresentaram grande potencial no sentido de facilitação do processo de aprendizagem dos conceitos, métodos e cálculos verificados nos modelos estruturais.

Com o desenvolvimento de cada fase da experimentação, foi percebido que os discentes foram observando, sequencialmente, os pontos estruturais mais solicitados em decorrência das forças impostas pelo próprio peso da estrutura. Também foi observado que os discentes apresentaram maior rendimento acadêmico quando se utilizaram desses modelos didáticos para comprovação visual do efeito das forças incidentes na estrutura.

Outra constatação pertinente é que, durante a experimentação com modelos didáticos, os discentes mostraram maior motivação e entusiasmo ao desempenhar um papel fundamental como agente ativo no processo de ensino-aprendizagem, interagindo com o docente e demais colegas do grupo de estudo.

Para uma maior obtenção, comparação e validação de dados, os autores recomendam que futuramente sejam feitos outros experimentos com modelos didáticos de estruturas prediais confeccionados com diferentes materiais.

Por fim, conclui-se que os conteúdos teóricos, estudados na disciplina de Mecânica Geral, do curso de Engenharia Civil, tornaram-se mais atrativos e motivantes após sua associação com a experimentação de modelos didáticos, já que obteve-se maior participação e criação por parte dos alunos.

## Referências

Almeida, N. P., & Santos, K. G dos. (2020). Ensino do Laboratório de Engenharia Química baseado em projeto: adsorção de gasolina empregando casca de banana. *Research, Society and Development*, 9 (3), 1-25.

Anastasiou, L. G. C., & Alves, L. P. (2012). *Processos de Ensino na Universidade: pressupostos para estratégias de trabalho em aula*. 10ª Ed. Univille.

Beer, F. P., & Dewolf, J. T. (2015). *Mecânica dos materiais*. (7a ed.), Porto alegre: AMGH.

Behrens, M. A. (2011). *O paradigma emergente e a prática pedagógica*. (5a ed.), Petrópolis: Vozes..

Brito, L. D., Santos, I. B. J., Ribeiro, J. L., Carvalho, L. V., & Lopes, M. R. S. (2017). 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. *Anais*. Buenos Aires.

Evans, P., Silver, P., & Mclean, W. (2009). *Sistemas Estruturais*. São Paulo: Blucher.

Guerra, L., Dalmaso, A. C., & Shetinger, M. R. C. (2020). O uso de maquete como ferramenta facilitadora do processo de ensino e aprendizagem na formação inicial de pedagogas/os. *Research, Society and Development*, 9(8), 1-24.

Lobosco, T., & Câmara, D. C. (2018). Desenvolvimento de modelos qualitativos para o ensino de estruturas. *PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção*, Campinas, SP, 9(3), 167-178.

Maziero, L. T. P. (2018). Ensino de topografia no curso de arquitetura e urbanismo por meio de aprendizagem ativa. *PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção*, Campinas, SP, 9(3), 179-191.

Moura, A. C., Carbonari, G., Aldo, A. A., Babugia, F., Zanluch, G., Proni, G., & Prieto, L. W. (2016). Desenvolvimento de um modelo reduzido didático qualitativo e quantitativo de treliça plana. In: XLV Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia, Natal/RN. *Anais*. Natal.

Norton, R. L. (2013). *Projeto de máquinas*. (4a ed.), Porto Alegre: Bookman.

Oliveira, M. S. (2008). *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.

Pereira A. S., Shitsuka, D. M., Parreira, F. J., & Shitsuka, R. (2018). *Metodologia da pesquisa científica*. [e-book]. Santa Maria. Ed. UAB/NTE/UFSM. Recuperado de [https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/15824/Lic\\_Computacao\\_Metodologia-Pesquisa-Cientifica.pdf?sequence=1](https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/15824/Lic_Computacao_Metodologia-Pesquisa-Cientifica.pdf?sequence=1).

Pravia, Z. M. C. A, Drehmer, G. A., & Della Vechia, A. F. (2004). Modelo qualitativos do comportamento da estabilidade lateral de treliças planas. In: COBENGE. *Anais*. Brasília.

Rao, S. *Vibrações mecânicas*. (2008). (4a ed.), São Paulo: Pearson Prentice Hall.

Salvadori, M. (2000). *The Art of Construction: projects and principles for beginning engineers & architects*. (3a ed.), Chicago: Chicago Review Press. 160p.

Teixeira, G. A. S. (2016). *Análise de estruturas porticadas através de modelação física*. Dissertação (Mestrado) Engenharia Civil / Estruturas. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Zanelatto, T. V. B. (2017). *Desenvolvimento de dispositivo didático para aulas práticas de vibrações*. 76 f. Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica) – Engenharia Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba.

**Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito**

Cláudio Silva Soares – 60%

Marcos Antônio Barros – 40%