

## Análise e pré-avaliação do comportamento estrutural com o uso do kit estrutural mola

## Analysis and pre-assessment of structural behavior regarding the use of the mola structural kit

### RESUMO

**Guilherme de Oliveira Lechado**  
[guilhermelechado@gmail.com](mailto:guilhermelechado@gmail.com)  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, Paraná, Brasil

**Laura Eckert Foguesatto**  
[laura.foguesatto@hotmail.com](mailto:laura.foguesatto@hotmail.com)  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, Paraná, Brasil

**Heloiza Aparecida Piassa Benetti**  
[hpiassa@utfpr.edu.br](mailto:hpiassa@utfpr.edu.br)  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, Paraná, Brasil

Com o passar dos anos, foram surgindo cada vez mais métodos, softwares e estudos para simular e prever o comportamento estrutural de edifícios, sendo este um fator decisivo no dimensionamento e análise de estruturas. Portanto, o objetivo deste trabalho é analisar o comportamento mecânico das estruturas, através de deformações e flechas obtidas com o Kit Estrutural Mola, comparando seus resultados com o de estruturas equivalentes lançadas no software FTOOL, afim de comprovar sua eficácia para o uso e demonstração em sala de aula, facilitando o ensino e visualização dos alunos das disciplinas de estruturas. Após realizado diversos experimentos tanto em estruturas isostáticas como hiperestáticas, o Kit Estrutural Mola apresentou resultados confiáveis, possuindo uma deformação condizente com o esperado de uma estrutura em escala real, apesar de suas limitações.

**PALAVRAS-CHAVE:** Kit Estrutural Mola. FTOOL. Deformações.

### ABSTRACT

Over the years, more and more methods, softwares and studies have emerged to simulate and predict the structural behavior of buildings, which is a decisive factor in the design and analysis of structures. Therefore, the objective of this article is to analyze the mechanical behavior of the structures, through deformations and deflections obtained with the Mola Structural Kit, comparing its results with the equivalent structures launched in the FTOOL software, in order to prove its effectiveness for use and demonstration in the classroom, facilitating the teaching and visualization of students of structural disciplines. After many experiments on both isostatic and hyperstatic structures, the Mola Structural Kit showed reliable results, with a deformation consistent with the expected of a full-scale structure, despite its limitations.

**KEYWORDS:** Mola Structural Kit. FTOOL. Deformations.

**Recebido:** 19 ago. 2020.

**Aprovado:** 01 out. 2020.

**Direito autoral:** Este trabalho está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.



## INTRODUÇÃO

Atualmente, existem diversos softwares e modelos experimentais que simulam e colaboram para uma avaliação qualitativa do comportamento estrutural das edificações, guiando o engenheiro para a solução mais adequada. De acordo com Ferreira, et al, 2005, os modelos experimentais em pesquisas podem ser definidos como a materialização de uma parte da realidade, devendo assim apresentar uma precisão adequada, por meio de comprovação prévia e também pela demonstração das limitações em relação à realidade que irá representar, auxiliando na compreensão dos fenômenos naturais.

O arquiteto Márcio Sequeira de Oliveira em seu trabalho: Maquete Estrutural, um instrumento para o ensino de Estruturas em Escolas de Arquitetura (2008), propõe avaliar o comportamento de um modelo estrutural qualitativo, denominado Maquete Estrutural, através de comparações com simulações computacionais, de estruturas em escala reduzida, de maneira a tornar tais disciplinas menos abstratas, mais intuitivas e, conseqüentemente, inseridas no contexto da realidade dos espaços arquitetônicos.

O autor, destaca ser bastante complicado observar deformações e deslocamentos em estruturas na construção civil, uma vez que as mesmas apresentam rigidez elevada e, as deformações e deslocamentos se tornam imperceptíveis a olho nu. Ao utilizar maquetes estruturais à base de materiais elásticos como molas, podemos aplicar diferentes carregamentos, sem a quantificação das grandezas físicas envolvidas (apenas o dedo), para representar o que ocorre nas estruturas reais. Com as cargas é possível provocar deformações visíveis nos elementos do modelo estrutural, apresentando uma melhor visualização de como os sistemas estruturais reagem a diferentes carregamentos.

