

unesp



**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
CAMPUS DE GUARATINGUETÁ**

VANESSA DA SILVA COSTA SANTOS

**ESTUDO DO COMPORTAMENTO ESTRUTURAL COM MODELOS
QUALITATIVOS COM FINALIDADE DIDÁTICA**

Guaratinguetá
2011

VANESSA DA SILVA COSTA SANTOS

ESTUDO DO COMPORTAMENTO ESTRUTURAL COM MODELOS
QUALITATIVOS COM FINALIDADE DIDÁTICA

Trabalho de Graduação apresentado ao Conselho de Curso de Graduação em Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de graduação em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. José Bento Ferreira

Guaratinguetá
2011

S237e	Santos, Vanessa da Silva Costa Estudo do comportamento estrutural com modelos qualitativos Com finalidade didática / Vanessa da Silva Costa Santos – Guaratinguetá : [s.n], 2011. 47 f. : il. Bibliografia : f. 44 Trabalho de Graduação em Engenharia Civil – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2011. Orientador: Prof. Dr. José Bento Ferreira 1. Teoria das estruturas I. Título
	CDU 624.04



ESTUDO DO COMPORTAMENTO ESTRUTURAL

VANESSA DA SILVA COSTA SANTOS

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO
PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE
"GRADUADO EM ENGENHARIA CIVIL"

APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL.


Prof. Dr. SÍLVIO JORGE COELHO SIMÕES
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:


Prof. Dr. DENISE BENTO FERREIRA
Orientador / UNESP – FEG


Prof. Dr. ANTONIO WANDERLEY TERNI
UNESP – FEG


Prof. Dr. LUIZ EDUARDO DE OLIVEIRA
UNESP – FEG

Novembro de 2011

DADOS CURRICULARES

VANESSA DA SILVA COSTA SANTOS

NASCIMENTO	15.07.1987 – SÃO JOSÉ DOS CAMPOS / SP
FILIAÇÃO	Gilberto Silva Costa dos Santos Maria Miriam Barboza dos Santos
2006 / 2011	Curso de Graduação Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá

À Deus, pois nada em minha vida é feita sem a Tua vontade, aos meus pais, a minha irmã, ao meu noivo e ao professor José Bento Ferreira.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus meu Senhor e Salvador, por estar presente em todos os momentos da minha vida, por me dar sabedoria, saúde e sempre mostrando a direção que devo seguir.

Aos meus pais Mirian e Gilberto, que sempre estiveram presentes, sempre apoiaram as minhas decisões, que muitas vezes colocaram seus sonhos em segundo plano para que os meus fossem realizados.

À minha irmã Patrícia que é minha melhor amiga, sempre me ajuda, me aconselha.

Ao meu noivo Fábio pelo companheirismo, amizade e que durante esses anos de faculdade me ajudou nas horas estudos sempre com muita paciência.

Aos meus amigos Geison, Mariana, Vitor, Willian, Renan e Thomaz, que passamos muitas madrugadas estudando, resolvendo exercícios, mas sempre um apoiando o outro para seguir em frente.

Por fim, agradeço ao meu orientador, Prof. Dr. José Bento Ferreira que me incentivou e com a sua orientação e auxílio, o estudo aqui apresentado foi possível.

"Há homens que lutam um dia e são bons.
Há outros que lutam um ano e são melhores.
Há os que lutam muitos anos e são muito bons.
Porém, há os que lutam toda a vida.
Esses são os imprescindíveis."

Bertolt Brecht

SANTOS, V. S. C. **Estudo do comportamento estrutural com modelos qualitativos com finalidade didática**. 2011. 47 f. Trabalho de Graduação (Graduação em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2011.

