

# A CONCEITUAÇÃO DA ESTRUTURA EM PROJETOS DE ARQUITETURA ATRAVÉS DE MODELOS

MEIRELLES, Célia Regina Moretti (1); VASCONCELOS, Ricardo L. (2); DINIS, Henrique (3), BISCAIA, João Luis (4).

(1) Engenheira Civil, Dra., Professor Assistente, Universidade Presbiteriana Mackenzie, UPM e Universidade São Marcos USM (cerelles@usp.br).

(2) Arquiteto, Ms, Professor Assistente, Universidade Presbiteriana Mackenzie, UPM (bauplan@terra.com.br).

(3) Engenheiro Civil, Ms, Coordenador da Macro - Área de Arquitetura e Urbanismo de cursos de Lato Sensu da UPM, Universidade Presbiteriana Mackenzie, UPM, UPM (dinis@mackenzie.com.br).

(4) Engenheiro Civil, Especialista, Professor Assistente, Universidade Presbiteriana Mackenzie, UPM, (jlmb919@hotmail.com.br)

## Resumo

*Este trabalho relata algumas das experiências, no uso de modelos físicos, realizadas junto aos cursos de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Presbiteriana Mackenzie e da Universidade São Marcos, nas disciplinas de Sistema Construtivo e Estruturas Especiais. O objetivo desta proposta de ensino é propiciar uma maior criatividade e segurança na concepção da estrutura em projetos de arquitetura.*

## Abstract

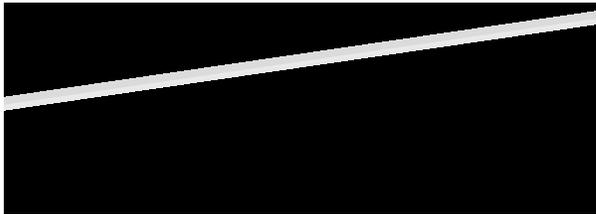
*This report describes the teaching experiences with physical models at the Brazilian Presbyterian Mackenzie and at the São Marcos Universities. The new proposal was held during the regular "Constructive System" and "Special Structure" disciplines. These new teaching proposals intend to 1) enhance student skill at inventing things or finding new ways to solve problems and 2) increase work environment safety related to conception of the structure in architecture projects.*

## Introdução

A abordagem das disciplinas técnicas nos cursos de arquitetura, em geral, acontece dissociada da discussão do projeto, tornando-se enfadonha e pouco aplicada. Este trabalho discute formas de abordagem das disciplinas técnicas, com ênfase na discussão dos conceitos estruturais, através de modelos físicos.

É importante trazer a discussão do projeto para dentro das disciplinas técnicas, como meio de atingir o objetivo de organizar o repertório estrutural segundo o tipo de leitura que o aluno está habituado. Os professores das disciplinas técnicas devem analisar obras arquitetônicas referenciais, caracterizando o projeto, a função, os sistemas estruturais e materiais. Ao analisar as obras arquitetônicas referenciais, os professores devem destacar os elementos estruturais que sustentam uma determinada forma e os princípios físicos que a regem, além de discutir o desempenho destas formas quando solicitadas.

Este trabalho relata algumas das experiências, no uso de modelos físicos, realizadas junto a cursos de Arquitetura e Urbanismo, no ensino de Sistemas Construtivos e Estruturas Especiais, buscando a inter-relação do funcionamento estrutural com as formas arquitetônicas. Cabe enfatizar que não se refere às maquetes. A maquete procura expressar a visão de forma, enquanto que o modelo reduzido tem o compromisso de reproduzir os fenômenos físicos.



formas, criava modelos executados com fios que, por sua vez, eram capazes de resistir somente a esforços de tração. A inversão deste modelo gerava uma forma que para aquele carregamento apresentava somente esforços de compressão.

Pier Luigi Nervi é um dos grandes representantes do desenvolvimento da argamassa armada. Ele associava a argamassa armada ao estudo da eficiência da forma construída, vencendo grandes vãos com pequenas espessuras.