Os processos de concepção estrutural contam com a simulação numérica, para testar o comportamento das propostas estruturais concebidas. Adicionalmente, podemos utilizar ambientes computacionais que permitem a experimentação exploratória de estruturas que auxiliem no processo de concepção. No entanto, estas ferramentas não prescindem de conhecimento prévio sobre o conhecimento mecânico das estruturas, que, segundo Hosdorf (1974), pode ser compreendido por meio de observação direta, pela simulação produzida na compreensão da teoria ou por experimentos e modelos físicos. Assim, a simulação numérica permite visualizar as flechas e rotações que ocorrem na estrutura, permitindo que este comportamento se torne evidente, aos nossos sentidos, por meio dos modelos físicos.

A proposta inicial deste trabalho foi de analisar o comportamento mecânico das estruturas e realizar a pré-avaliação do comportamento estrutural com o uso do Kit Estrutural Mola, evidenciando e comparando suas deformações e flechas com as mesmas de estruturas equivalentes geradas pelo programa FTOOL. A proposta não busca uma ferramenta para substituir os procedimentos de concepção estrutural, mas estimular o aprendizado intuitivo dos comportamentos estruturais, auxiliando a relacionar o comportamento mecânico observado nos modelos físicos com a aplicação dos modelos computacionais (FTOOL).

## MATERIAIS E MÉTODOS

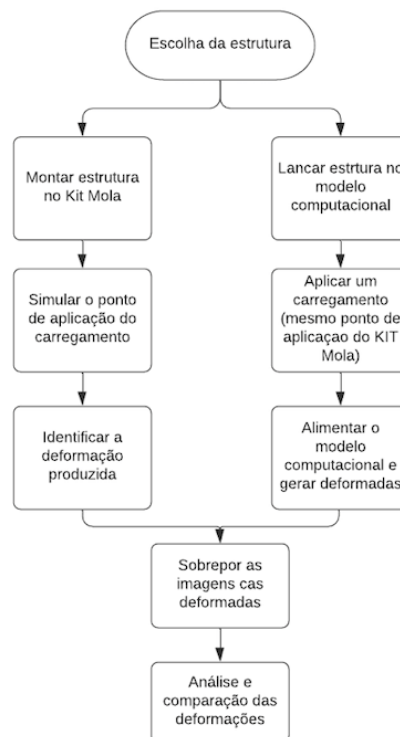
A fim de validar a comparação da deformação causada em uma estrutura de escala reduzida com a deformação de uma estrutura pré-fabricada real, foi utilizado o Kit Estrutura Mola como modelo de maquete estrutural e o FTOOL como modelo computacional representando as deformações reais das estruturas.

Com o Kit Estrutural Mola, as deformações ocorrem de maneira mais visível, não sendo preciso aplicar uma força exagerada nas peças utilizadas. Sendo assim, foram montados pórticos isostáticos e hiperestáticos com o Kit Mola, e uma vez prontos, aplicada uma carga com o próprio dedo no ponto de interesse para visualizar a deformação produzida.

Após a aplicação da carga com o dedo e feito o registro fotográfico de cada estrutura, as mesmas foram lançadas no software estrutural FTOOL, com medidas em escalas equivalentes e propriedades físicas de uma estrutura em concreto armado, respeitando sempre a mesma posição de qualquer apoio ou rótula que a estrutura possuísse. Assim, foi aplicada uma força qualquer na mesma direção e sentido da força aplicada com o dedo da estrutura do Kit Mola, observando se a deformação formada foi, ou não, igual ao pórtico construído em escala reduzida.

O mesmo foi feito para diferentes estruturas, trocando sempre as posições dos apoios, rótulas e diferentes pontos de aplicação de carga, conforme demonstra o fluxograma abaixo (Figura 1), buscando demonstrar de forma intuitiva, se o modelo reduzido, pode ou não ser utilizado como uma ferramenta fácil de visualização das deformações de estruturas reais, em concreto armado na construção civil.

Figura 1 - Fluxograma da metodologia.



Fonte: Autoria própria (2020).