RESUMO

Estrutura é a parte resistente de uma construção capaz de receber esforços e transmiti-los para seus apoios ou vínculos. Sabendo a importância da mesma, torna-se necessário fazer uma análise estrutural. Este trabalho tem por objetivo apresentar, sob uma ótica diferente, um método para a compreensão dos diagramas de momento fletor e esforço cortante em vigas. Com esse intuito, é reproduzido em laboratório um modelo real para verificar o que ocorre quando determinados carregamentos são colocados ao longo do mesmo. Através desse experimento foi possível verificar que a aplicação prática da teoria ministrada em sala de aula proporciona um melhor entendimento.

PALAVRAS-CHAVE: Estruturas. Análise. Prática

SANTOS, V. S. C. **Structural behavior analysis with qualitative models with didactic purpose**. 2011. 47 f. Final paper (Bachelor in Civil Engineering) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2011.

ABSTRACT

Structure is the resistant part of a construction that is able to support forces and transmit them to its supports or links. Knowing its importance, it is necessary to do a structural analysis. This study focuses on showing, in a different way, a method of understanding the bending moment and the shear beam diagrams. A real model was developed in laboratory to check what happens when certain loads are placed along. Throughout this study it was possible to verify that the practical application of the theory will provide the classroom a better understanding.

KEYWORDS: Structures. Analysis. Practice.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Representação de uma viga simples.....	13
Figura 2 – Representação de uma estrutura isostática.....	14
Figura 3 – Representação de uma estrutura hiperestática.....	14
Figura 4 – Representação de uma estrutura hipostática	15
Figura 5 – Alguns componentes de uma ponte ferroviária.....	15
Figura 6 – Evolução das estruturas.....	18
Figura 7 – Representação do esforço cortante.....	19
Figura 8 – Representação do momento fletor.....	20
Figura 9 – Representação do momento torsor	20
Figura 10 – Vínculo móvel.....	21
Figura 11 – Apoio móvel entre uma estrutura de concreto e aço	21
Figura 12 – Vínculo fixo	22
Figura 13 – Apoio fixo de uma estrutura pré-fabricada de concreto.....	22
Figura 14 – Vínculo engastado	22
Figura 15 – Engastamento em uma estrutura de concreto.....	23
Figura 16 – Forças atuantes na estrutura	24
Figura 17 – Esboço das reações na estrutura.....	24
Figura 18 – Diagrama do esforço cortante	26
Figura 19 – Forças atuantes na estrutura	26
Figura 20 – Marcação dos pontos na estrutura.....	27
Figura 21 – Diagrama do momento fletor	28
Figura 22 – Distância “x” do diagrama	28
Figura 23 – Vista geral a jusante da ponte.....	29
Figura 24 – Vista lateral da longarina a jusante	30
Figura 25 – Esboço da ponte	33
Figura 26 – Ponte utilizada para o ensaio.....	33
Figura 27 – Estrutura montada	34
Figura 28 – Representação do peso próprio	35
Figura 29 – Representação da carga concentrada.....	37
Figura 30 – Representação da carga concentrada e distribuída.....	39

LISTA DE SÍMBOLOS

Σ	Somatório
$\vec{F}$	Vetor força
$\vec{M}$	Momento fletor
<i>EPS</i>	Poliestireno expandido

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	12
2 CONCEITO GERAL DAS ESTRUTURAS.....	13
2.1 A importância da análise estrutural	15
2.2 História da análise estrutural	16
2.3 Objetivos da análise estrutural.....	18
3 GRANDEZAS	19
3.1 Reações.....	20
3.1.1 Classificação dos vínculos.....	20
3.2 Determinação do esforço interno.....	23
4 DIAGRAMAS DE ESFORÇOS SOLICITANTES	24
4.1 Diagrama de esforço cortante	24
4.2 Diagrama do momento fletor.....	26
5 PROPOSTA.....	29
6 A IMPORTÂNCIA DO MODELO ESTRUTURAL PARA O ENSINO	31
7 ESCOLHA DOS MATERIAIS PARA A CONFECÇÃO DE MODELO ESTRUTURAL.....	32
7.1 Montagem do modelo.....	33
8 TESTES EM LABORATÓRIO	35
9 RESULTADOS E ANÁLISE.....	40
10 CONCLUSÃO.....	41
REFERÊNCIAS	42
BIBLIOGRAFIA CONSULTADA.....	44