Nervi, em suas pesquisas, questiona a insuficiência do cálculo matemático e, para provar sua tese, constrói modelos de determinadas formas e os submete a uma série de solicitações físicas que reproduzem, com maior fidelidade possível, aquela que a estrutura deverá suportar. (ARGAN-2001)

Buckminster Fuller, pesquisador das formas treliçadas espaciais, desenvolveu o sistema construtivo do domo geodésico. Em 1948, em uma aula na universidade Black Mountain College, Fuller montou, junto com seus alunos, o primeiro protótipo de um domo geodésico. A experiência durou pouco, pois, devido a dificuldade de montagem, o domo ficou em pé apenas por alguns minutos. Em 1954, Fuller patenteia seu sistema sob o nome de "geodesic building construction". Ele fornece a primeira licença de exploração da patente para a Kaiser Aluminium, famosa pela construção do pavilhão americano da "Feira do Comércio" em Moscou, no ano 1959.

Frei Otto é o maior representante das coberturas tensionadas. A busca por estruturas leves fez com que ele criasse o Instituto das Estruturas Leves de Stuttgart, na Alemanha. Frei Otto coordena trabalhos de pesquisa onde o uso de modelos, apresenta-se como o caminho mais lógico para a análise de estruturas complexas que fogem das convencionais. Frei Otto desenvolve as coberturas tensionadas através do estudo de modelos em arame. Esse modelo era submetido a um tanque com sabão e, quando retirado, a bolha aderida ao modelo, criando o desenho de uma membrana perfeitamente tracionada.

As coberturas em membrana devem ser projetadas tridimensionalmente, com dupla curvatura, para assegurar que a estrutura apresente somente esforços de tração. Arquitetos e engenheiros, ao projetar tais estruturas, devem fazer uso de modelos tanto experimentais quanto com métodos matemáticos.

Santiago Calatrava, pesquisador das estruturas naturais, e projeta a sua arquitetura procurando entender o comportamento dos elementos estruturais da natureza. Em alguns de seus projetos, ele trabalha com dois elementos estruturais básicos em oposição: o arco e o cabo. Em palestras apresentadas no MIT, Calatrava discute a importância do uso de modelos estruturais, para ampliar o conhecimento do comportamento estrutural e projetar sua arquitetura. (CALATRAVA - 2002)

Rebello é um dos primeiros pesquisadores brasileiros a desenvolver reflexão do papel do ensino da estrutura nos cursos de arquitetura.

Rebello analisa a problemática e observa:

*A importância do professor de estrutura, analisar em sala de aula, exemplos de obras edificadas, aproveitando a oportunidade para discutir a inter-relação entre proposta estrutural e arquitetônica. A importância de analisar, os exemplos fazendo uma relação entre materiais, sistemas estruturais e as consequências na forma-função. A importância de associar aos conceitos estruturais a um modelo físico e qualitativo. (REBELLO-2000)*

## Características e Objetivos

Um modelo só se caracteriza como tal, se tiver como função ser objeto de estudo, análise e representação de um fenômeno. Portanto um modelo em miniatura não será necessariamente, um modelo, se não servir como fonte de estudos. (REBELLO-1993).

Os modelos físicos servem para analisar qualitativamente e até quantitativamente os fenômenos estruturais que não podem ser visualizados em situações reais.

Objetivos dos estudos através de modelos:

- Elevar o nível de compreensão e fixação dos conceitos teóricos sobre o comportamento das estruturas.
- Estabelecer uma relação mais clara e direta entre teoria e prática.
- Dar ênfase ao estudo de materiais não convencionais aplicados a estruturas.
- Conhecimento das propriedades resistentes dos materiais.
- Viabilização dos materiais de acordo com a tipologia das construções.
- Materialização dos processos executivos.

O estudo através de modelos força o aluno a desenvolver uma maior capacidade de observação e permite que tenha um maior tempo de reflexão da concepção estrutural, em especial quanto às possibilidades de utilizar os sistemas como um protótipo arquitetônico.

As disciplinas de Estruturas Especiais e Sistemas Construtivos abrangem o conteúdo de cobertura de grandes vãos. Nestas disciplinas, o desenvolvimento de modelos é trabalhado com materiais básicos, que permitem uma maior visualização dos esforços internos e deformações, como: jornal, linha de pesca, bexiga, canudinho, nylon, etc...