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com este experimento, tentou-se construir os mais diversos pórticos para que fosse possível validar as comparações, sejam eles pórticos isostáticos ou hiperestáticos, trocando apoios, utilizando engastes, nós rígidos, rótulas... Porém notou-se uma pequena dificuldade e limitação em estruturas isostáticas, visto que com o Kit Mola não foi possível obter um apoio de primeiro gênero, portanto, para que a estrutura fosse isostática, procurou-se a combinação de apoios de segundo gênero, rótulas e engastes que fizesse com que o Grau de Hiperestaticidade ( $g$ ) da estrutura fosse igual a zero, tornando-se assim isostática, conforme mostra a equação (1) a seguir:

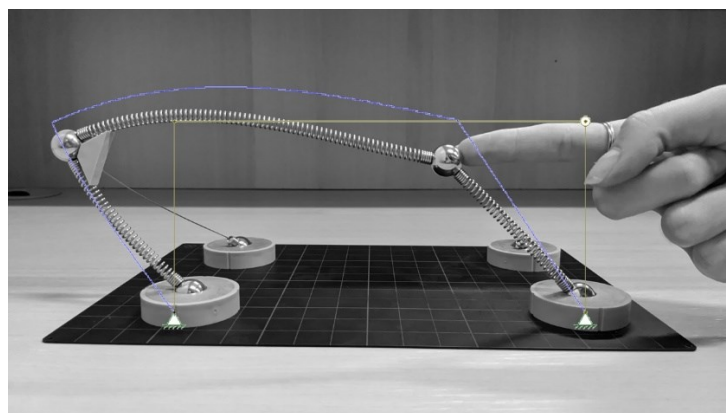
$$g = \text{número de reações de apoio} - \text{número de equações de rótula} - 3 \quad (1)$$




Sendo 3 o número de equações universais da Estática no plano ( $\Sigma F_x=0$ ,  $\Sigma F_y=0$ ,  $\Sigma M_z=0$ ). Caso o valor de  $g$  seja igual a zero, a estrutura é então ISOSTÁTICA, se maior que zero a estrutura torna-se HIPERESTÁTICA.

A fim de melhorar a comparação da deformação entre o modelo físico (Kit Mola) e o Modelo computacional (FTOOL), as imagens das deformadas foram sobrepostas em uma mesma imagem.

Na Figura 2, apresenta-se uma estrutura isostática, sendo o canto superior esquerdo um nó rígido e o canto superior direito uma rótula, e tendo como base dois apoios de segundo gênero, obtendo assim,  $g=0$ . A direção e sentido da força aplicada na estrutura do FTOOL encontra-se no mesmo lugar e direção que a força aplicada pelo dedo, ou seja, na rótula e na horizontal, no sentido negativo do eixo imaginário horizontal X. É possível observar que tanto a deformação física da estrutura, como a deformação gerada pela Ftool (linha azul), tende a ser parecidas, assim como seus pontos de tração, compressão, e devidas rotações, representando de forma correta a deformação real da estrutura.

Figura 2 - Deformações sobrepostas em uma estrutura isostática, com força aplicada na rótula.



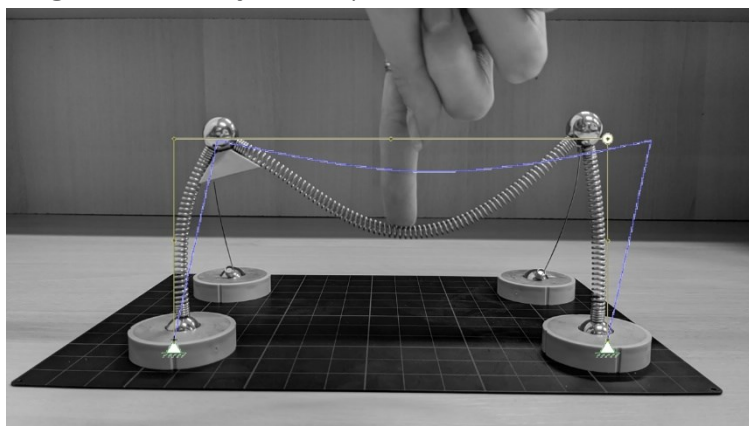
	Estrutura sem deformação - Ftool
	Estrutura deformada – Ftool
	Estrutura deformada– Kit mola

Fonte: Autoria própria (2020).