1 INTRODUÇÃO

Engenharia é a ciência de adquirir e aplicar conhecimentos matemáticos, técnicos e científicos na criação, aperfeiçoamento e implementação de utilidades, tais como materiais, estruturas, máquinas, aparelhos, sistemas ou processos, que realizam uma determinada função ou objetivo. Assim sendo, a compreensão do comportamento das estruturas torna-se primordial, sendo de suma importância entender o equilíbrio entre as forças e as tensões, as relações entre os deslocamentos e as deformações e os materiais compõem a estrutura.

Na maioria dos cursos de engenharia não existe uma aula prática para a análise de estruturas e isso resulta em uma deficiência na formação dos alunos, por isso seria interessante que, em apoio à demonstração teórica, fossem desenvolvidas aulas práticas para entender por que a estrutura deforma quando determinadas cargas são aplicadas ao longo da mesma, e qual é a influência do material quando solicitado.

A ideia deste trabalho foi concebida durante uma aula de estruturas, onde a autora percebeu certa dificuldade por parte dos discentes em compreender o comportamento das estruturas quando submetidas a diversos tipos de carregamentos.

De forma a facilitar o entendimento deste assunto tão importante para a engenharia, propõe-se apresentar aos instruendos alguns modelos físicos semelhantes aos estudados na teoria, onde, através da aplicação de cargas de valores diversos ao longo de seu comprimento, será possível verificar, além de sua deformação, quais áreas estão sujeitas a esforços de tração e de compressão.

As aulas práticas seriam de grande proveito por parte dos discentes, pois esse entendimento mais apurado vai permitir a busca de novas soluções tanto estruturais como de materiais.

Em suma, este trabalho tem por objetivo apresentar, sob uma ótica diferente, um método para a compreensão dos diagramas de momento fletor e esforço cortante em vigas.

2 CONCEITO GERAL DAS ESTRUTURAS

“As estruturas são sistemas físicos capazes de receber e transmitir esforços como em pontes, edifícios, torres, antenas, etc.” (SORIANO, LIMA, 2004, p. 1).

Através da definição mencionada acima, pode-se compreender que, por exemplo, ao se passar de carro sobre uma ponte, a estrutura desta última recebe e transmite esforços, ou seja, sua estrutura consiste em peças ligadas entre si de modo a formar um sistema em equilíbrio.

As estruturas são projetadas de modo a suportar as diversas ações que vierem a solicitá-la durante sua vida útil de forma a não perder sua finalidade.

As forças que atuam em uma estrutura podem ser cargas permanentes ou transitórias, como seu peso próprio e o vento, respectivamente, além das forças que seus apoios exercem sobre a mesma. A Figura 1 apresenta um visual gráfico de carga aplicada em uma estrutura e as reações dos seus apoios.

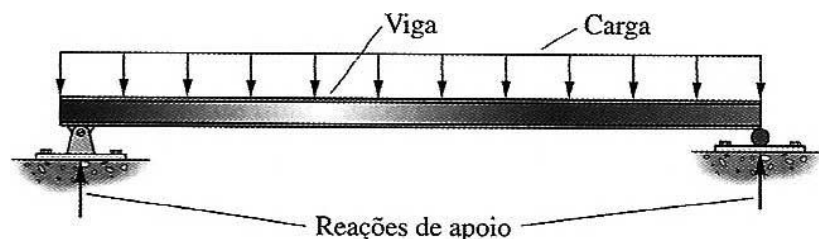


Figura 1 – Representação de uma viga simples (MCCORMAC, 2009)

As estruturas podem ser classificadas quanto aos seus elementos estruturais, das quais podemos citar:

- Estrutura linear (barras): Pequenas dimensões transversais em relação ao comprimento. Como exemplo de barras pode-se citar escoras, tirantes, vigas, pilares, entre outros.
- Estruturas de volume (blocos): Elementos de superfície e de volume onde ocorrem pequenas diferenças nas três dimensões.
- Estrutura de superfície (chapas): Superfícies grandes em relação a sua espessura.