A modelagem é realizada em três fases:

Fase 1: Modelos básicos e reprodutivos de obras arquitetônicas referenciais.

Os modelos básicos referem-se a cada item apresentado nas disciplinas. Os modelos são associados a obras referenciais arquitetônicas, com objetivo de ampliar o repertório estrutural dos alunos.

Fase 2: Modelo do projeto de uma passarela.

As equipes projetam e constroem o modelo de uma passarela, que deve vencer um vão de 1m. O material da estrutura deve ser papel e linha. Os modelos são ensaiados com carregamentos pré-definidos, sendo a maior avaliação atribuída à equipe que apresentar a melhor relação entre peso próprio do modelo e o maior carregamento suportado pelo modelo.



Figura 1 - Passarela



Figura 2 - Passarela Carregada





carregamentos aplicados no topo da cúpula, visualizando as deformações ocorridas. Podem existir modelos onde ocorre a falta dos paralelos. Aproveita-se a oportunidade, na sala de aula, para demonstrar que as deformações excessivas acontecem devido a deficiência geométrica, ou mesmo por falta dos elementos estruturais.

#### Modelo 4: Tenso Estrutura

Descrição do Modelo: As estruturas em membrana podem ser definidas através três modelos básicos: Associação membrana versus arco, associação membrana versus pilares de elevação centrais (tenda de circo) e associação membrana versus pilares de elevação na borda.

Análise: O modelo visa demonstrar as aplicações em tenso estrutura através da visualização dos esforços de membrana e dos esforços atuantes nos apoios.

Resultados: O modelo permite ao aluno a compreensão dos esforços de membrana, isto é, a superfície deve estar totalmente tracionada e com dupla curvatura anti-clástica. Destaca-se a importância dos pontos de ancoragem, para manter a estrutura totalmente tracionada.

#### Modelo 5: Domo Geodésico

Descrição do Modelo: O modelo do domo geodésico é desenvolvido a partir de um icosaedro. O modelo é desenvolvido em sala com canudinhos de refrigerante e linha. Um segundo domo é construído com 2 m de diâmetro. As barras são de madeira (tipo cabos de vassoura) e os nós são de parafusos metálicos e arruelas.

Análise: O modelo visa conhecer o sistema estrutural e aplicação das geodésicas através de sua definição geométrica.

Resultados: O modelo permite o conhecimento de uma estrutura gerada a partir de elementos triangulares, inseridos em uma esfera perfeita. Em geral, o nó é difícil de ser fabricado e exige uma criatividade maior por parte dos alunos e professores.



Figura 8 – Geodésica

#### Modelo 6: Viga Vagão

Descrição do modelo: O modelo é uma viga reta, ou levemente curva, realizada em papel e reforçada com fios de pesca na base.

Análise: O modelo visa demonstrar a eficiência da associação de um cabo de aço em um elemento de viga. Um exemplo de aplicação no projeto são as vigas de madeira, que podem vencer um vão maior, quando lhes associamos um cabo de aço.

Resultados: A viga vagão é um modelo com o qual podemos interagir com os alunos propondo, que eles desenvolvam protótipos para um vão fixo. Em sala de aula, ensaiamos o modelo com

carregamentos. O ensaio permite que os alunos visualizem a estrutura se deformando e os esforços de tração que ocorrem no cabo.



Figura 1 - Passarela



Figura 2 - Passarela Carregada

### Modelo 7: Treliça Espacial

**Descrição do Modelo:** A treliça espacial pode ser realizada em sala de aula, onde as barras são confeccionadas com folhas de jornal enroladas e coladas. O aluno concebe o modelo como projeto de uma cobertura de um determinado espaço.

**Análise:** O modelo visa demonstrar a rigidez dos elementos triangulares, a formação da treliça espacial e dos esforços que se desenvolvem nos elementos das treliças.

**Resultados:** Em geral, este modelo, que por ser realizado com folhas de jornal, não resiste aos carregamentos e apresenta instabilidade à flambagem nas barras comprimidas. Entretanto, deve-se proceder junto aos alunos à análise da razão da instabilidade e sua posição na treliça, tornando a desvantagem um momento de reflexão.