Ainda na mesma estrutura, aplicou-se uma carga horizontal no sentido positivo do eixo X, no meio da barra/pilar esquerda do pórtico, e assim como no primeiro exemplo, a deformação ocorreu no mesmo formato encontrado em ambos os modelos, cumprindo o objetivo de representar a deformação de uma estrutura real.

Contudo, ao aplicar uma carga vertical na barra horizontal do mesmo pórtico (Figura 3), a deformação obtida pela Kit Mola diferiu da deformação real gerada pelo FTOOL. Acredita-se que essa diferença tenha ocorrido devido ao fato do Kit Mola ser muito sensível ao toque, impossibilitando a aplicação de uma carga maior, para não desmontar, visto que a deformação gerada pelo FTOOL está representada de maneira exagerada. Também, esta diferença pode ter ocorrido devido a problemas na execução, levando em consideração o difícil manuseio do dedo, para que fique totalmente perpendicular a barra, podendo isto ter causado as alterações.

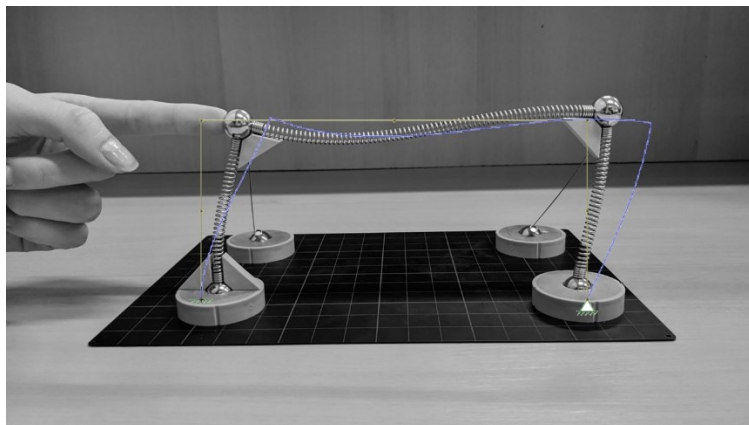
Figura 3 - Deformações sobrepostas em uma estrutura isostática.



Fonte: Autoria própria (2020).

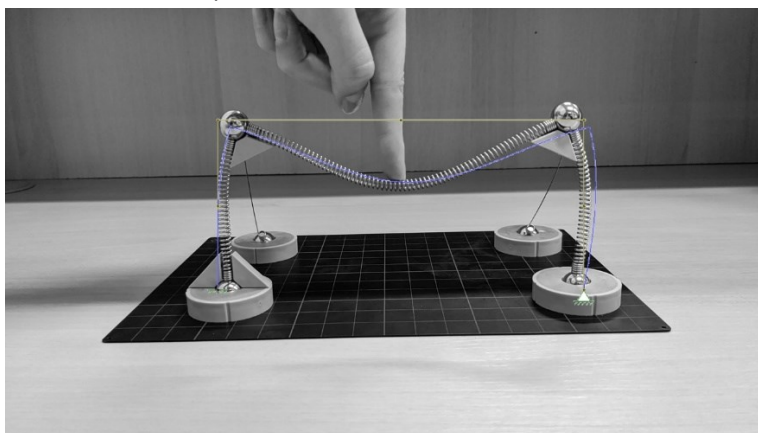
As Figuras 4 e 5 representam uma estrutura hiperestática, tendo dois nós rígidos nos cantos superiores, um engaste na base inferior esquerda e um apoio de segundo gênero na base inferior direita.

Figura 4 - Deformações sobrepostas em uma estrutura hiperestática.



Fonte: Autoria própria (2020).

Figura 5 - Deformações sobrepostas em uma estrutura hiperestática, com força vertical aplicada no meio da barra horizontal.

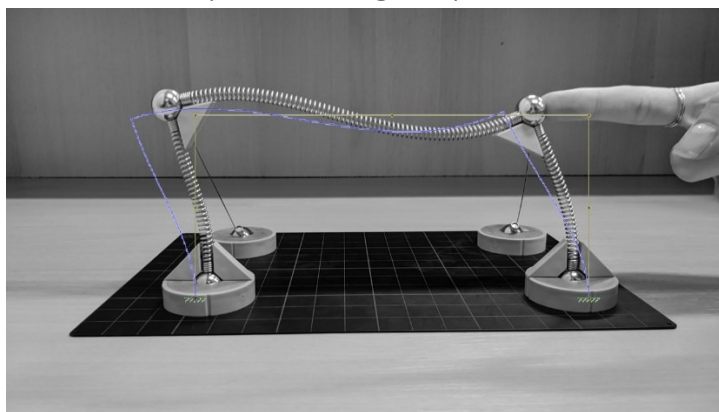


Fonte: Autoria própria (2020).