As estruturas, quanto ao seu grau de hiperestaticidade, podem ser classificados como:

- Estruturas isostáticas: São aquelas em que o número de reações de apoio menos a quantidade de ligações entre os corpos (através de uma rótula, por exemplo) é igual ao número de equações fornecidas pelas condições de equilíbrio da estática, conforme Figura 2:

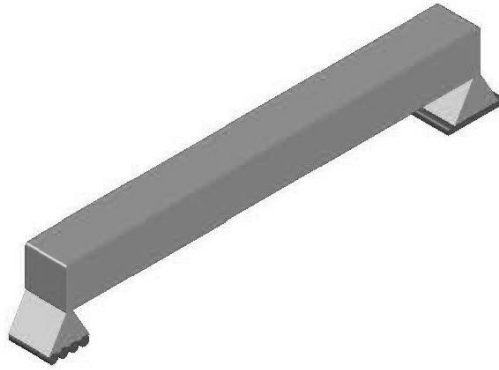


Figura 2 – Representação de uma estrutura isostática (fonte: autor)

- Estruturas hiperestáticas: São aquelas em que o número de reações de apoio é superior ao número de equações fornecidas pelas condições de equilíbrio da estática. Conforme Figura 3:

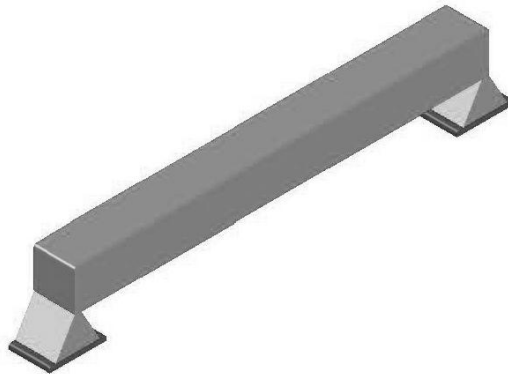


Figura 3 – Representação de uma estrutura hiperestática (fonte: autor)

- Estruturas hipostáticas: São aquelas em que o número de reações de apoio é inferior ao número de equações fornecidas pelas condições de equilíbrio da estática. Conforme Figura 4:

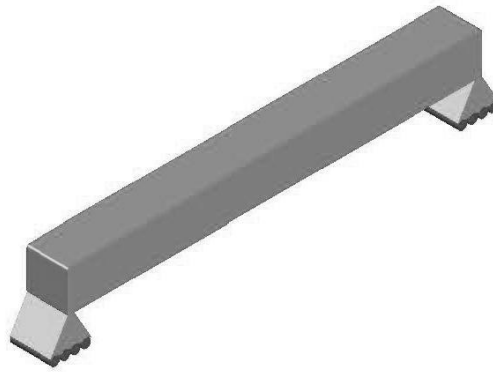


Figura 4 – Representação de uma estrutura hipostática (fonte: autor)

A união dos componentes (barras, blocos e chapas) formam os sistemas estruturais.

A Figura 5 mostra um tipo mais antigo de estrutura de uma ponte formada por duas treliças, onde as barras superiores e inferiores (banzo superior e inferior, respectivamente), além das diagonais são os componentes principais para suportar as cargas. As transversinas têm como principal objetivo aumentar a rigidez transversal do tabuleiro, proporcionando uma melhor distribuição do carregamento nas vigas principais. Quando sobre os apoios, complementam e impedem o tombamento lateral das vigas principais, além de absorver excentricidades dos apoios em relação aos eixos da viga, ou seja, além de suportar o piso do tabuleiro da ponte, deve garantir sua estabilidade estrutural. Elas são colocadas sob o piso, perpendicularmente às treliças.



