

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/331131635>

Modelos Didáticos para Exploração e Compreensão Estrutural

Conference Paper · June 2017

CITATIONS

0

READS

607

1 author:



Tales Lobosco

Federal University of Minas Gerais

36 PUBLICATIONS 23 CITATIONS

SEE PROFILE

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



Espaço Urbano em Cidades Árabes [View project](#)



Ferramentas de realidade virtual aplicadas à arquitetura [View project](#)



MODELOS DIDÁTICOS PARA EXPLORAÇÃO E COMPREENSÃO ESTRUTURAL

LOBOSCO, Tales

UFMG, e-mail: tales@lobosco.com.br

RESUMO

A utilização de modelos qualitativos didáticos no ensino da arquitetura deve se constituir como uma ferramenta que permita a visualização dos esforços e a compreensão do funcionamento das peças e sistemas estruturais de maneira intuitiva e clara por parte dos alunos. Estes modelos não devem buscar a tradução direta do comportamento da estrutura em escala, tampouco reproduzir um comportamento preciso e realístico, mas ser capaz de transmitir o padrão de funcionamento e demonstrar as deformações a que uma estrutura é submetida, ou seja, transmitir conceitualmente a lógica interna e os padrões de comportamento que fazem uma estrutura funcionar ou romper. Entretanto, como ferramenta de aprendizado, os modelos devem ser simples e flexíveis para permitir a exploração de diversas situações e variantes, ou ainda, a criação de diferentes possibilidades estruturais para uma mesma proposta. Este trabalho se desenvolve como uma discussão teórica com finalidade didática e apresenta os resultados preliminares obtidos com o propósito de desenvolvimento de um modelo estrutural que permita a exploração aberta e, ao mesmo tempo possua um comportamento que permita a visualização dos esforços atuantes, das deformações verificadas e da influência da forma na estrutura.

Palavras-chave: Modelo estrutural; Sistema estrutural; Ensino.

ABSTRACT

The use of didactic elastic models should be a tool, in structural and architectural classes, that allows the understanding of the structural behavior in an intuitive and clear way. These models do not correspond to a direct translation of the structure in scale, nor to a precise and realistic reproduction of the structural action. Instead, they aim to be able to transmit the behavioral pattern through a conceptual logic that shows: how the structure reacts to the forces applied; how it works, support or failures to the internal tensions their parts are submitted to. However, as a learning tool, the models should be simple and flexible to allow an exploration of different situations and variants. Also, they should allow a creation of different structural possibilities for the same proposal. This work develops a theoretical discussion, with didactic purposes, and presents the preliminary results obtained in the quest of the development of a structural model that allows an open exploration and, at the same time, possesses a behavior that allows the visualization of the forces, deformations and the Influence of the shape on the structure behavior.

Keywords: Structural model; Structural systems; Learning system.

1. INTRODUÇÃO

A partir das transformações que afetaram a sociedade no século XX, as construções do período puderam contar com a plasticidade do concreto armado e a leveza das estruturas metálicas, abrindo caminho para novas relações construtivas e espaciais. Entretanto, o instrumental existente para o projeto e a previsão do comportamento destas novas técnicas precisava ser igualmente ajustado. A estabilidade destas soluções não obedecia mais à mesma relação linear dos antigos arcos romanos e das abóbadas das catedrais medievais, diretamente vinculados à geometria da construção, "de maneira que seus projetistas podiam ampliar em escala, diretamente, as informações obtidas a partir de uma maquete" (SARAMAGO, 2011, p.60).

Ainda no século XVII, Hooke já havia estabelecido a interrelação entre o comportamento catenário de correntes penduradas e a forma ideal para abóbadas e arcos de alvenaria, através do rebatimento das forças (ADDIS, 2007). Esta solução invertida traduzia em compressão as relações de tração e permitiu a criação de artefatos de geometria complexa, entretanto, o emprego desse mesmo processo seria inviável para a concepção de estruturas sob flexão ou sujeitas a flambagem, tendo em vista que tais fenômenos não variam linearmente em função da escala (SARAMAGO, 2011).

Assim, os modelos capazes de simular o comportamento em escala, de maneira a permitir a previsão de carregamento e colapso de uma estrutura, tiveram que aguardar o trabalho de Froude, que, apenas no séc. XIX, forneceu as bases necessárias para a correta transposição dos dados fornecidos pelas maquetes (SARAMAGO, 2011). Os modelos qualitativos, ainda que não sofressem as mesmas restrições, surgem apenas em 1932, com Beggs, e se estabelecem somente a partir dos anos 1960 (HARRIS; SABNIS, 1999).