A força na Figura 4 foi aplicada horizontalmente no sentido positivo do eixo X no nó rígido esquerdo em ambos modelos e na Figura 5 aplicou-se uma carga vertical no meio da barra horizontal. A deformação encontrada foi semelhante e satisfaz o esperado de uma estrutura real, porém foi observado que com estruturas engastadas a força aplicada pelo dedo precisa ser ainda menor devido ao risco da barra vertical engastada, se desprender da ligação rígida inferior mais facilmente, pois o ímã que segura a ligação rígida com a barra não suporta um esforço muito grande. Com isso, a deformação representada pelo FTOOL é mais visível que a do Kit Mola, mas mesmo assim, ambas tendem na mesma direção e sentido.

Quando se enrijece ainda mais a estrutura, utilizando na base dois engastes e nos cantos superiores dois nós rígidos com a força aplicada horizontalmente em um destes nós, no sentido negativo de X, a deformação se torna ainda mais evidente e diferente de exemplos mais simples (Figura 6). Mesmo com essa deformação mais complexa, o Kit Mola cumpriu com sua função e se deformou da maneira que se espera que uma estrutura de concreto real se deforme, conforme mostra o FTOOL.

Figura 6 - Deformações sobrepostas em uma estrutura hiperestática, com força horizontal aplicada no nó rígido superior direito.



Fonte: Autoria própria (2020).

## CONCLUSÕES

Após realizado o experimento e feita as comparações do modelo físico com o modelo computacional, foi possível observar a importância do uso do Kit Mola como uma ferramenta para o aprendizado intuitivo dos comportamentos estruturais em sala de aula, visto que os alunos muitas vezes podem ter dificuldade em visualizar tais deformações e flechas.

Existem algumas limitações conforme citado anteriormente, pois o uso de apoios de primeiro gênero por exemplo se torna inviável no Kit Mola, mas não chega a ser um problema, visto que, a grande maioria das estruturas de concreto armado hoje são hiperestáticas e não possuem apoios de primeiro gênero. Há certas limitações também com relação a intensidade da força aplicada no Kit Mola, uma vez que, o mesmo é sensível ao toque, podendo alterar a configuração final com o excesso de força.

Quanto as estruturas hiperestáticas realizadas neste trabalho, não foram encontradas grandes diferenças nas comparações de suas deformações, rotações e flechas, comprovando a eficiência do Kit Mola, como um auxílio, ao se relacionar o comportamento mecânico observado nos modelos físicos com a aplicação dos modelos computacionais (FTOOL). Portanto, este modelo estrutural reduzido se mostra eficaz para o uso e demonstração em sala de aula, facilitando o ensino e visualização dos alunos das disciplinas de estruturas.

## REFERÊNCIAS

FERREIRA, L.M.; HOCHMAN, B.; BARBOSA, M.V.J. Modelos experimentais em pesquisa. São Paulo, p.1, 2005. Disponível em: <http://www.scielo.br/acb>. Acesso em: 20 jun. 2020.

OLIVEIRA, M.S. Maquete Estrutural: Um instrumento para o ensino de estrutura em escolas de arquitetura, 2008. Disponível em: [https://www.abcem.org.br/construmetal/2006/arquivos/Maquetes%20Estrutura is.pdf](https://www.abcem.org.br/construmetal/2006/arquivos/Maquetes%20Estrutura%20is.pdf). Acesso em: 20 jun. 2020.

HOSSDORF, Heinz. Model analysis of structures. New York: Van Nostrand Reinhold, 1974.

MOLA STRUCTURAL KIT WEBSITE. Disponível em: <https://molamodel.com/>. Acesso em: 21 jun. 2020.

FTOOL. Disponível em: <https://www.ftool.com.br/Ftool/>, Acesso em: 2019 e 2020.