Figura 5 – Alguns componentes de uma ponte ferroviária (MCCORMAC, 2009)

2.1 A importância da análise estrutural

A análise estrutural tem um papel importante no ramo da construção civil, pois é através dela que podemos fazer uma previsão de como uma determinada estrutura irá se comportar sob determinadas condições.

Para que esta análise possa ser feita, faz-se necessário entender o que é uma estrutura e como é o seu funcionamento.

Estrutura é a parte resistente de uma construção capaz de receber os esforços e transmiti-los para seus apoios e vínculos. Seu funcionamento se baseia na combinação de fatores como recepção de carga, transmissão de carga e descarga.

De modo a ser obter com precisão como a estrutura irá se comportar, cria-se um modelo onde algumas hipóteses são levantadas, tais como:

- Geometria do modelo;
- Comportamento dos materiais.

O projeto estrutural consiste no dimensionamento da estrutura e de suas partes, tendo como objetivo suportar as cargas as quais possam estar sujeitas.

Os resultados obtidos na análise estrutural influenciam diretamente nas etapas posteriores do projeto. Uma análise imprecisa ou extremamente simplificada pode gerar respostas totalmente inconsistentes com a realidade, fazendo com o que a estrutura seja mal dimensionada.

Um bom modelo estrutural também deve ser transparente e simples de forma que a interpretação dos resultados obtidos durante o processamento possa ser realizada de forma segura, evitando, assim, que valores importantes passem pelo engenheiro de forma despercebida.

2.2 História da análise estrutural

A análise estrutural se desenvolveu ao longo dos tempos. As raízes da engenharia estrutural são encontradas nos grandes monumentos, como as pirâmides do antigo Egito, e nos templos.

Os romanos, em suas construções, utilizavam alguns modelos estruturais, como arcos em alvenaria. Tanto os romanos quanto os gregos não possuíam o conhecimento de cálculos complexos nem muito conhecimento de análise estrutural. Acredita-se que boa parte das edificações construídas naquele tempo era concebida sob o ponto de vista arquitetônico.

“Uma das maiores e mais valiosas contribuições para análise estrutural, assim como para outros campos da ciência, foi o desenvolvimento do sistema de numeração hindu-arábico.” (MCCORNAC, 2009, p. 4).

Acredita-se que o arquiteto italiano Andrea Palladio (1508-1580) foi a primeira pessoa a usar, em suas obras, uma treliça moderna, onde se considera o comportamento individualizado das barras.

O grande desenvolvimento da análise estrutural ocorreu nas décadas de 1860 e 1870, devido à necessidade de transportar grandes massas a longas distâncias. Nas estradas de ferro, por exemplo, foi necessária a construção de pontes com longos vãos para suportar cargas móveis muito grandes.

Estudar a história da evolução das estruturas possibilita que se conheçam construções que foram realizadas pelo homem desde a pré-história até os dias atuais.

Através deste estudo é possível mostrar o papel dos novos materiais que são utilizados e como contribuem para a evolução das estruturas.

A Figura 6 mostra uma breve história da evolução das estruturas:



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)



(g)



(h)

Figura 6 – Evolução das estruturas: (a) Pré-história europeia; (b) Egito antigo; (c) Grécia antiga; (d) Mesopotâmia; (e) Renascimento; (f) Etrúria e Roma; (g) Pontes metálicas do século XIX; (h) Revolução industrial (<http://www.lmc.ep.usp.br/people/hlinde/estruturas/historia.htm>)

2.3 Objetivos da análise estrutural

O projeto estrutural tem como finalidade atender uma necessidade como, por exemplo, a criação de uma estrutura para fazer a transposição de um curso d'água.

O projeto estrutural deve atender todas as questões de segurança, estéticas, ambientais, entre outras.