2. MODELOS ESTRUTURAIS

Logo no início de sua obra, Harris e Sabnis (1999) adotam a definição de Janney et. al a respeito dos modelos estruturais:

Um modelo estrutural é qualquer elemento estrutural ou montagem de elementos estruturais construída em uma escala reduzida (em comparação a estrutura em tamanho real) para ser testado se utilizando da interpretação das leis de similaridade para interpretar os resultados (JANNEY et al., 1970 apud HARRIS; SABNIS, 1999, p.2).

Deste modo, um modelo reduzido seria adotado para identificar, de maneira simples, se será possível, ou não, alcançar um equilíbrio, mantendo-se as proporções determinadas, independentemente do tamanho do modelo em relação à obra real (TORROJA, 1957).

Existem diversas classificações diferentes para os modelos estruturais, de acordo com os distintos parâmetros adotados. Entre elas está a de Harris e Sabnis (1999) que organizam uma classificação segundo as características e finalidades dos modelos, estabelecendo, assim, uma diferenciação essencial para o propósito deste artigo.

Desta classificação destacamos três tipos essenciais: O **Modelo Elástico**: Ou modelo Qualitativo, modelo que possui semelhança geométrica direta com a estrutura proposta, mas

feito a partir de material homogêneo e elástico que não necessariamente reproduz as características dos materiais originais. Este modelo é restrito à análise do comportamento elástico da estrutura proposta; O **Modelo Indireto**, um tipo especial de modelo Elástico, utilizado para determinar reações de apoios e esforços internos resultantes. Entre eles se destacam os modelos invertidos de Hooke e Gaudi, simulando arcos pela analogia com o comportamento de cordas penduradas (OLIVEIRA, 2008); E o **Modelo de Esforço**: Também chamado de modelo realístico, é construído com materiais similares à estrutura proposta, de maneira que se possa prever o comportamento estrutural, as reações ao carregamento, e sua ruptura.

Em um modelo de esforço encontraremos uma grande preocupação construtiva, no sentido de se obter uma construção realística. É preciso se certificar que as forças variem de maneira homotética ao longo da escala da construção. É necessário um ajuste preciso das dimensões e características dos elementos do modelo para "traduzir" os esforços e medidas de acordo com a alteração dimensional, garantindo a equivalência de escala também em relação a engastes e junções.

Por outro lado, modelos construídos para a visualização dos esforços, permitem certa flexibilidade construtiva, pois seu comportamento não deve mimetizar, em escala, o da estrutura final, mas acentuar, e tornar visíveis, as forças atuando sobre a estrutura e o modo como ela se deforma, resiste ou colapsa.

Os modelos qualitativos têm a vantagem de se adaptar facilmente a mudanças de condições ou atuações na estrutura proposta (OLIVEIRA, 2008), pois não são previstos para representarem um tipo específico de estrutura, mas para se adaptarem e refletirem o comportamento de toda uma gama de sistemas similares.

3. MODELOS QUALITATIVOS NO ENSINO DE ESTRUTURAS

É de extrema importância que qualquer pessoa envolvida na concepção estrutural deva ter a habilidade de visualizar o comportamento de uma estrutura em cada situação e compreender a influência da forma em seu comportamento (HILSON, 1993). No mesmo caminho, Mario Franco já lembrava, no 1º Encontro de Professores de Estruturas para Escolas de Arquitetura, a importância da invenção estrutural como resultado da bem-sucedida integração estrutura-arquitetura (1974), integração esta que só é possível através de um profundo conhecimento conceitual dos sistemas estruturais. E o próprio Franco sugeria o uso dos modelos didáticos simples como método para se conseguir esta compreensão.

Modelos didáticos têm sido utilizados há muito tempo para transmitir os conceitos da engenharia estrutural aos estudantes. Já em 1934, Rathbun simulava o comportamento de vigas a partir de peças de borracha e unia blocos de madeira através de uma corda para demonstrar como um arco se ajusta sob ação de uma carga distribuída, e como reage quando submetido a cargas concentradas (HARRIS; SABNIS, 1999). Entretanto, ainda é possível perceber que, de maneira geral, poucos autores valorizam esta abordagem da estrutura como fenômeno, e a grande maioria ainda prioriza a avaliação dos aspectos técnicos, em detrimento

dos conhecimentos qualitativos e intuitivos (OLIVEIRA, 2008).