Figura 9 – Treliça Espacial Curva

### Modelo 8: Passarelas e Coberturas Estaiadas

**Descrição do Modelo:** Os modelos de passarelas e coberturas estaiadas são modelos que podem ser reproduzidos com linhas e material rígido para o tabuleiro.

**Análise:** O modelo visa conhecer o sistema e aplicação das passarelas e coberturas estaiadas. Os cabos nas estruturas estaiadas são tracionados e posicionados de forma inclinada.

Resultados: O modelo de estrutura estaiada permite ao aluno a visualização direta do equilíbrio, quando o modelo é construído com dois lados simétricos. No caso dos modelos assimétricos, para produzir o equilíbrio o aluno deve buscar novas soluções, como por exemplo criar pontos de ancoragem.

### **Modelo 9: Modelo Espacial Livre**

Descrição do Modelo: Modelo de estrutura espacial para cobrir um espaço reduzido de 50x50 cm.

Análise: Os modelos são propostos como um desafio aos alunos, pois não há a obrigatoriedade de seguir um sistema estrutural pré-existente e existe a liberdade de utilização de novos materiais. A avaliação depende: do modelo suportar o maior carregamento, menor peso próprio do modelo, de sua estabilidade e criatividade. (Figuras 3, 4 e 5).

Resultados: Este modelo gera grande pesquisa por parte dos alunos, na busca de materiais mais leves e na busca da associação de formas estruturais mais eficientes. Esta proposta gera uma grande empolgação na sala de aula. Entretanto, podem ocorrer modelos nos quais a síntese dos resultados não são compatíveis com as propostas. Aproveita-se a oportunidade na sala de aula para destacar os principais problemas existentes no modelo.

### **Conclusão**

Em sala de aula, são analisadas obras arquitetônicas referenciais, destacando-se no projeto: o local, a função arquitetônica, o momento em que a obra foi construída, os materiais utilizados, vãos e sistemas estruturais utilizados.

Na seqüência das disciplinas são realizadas três etapas de modelagem: Modelos básicos e similares às obras arquitetônicas referenciais, modelo do projeto de uma passarela, e o modelo do projeto de uma estrutura espacial. A modelagem e seu carregamento permitem ao aluno visualizar quais são os elementos estruturais que suportam uma determinada forma e analisar os fenômenos que ocorrem com a forma quando solicitada.

Uma das principais características desta abordagem é permitir ao aluno a visualização dos fenômenos estruturais com materiais de fácil acesso e de baixo custo.

A compreensão estrutural obtida por este procedimento mantém-se de tal forma arraigada nos processos intelectuais utilizados para projeção, que a qualquer tempo, propiciará uma fluência na vazão da criatividade, durante a concepção arquitetônica.

### **Bibliografia**

- ARGAN, G.C. *Projeto e destino*. São Paulo: Editora Ática, 2001. 334p.
- CALATRAVA, S. *Conversa com Estudantes*. Barcelona: Gustavo Gili, 2001. 111p.
- ENGEL, H. *Sistemas Estruturais*. Barcelona: Gustavo Gili, 2001. 352p
- PIETRO, J.E. *O Conhecimento Qualitativo das Estruturas das Edificações na Formação do Arquiteto*. Tese apresentada a Universidade federal de Santa Catarina. Florianópolis, Agosto de 2000. 192p.
- REBELLO, Y.C.P. *A Concepção Estrutural e a Arquitetura*. São Paulo: Zigurate Editora, 2000. 271p.
- REBELLO, Y.C.P. *Contribuição ao ensino de Estrutura nas Escolas de Arquitetura*. São Paulo: Dissertação de Mestrado, FAUSP, 1993.
- VASCONCELOS, A C. *Estruturas Arquitetônicas: Apreciação intuitiva das formas Estruturais*. São Paulo: Nobel, 1991. 115p.

SANDAKER, B.N. EGGEN, A P. *The Structural Basis of Architecture*. New York: Whitney Libray of Design,1992. 224p.

SALVADORI, M. *Why buildings stand up: the strength of Architecture*. New York: W.W. Norton & Company,1990. 323p.

MACIEL DA SILVA, Daiçon. *Estruturas - uma abordagem arquitetônica*. 2ªedição. Porto Alegre: Editora Sagra Luzzato, 2000. 145p.