A análise estrutural visa determinar os deslocamentos, as tensões e as reações de apoio através das características físicas, geométricas e mecânicas dos materiais que são utilizados.

Através dela obtém-se o comportamento que a estrutura irá apresentar, a partir de então se pode comparar o desempenho esperado com o previsto pelo projeto e as prescrições das normas.

Um dos seus principais objetivos é, através da utilização de modelos, determinar os fatores (forças, pressões e reação) que afetam uma estrutura real de forma que se tenha conhecimento de como a mesma irá se comportar quando submetida às cargas nas condições naturais (meio ambiente).

Para atender esse e outros objetivos, é necessário entender o comportamento dos materiais, dos componentes estruturais e do sistema estrutural como um todo.

A análise estrutural também se preocupa com a segurança estrutural como rupturas localizadas, distorções excessivas, fadiga do material, flambagem e formação de mecanismos plásticos são inaceitáveis sob quaisquer circunstâncias, já que tais modos de colapso podem resultar em pesadas perdas materiais e, acima de tudo, de vidas humanas.

3 GRANDEZAS

Para a execução da análise estrutural é necessário que se entenda como é o comportamento estrutural, ou seja, entender o significado dos diagramas do esforço cortante e do momento fletor, pois, através deles, obtém-se uma visualização da resposta estrutural.

A partir dos diagramas é possível obter tanto o valor do esforço cortante como o do momento fletor em cada ponto da viga.

“O esforço cortante e o momento fletor são dois efeitos das cargas externas em uma estrutura que precisam ser entendidos para que os esforços internos sejam estudados adequadamente.” (MCCORNAC, 2009, p. 74).

O esforço normal é a força atuante no sentido da peça, tendendo a tracioná-la ou comprimi-la.

O esforço cortante é a força perpendicular à peça, ou seja, produz um esforço que tende a deslizar uma seção em relação à outra. A Figura 7 ilustra essa definição:

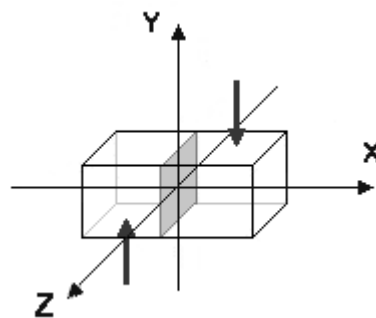


Figura 7 – Representação do esforço cortante
(http://www.fec.unicamp.br/~fam/novaes/public_html/iniciacao/teoria/solicita/cortante.htm)

O momento fletor, por sua vez, é o momento que tende a flexionar a peça, ou seja, produz um esforço que tende a curvar o eixo longitudinal, provocando tensões normais de tração e compressão. A estrutura a Figura 8 ilustra essa definição:

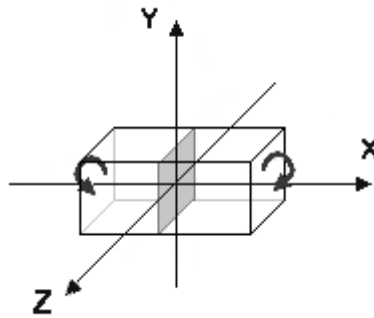


Figura 8 – Representação do momento fletor
(http://www.fec.unicamp.br/~fam/novaes/public_html/iniciacao/teoria/solicita/fletor.htm)

Por fim, o momento torsor tende a torcer a peça em torno de seu próprio eixo. A Figura 9 ilustra essa definição:

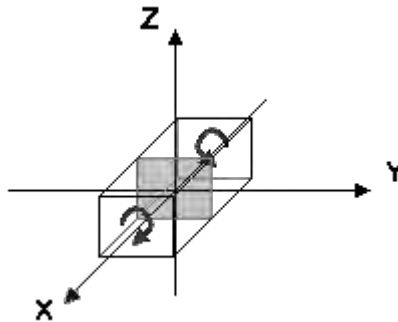


Figura 9 – Representação do momento torsor
(http://www.fec.unicamp.br/~fam/novaes/public_html/iniciacao/teoria/solicita/torsor.htm)

3.1 Reações

As reações de apoio são responsáveis pela força que os vínculos exercem sobre as estruturas.