Na direção oposta, encontramos modelos elaborados de maneira, mais ou menos, improvisada em salas de aula, que, por sua simplicidade, e por serem bastante intuitivos, se tornam "clássicos" na representação de determinadas situações e acabam sendo também reproduzidos por diversos autores. Assim, temos o uso de folhas de papel - abertas, em arco ou dobradas - demonstrando as propriedades da forma na atuação das estruturas, que são reproduzidas em livros como Allen e Zalewski (2010), Salvadori (2006) e Rebello (2000). Também é frequente o uso de uma régua comum para a demonstração da influência das dimensões em uma viga, assim como da ação da flambagem em pilares, reproduzidos em Evans et al. (2009), Salvadori (1990) entre outros.

Também encontramos, em diversos autores, outros modelos e experimentos mais específicos, como os apresentados por:

Salvadori (1990), que propõe a aplicação de uma camada de fita adesiva na face de uma barra alongada de espuma, contraposta à espuma nua, para que seja possível visualizar a atuação da armadura metálica em uma estrutura de concreto, através da redução na deformação do modelo, pelo enrijecimento provocado pela fita;

Evans et. al. (2009) e Baixas (2010), que exploram as correlações com o corpo humano e a possibilidade de recriação destas estruturas e esforços, se utilizando dos próprios alunos.

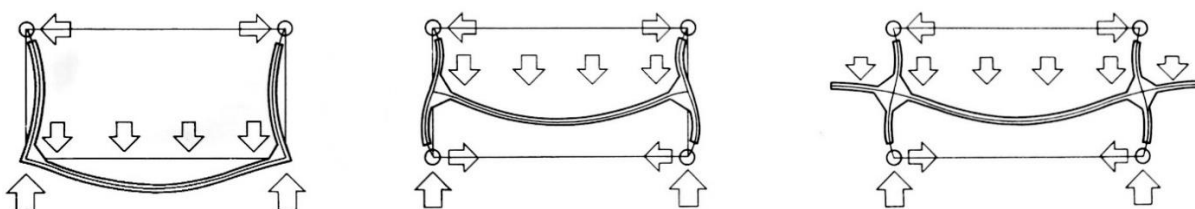
Figura 1 – O corpo como modelo estrutural.



Fonte: Evans et. al. 2007, p.21.

Com a mesma intenção didática dos modelos qualitativos, Engel (2001), Torroja (1957), Rebello (2000) e Schodek; Bechthold (2015) se utilizam de desenhos elaborados com ênfase na visualização do comportamento e das deformações das estruturas, acentuando a atuação das forças e as reações existentes nas estruturas.

Figura 2 – Desenhos didático-estruturais.



Fonte: Engel, 2001, p.189.

Estes desenhos trazem uma abordagem bastante eficiente para a visualização das deformações, mas não permitem a manipulação, a alteração de intensidade, a posição dos esforços ou a recombinação exploratória dos esquemas.

A disciplina Modelagem dos Sistemas Estruturais do Departamento de Estruturas da UFRJ, coordenada pelo Prof. Paulo Fernando N. Rodrigues se utiliza de modelos simples para a compreensão dos diversos tipos de sistemas estruturais.

Figura 3 – Modelos Estruturais de Rodrigues (UFRJ).



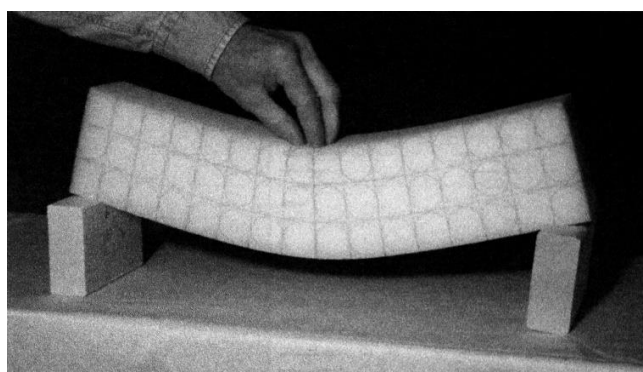
Fonte: Site da disciplina (<http://www.fau.ufrj.br/apostilas/mse/Index.htm>).

Segundo o próprio Rodrigues, os modelos apresentam um bom resultado na compreensão do "sentimento" do comportamento e da configuração deformada, entretanto não se mostraram muito eficientes para a identificação de regiões tracionadas e comprimidas, assim como das reações de apoio (SARAMAGO, 2011).

Entretanto, existem exemplos, que, mantendo as características de simplicidade e de experimentação, conseguem não apenas demonstrar as deformações, e reações, da estrutura, mas também permitir a visualização das áreas submetidas à tração ou compressão.

Allen e Zalewski (2010) se utilizam de uma barra de espuma graduada, que, através da aproximação ou afastamento das linhas existentes ao longo da peça, permitem a visualização da condição das forças internas.

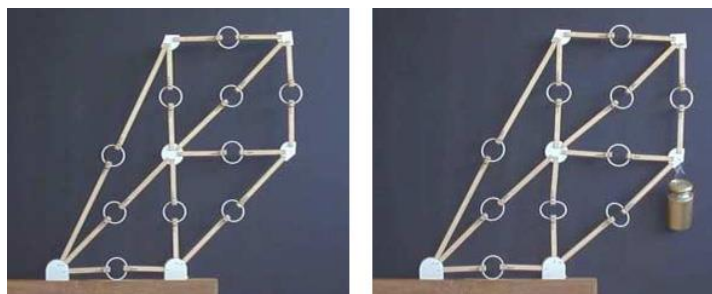
Figura 4 – Modelos em espuma graduada.



Fonte: Allen; Zalewski, 2010, p.464.

Nesta mesma linha, Pravia e Orlando (2001) desenvolvem um sistema de anéis flexíveis em treliças planas, que permite a visualização dos esforços nas barras da estrutura, não apenas diferenciando compressão e tração, mas também permitindo a visualização da grandeza das forças atuantes, identificadas através da intensidade da deformação dos anéis.

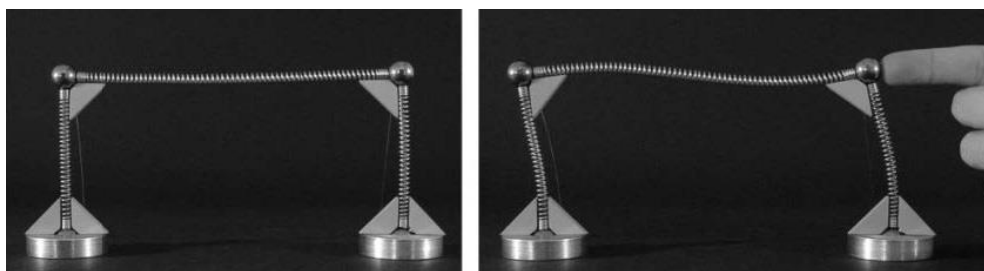
Figura 5 – Modelos de treliças planas com anéis flexíveis.



Fonte: Pravia; Orlando, 2001.

Oliveira (2008), através do emprego de molas no lugar das peças de uma estrutura, elaborou o kit Mola, que permite a visualização tanto das deformações por flexão quanto das condições de tração e compressão nas peças. Entretanto, a rigidez necessária para a estabilidade do modelo tornou a diferenciação entre tração e compressão bastante sutil. O Mola permite, com a ajuda de diversos conectores e peças acessórias, a montagem de um significativo número de composições e variantes, mas o perfil circular e homogêneo das barras, e os parâmetros rígidos do conjunto, restringem a visualização dos efeitos de forma e dimensão das peças no comportamento da estrutura.

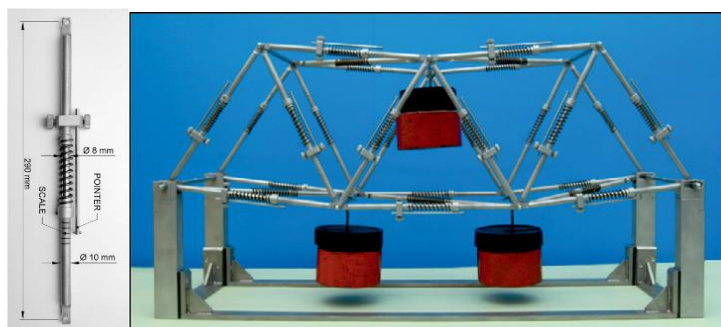
Figura 6 – Estruturas montadas com o kit Mola.



Fonte: Oliveira, 2008.

Também é possível encontrar modelos que abrem mão da simplicidade em busca de resultados mais detalhados. São modelos extremamente bem construídos, com significativa precisão e detalhamento técnico, entretanto, além de caros, estes modelos acabam sendo muito específicos, com utilização restrita a um tipo definido de análise.

Figura 7 – Treliças com medidores de esforços.



Fonte: Bigoni et al., 2012.

A precisão utilizada nestes modelos limita a flexibilidade, tornando difícil uma exploração mais ampla no processo de aprendizado, restringindo a interação e as possibilidades de criação de um ferramental capaz de interagir com o processo de projeto em arquitetura.

A qualidade de um modelo didático não deve ser medida através da efetiva e rigorosa tradução do comportamento da estrutura em escala, nem mesmo pela reprodução dos valores numéricos de resistência e ruptura. Seu comportamento não deve necessariamente ser realístico, visto que muitas vezes precisa exagerar as reações, para permitir a visualização das deformações a que uma estrutura é submetida. Um modelo didático deve ser capaz de transmitir, de fazer compreender a atuação dos esforços e tornar perceptíveis as deformações que ocorrem na estrutura, enfim, deve transmitir conceitualmente a lógica interna e os padrões de comportamento que fazem uma estrutura funcionar ou romper.

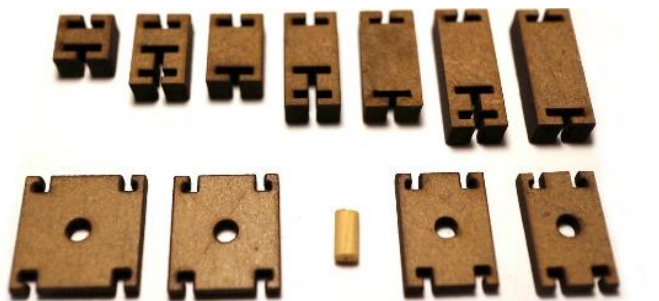
4. MODELO DIDÁTICO CONFIGURÁVEL

A proposta deste trabalho é de desenvolver um modelo qualitativo didático, que seja construído a partir de peças simples e configuráveis, permitindo o ajuste simultâneo de fatores formais, dimensionais e de resistência. A construção adotada para o modelo proposto se organiza através do uso de pequenos blocos rígidos unidos por tendões elásticos¹, esta solução foi adotada por permitir tanto a representação das deformações e reações, quanto dos comportamentos de tração e compressão apresentados pelo sistema.

4.1 Construção do Modelo

Para a elaboração do modelo, desenvolvemos um grupo de peças básicas com medidas padronizadas, que podem ser articuladas de diferentes maneiras. Nos protótipos apresentados utilizamos dois conjuntos de blocos de MDF cortados à laser: o Bloco 1, com largura de 10mm e alturas entre 10 e 25mm; e o Bloco 2, com altura de 20mm e larguras entre 14 e 20mm.

Figura 8 – Conjuntos de blocos utilizados.



Fonte: Foto do autor.

¹ A proposta de um modelo composta por blocos e tendões, não é única: em 1963, Godden desenvolveu um modelo de blocos rígidos com tendões elásticos que passavam através deles. Não havia, entretanto, a preocupação com a visualização das deformações ou comportamento estrutural, Godden buscava calcular a carga de colapso, em estruturas metálicas, simulando rótulas plásticas (HARRIS; SABNIS, 1999).

As peças estruturais do modelo são formadas a partir da união dos blocos por meio de elásticos ortodônticos. A escolha deste material se deu pela facilidade de serem encontrados e por sua apresentação em uma gama de tamanhos padronizados, com três resistências distintas para cada tamanho e a possibilidade de utilização de cores distintas.

Figura 9 – Tipos de elásticos utilizados.



Fonte: Foto do autor.

Esta concepção foi elaborada para permitir a montagem, de maneira relativamente fácil, de diversas configurações estruturais distintas e que estas configurações pudessem ser testadas com diferentes dimensões - alterando o tipo de bloco aplicado - e com diferentes resistências - a partir do uso dos diferentes elásticos - em pontos específicos da estrutura.

Outras peças foram testadas, tanto em MDF quanto em EVA, mas acabaram sendo descartadas por terem a montagem mais complexa e por seu comportamento não se mostrar adequado à visualização dos fenômenos. Por fim, nos exemplos apresentados, utilizamos apenas dois tamanhos de cada peça, pois buscávamos apresentar as formas de articulação dos elementos e não esgotar as possibilidades exploratórias. Assim, principalmente por se tratar de um modelo em desenvolvimento, a gama mais ampla de elementos permanece sendo parte importante do conjunto, a ser estudada, e complementada, em ensaios futuros.

4.2 Bloco 1: Montagens lineares

As primeiras experiências realizadas com o modelo foram montagens lineares contínuas, simulando uma viga bi engastada, com blocos de mesmo tamanho e elásticos fortes em toda a extensão superior e inferior da viga. Ao aplicarmos a carga, podemos ver que o modelo reage, permitindo visualizar as regiões sob tração, pelo alongamento dos elásticos, e o desenho esquemático de sua deformação.

Figura 10 – Viga bi engastada contínua.



Fonte: Foto do autor.

Nestas montagens, aparentemente as zonas sob compressão não solicitavam a ação dos reforços, por isso experimentamos uma configuração estrutural semelhante, mas, posicionando os elásticos apenas nas áreas sob tração, deixando as zonas comprimidas apenas em contato. Percebemos que o modelo não demonstra alteração evidente na deformação por

momento fletor, mas o cisalhamento entre os blocos aparece mais evidente e também fica mais significativa a possibilidade de torção lateral da peça.

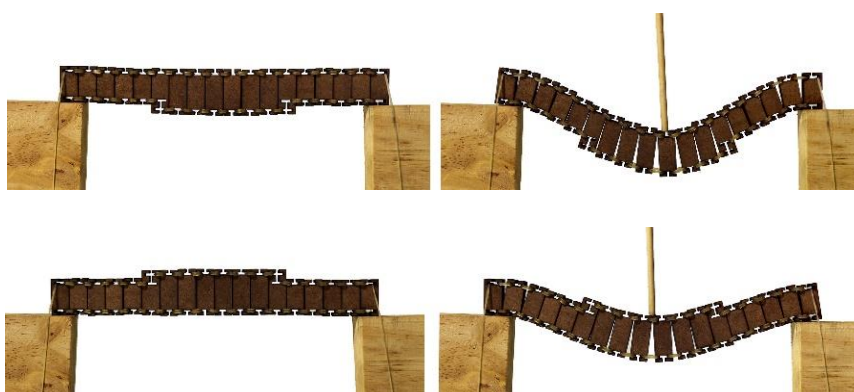
Figura 11 – Viga bi engastada com reforços apenas em zonas sob tração.



Fonte: Foto do autor.

Em ambas as montagens, as zonas sob efeito do momento fletor máximo ficaram bastante evidentes, tanto pela deformação da peça, quanto pelo efeito de tração nos elásticos. Assim, para combater este efeito, substituímos as peças no trecho central da montagem, aumentando a dimensão da viga neste setor. Preparamos esta montagem para visualizar o efeito do aumento da dimensão, inserida primeiro na parte inferior e, em seguida, na parte superior, retomando os reforços em toda extensão da peça.

Figura 12 – Vigas com aumento da dimensão nas áreas de maior momento fletor.



Fonte: Foto do autor.

Com esta nova configuração, percebemos que o modelo permite a visualização dos efeitos da dimensão das peças no comportamento de uma estrutura: o ajuste na altura da viga provocou uma significativa redução na deformação das zonas submetidas à flexão.

Em seguida, experimentamos o comportamento do modelo com vigas bi apoiadas, com balanços e com aplicação de carregamento em mais de um ponto, simultaneamente.

Figura 13 – Vigas apoiadas e com balanço.

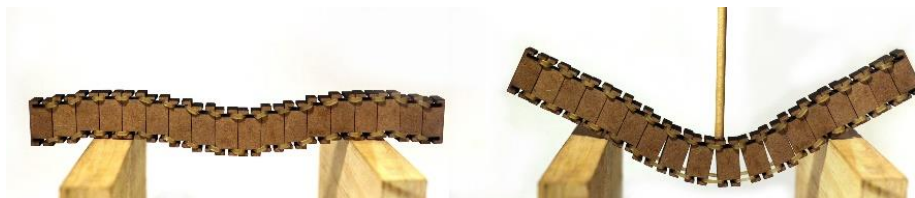


Fonte: Foto do autor.

Por fim, testamos a montagem linear alterando a resistência dos elásticos para identificar

a influência dos reforços no comportamento do modelo. A montagem com elásticos leves nos permitiu identificar deformações na peça apenas com o peso próprio da viga além de apresentar uma deformação bem mais acentuada quando submetida ao carregamento.

Figura 14 – Vigas com resistência reduzida.



Fonte: Foto do autor.

A versatilidade de alteração das características da montagem permite a combinação entre a percepção da influência dos reforços, pela alteração na resistência dos elásticos, com a visualização do efeito da forma e da dimensão no comportamento do modelo, tornando-o bastante adequado à pesquisa exploratória.

4.3 Bloco 2: Montagens lineares

O segundo modelo de blocos é composto por duas faces planas conectadas através de um eixo, e a união entre as peças pode ser feita a partir de elásticos tanto nos eixos quanto nas extremidades das faces. As faces são paralelas, mas possuem dimensões e engates distintos, o que permite alterar a forma da composição e a curvatura da peça, apenas girando os blocos.

Figura 15 – Alterando a curvatura da peça ao girar os blocos.



Fonte: Foto do autor.

Nas montagens lineares com o bloco 2, o modelo também permitiu a visualização dos fenômenos de deformação e da identificação das áreas sob tração, mas a maior dimensão horizontal dos blocos prejudicou a leitura dos resultados.

Figura 16 – Viga bi engastada - Bloco 2



Fonte: Foto do autor.

4.4 Montagens em Arcos

A flexibilidade formal do bloco 2 permitiu a exploração do modelo em formas curvas, e, estruturado apenas pelos elásticos internos, a montagem em arco se apresentou como uma estrutura autoportante. Esta montagem permitiu a visualização da deformação e do posterior colapso, de acordo com os diferentes carregamentos.

Figura 17 – Arcos.



Fonte: Foto do autor.

As montagens com o Bloco 1 permitiram experimentar situações em arcos contínuos e ogivais, apoiados em bases engastadas. Estas estruturas se mostraram bastante eficientes na visualização das deformações, apesar de não configurarem estruturas autoportantes e de não evidenciarem a situação de colapso.

Figura 18 – Arcos plenos e ogivais.



Fonte: Foto do autor.

4.5 Montagens em Pórticos

A montagem dos pórticos se mostrou muito mais prática a partir do Bloco 1, que podia ser feita simplesmente torcendo as peças situadas nos vértices, para criar os ângulos de 90 graus.

Figura 19 – Pórticos com cargas verticais e frontais.



Fonte: Foto do autor.

Figura 20 – Pórticos com cargas verticais e laterais.



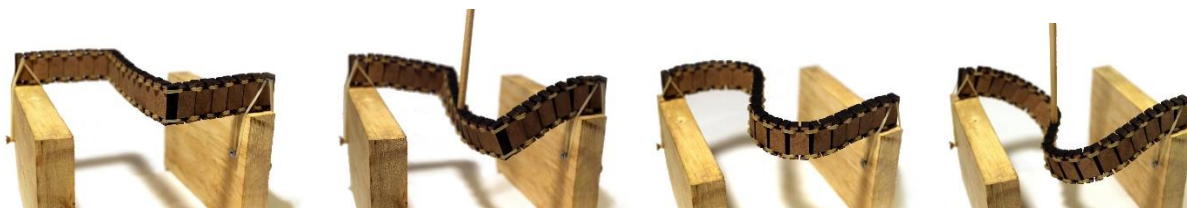
Fonte: Foto do autor.

Com as bases engastadas foi possível experimentar a aplicação de cargas verticais, frontais e horizontais na estrutura. Nestas situações, o modelo permitiu a visualização das deformações, dos momentos fletores atuando em pilares e vigas, das zonas sob tração e dos efeitos de torção apresentados pela estrutura.

4.6 Montagens assimétricas

A flexibilidade estrutural do modelo permitiu a execução de configurações assimétricas, explorando montagens curvas e ortogonais, abrindo caminho para novas possibilidades exploratórias e composições menos ortodoxas.

Figura 21 – Montagens Assimétricas.



Fonte: Foto do autor.

Nestas montagens o modelo permitiu boa visualização tanto das deformações lineares, quanto das situações de torção que ocorreram nas peças, ficando evidente os esforços decorrentes do carregamento e a necessidade dos reforços elásticos.

Também experimentamos montagens em viga balcão, curvas e triangulares, nas quais os modelos, a exemplo da situação anterior, apresentaram boa visualização dos esforços e torções encontrados nas estruturas, permitindo a visualização tanto das deformações quanto das regiões tracionadas e comprimidas das peças.

Figura 22 – Vigas Balcão.

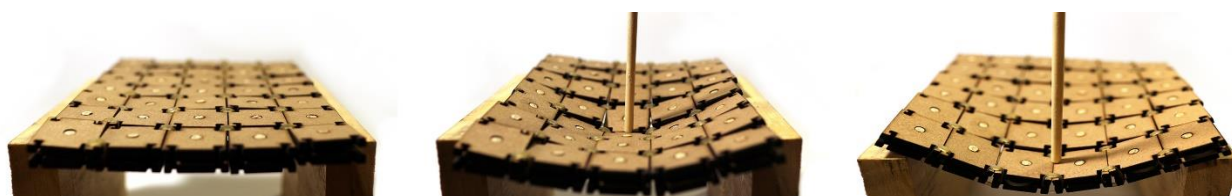


Fonte: Foto do autor.

4.7 Montagens em Planos

A possibilidade de se estruturar o Bloco 2 através de dois eixos, um interno e outro externo, permitiu a construção de planos, mantendo o padrão de comportamento do modelo nos dois sentidos. Esta situação permitiu a montagem de planos contínuos, simulando lajes armadas em uma ou duas direções, e mesmo abóbodas ou outras composições com planos ou cascas.

Figura 23 – Lajes.



Fonte: Foto do autor.

5. CONSIDERAÇÕES

A tarefa do professor de estruturas, como de qualquer outro, é sobretudo, tornar o assunto acessível e atraente aos jovens sem com isto ser apenas superficial, ao contrário, dando o máximo de profundidade e de realce a sua disciplina (POLILLO, 1968).

O ensino de estruturas em cursos de Arquitetura e Urbanismo possui especificidades frente ao modo tradicional como é realizado nos cursos de Engenharia Civil. A compreensão dos padrões de funcionamento das estruturas: suas deformações, a influência da forma e das dimensões das peças no comportamento, a maneira de resistir aos esforços - ou mesmo de colapsar - são de essencial importância para que a estrutura não seja um elemento externo à concepção projetual, e possa dialogar diretamente com o projeto, emprestando sua expressividade construtiva à arquitetura.

Os modelos qualitativos didáticos são uma ferramenta essencial tanto para o desenvolvimento de um sentimento intuitivo do comportamento estrutural, quanto para permitir experimentar, com maior liberdade, e rapidez, as possibilidades estruturais. Mais do que o cálculo numérico, acreditamos que é a experiência vivenciada destas situações, em escala reduzida ou real, que permite a construção de um universo referencial, de comportamentos e soluções, que formarão a base conceitual do arquiteto.

O modelo proposto neste trabalho, embora ainda em desenvolvimento, apresentou um resultado bastante positivo, tanto em termos de visualização dos fenômenos quanto em praticidade e flexibilidade. Constatamos ser possível, com um pequeno número de peças, montar uma grande variedade de possibilidades estruturais distintas e ainda manter a flexibilidade desejada.

O uso dos blocos de transição, permitiu ao modelo alterar as dimensões das peças tanto global quanto pontualmente, tornando possível a construção vigas com alturas distintas em locais específicos. Situação que, aliada à variedade de elásticos, permitiu adotar resistências diferentes em cada trecho ou situação, criando um universo bastante rico e flexível de

possibilidades de experimentação estrutural.

AGRADECIMENTOS

Não poderia encerrar este artigo sem um especial agradecimento ao LAGEAR da Escola de Arquitetura da UFMG, pelo uso dos equipamentos necessários à construção dos modelos e ao Rodrigo "Rod" Marcandier, por ajudar a operá-los.

REFERÊNCIAS

- ADDIS, B. **Building: 3000 Years of Design, Engineering and Construction**. London: Phaidon, 2007.
- ALLEN, E.; ZALEWSKI, W. **Form and Forces: designing eficiente, expressive structures**. New Jersey: Wiley, 2010.
- BAIXAS, J. **Forma Resistente**. Santiago: ARQ Ediciones, 2010.
- BIGONI, D.; DAL CORSO, F.; MISSERONI, D.; TOMMASINI, M. A teaching model for truss structures. **European Journal of Physics**, N° 33, 2012. pp. 1179–1186.
- ENGEL, E. **Sistemas de Estruturas**. Barcelona: Gustavo Gili, 2001.
- EVANS, P.; SILVER, P.; MCLEAN, W. **Sistemas Estruturais**. São Paulo: Blucher, 2009.
- FRANCO, M. O papel da história no ensino da teoria das estruturas. In: Encontro de Professores de Estrutura para Escolas de Arquitetura, 1., 1974, São Paulo. **Anais...** São Paulo: FAUUSP, 1974. p.1-7.
- HARRIS, H; SABNIS, G. **Structural Modeling and Experimental Techniques**. Boca Raton: CRC Press, 1999.
- HILSON, B. **Basic Structural Behavior: understanding structures from models**. London: Thomas Telford, 1993.
- OLIVEIRA, M. Modelo Estrutural Qualitativo para Pré-Avaliação do Comportamento de Estruturas Metálicas. **Dissertação de Mestrado**, PROPEC-Departamento de Engenharia Civil, UFOP, 2008.
- POLILLO, A. **Considerações sobre o ensino de estruturas nos cursos de formação de arquitetos**. Rio de Janeiro: Sedegra, 1968.
- PRAVIA, Z.; ORLANDO, D. Modelos qualitativos de treliças planas: Construção e aplicação no ensino da análise e comportamento estrutural. In: XXIX Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia, 2001. Porto Alegre. PUC-RS. 2001.
- SARAMAGO, R. C. P. **Ensino de estruturas nas escolas de Arquitetura do Brasil**. 2011. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.
- SALVADORI, M. **Por que os edifícios ficam de pé**. São Paulo: Martins Fontes, 2006.
- SALVADORI, M. **The Art of Construction: projects and principles for beginning engineers & architects**. Chicago : Chicago Review Press, 1990.
- REBELLO, Y. **A Concepção Estrutural e a Arquitetura**. São Paulo: Zugurate, 2000.
- SCHODEK, D.; BECHTHOLD, M. **Structures**. Noida: Person India, 2015.
- TORROJA, E. **Razón y Ser de los Tipos Estructurales**. Madrid: Consejo Superior de Investigaciones Científicas, 1957.