3.1.1 Classificação dos vínculos

A classificação dos vínculos ocorre através da quantidade de eixos em que a estrutura é impedida de ser mover.

- Vínculo móvel ou apoio móvel: impede o movimento em apenas um eixo, normalmente impede a translação. A representação gráfica do apoio ou vínculo móvel é mostrada na Figura 10:

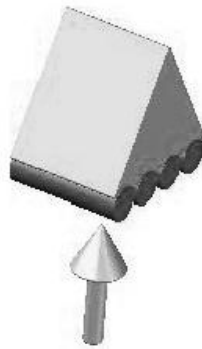


Figura 10 – Vínculo móvel (fonte: autor)

A Figura 11 mostra um vínculo ou apoio móvel em uma estrutura real:



Figura 11 – Apoio móvel entre uma estrutura de concreto e aço
(http://www.fec.unicamp.br/~fam/novaes/public_html/iniciacao/teoria/reacoes/5.htm)

- Vínculo fixo ou apoio fixo: impede o movimento em dois eixos, normalmente permitindo apenas o movimento de rotação. A representação gráfica do apoio ou vínculo fixo é mostrada na Figura 12:

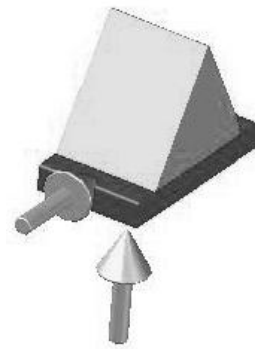


Figura 12 – Vínculo fixo (fonte: autor)

A Figura 13 mostra um vínculo ou apoio fixo em uma estrutura real.



Figura 13 – Apoio fixo de uma estrutura pré-fabricada de concreto
(http://www.fec.unicamp.br/~fam/novaes/public_html/iniciacao/teoria/reacoes/1.htm)

- Vínculo engastado ou engastamento: impedem o movimento em três eixos, dois movimentos de translação e um de rotação. A representação gráfica do apoio ou vínculo engastado é mostrada na Figura 14:

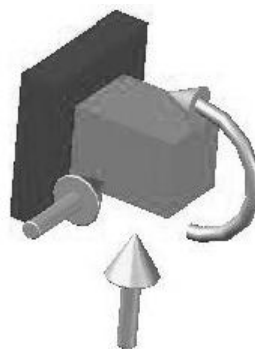


Figura 14 – Vínculo engastado (fonte: autor)

A Figura 15 mostra um vínculo ou apoio engastado em uma estrutura real.



Figura 15 – Engastamento em uma estrutura de concreto
(http://www.fec.unicamp.br/~fam/novaes/public_html/iniciacao/teoria/reacoes/7.htm)

3.2 Determinação do esforço interno

A determinação do esforço interno é de suma importância para a análise estrutural, pois através do mesmo é possível obter o dimensionamento correto dos elementos estruturais.

Após a determinação dos esforços internos as decisões para a execução do projeto são tomadas, tais como o material que será utilizado para a execução do sistema estrutural, as dimensões adequadas, etc.

4 DIAGRAMAS DE ESFORÇOS SOLICITANTES

Através dos diagramas de esforços solicitantes é possível averiguar a variação dos esforços ao longo da estrutura.

4.1 Diagrama de esforço cortante

Na maioria das vezes o diagrama de esforço cortante é simples de ser representado. A seguir será mostrado, através de um exemplo, como elaborar o diagrama do esforço cortante:

1º Passo: Analisar as forças atuantes na estrutura, como mostra a Figura 16:

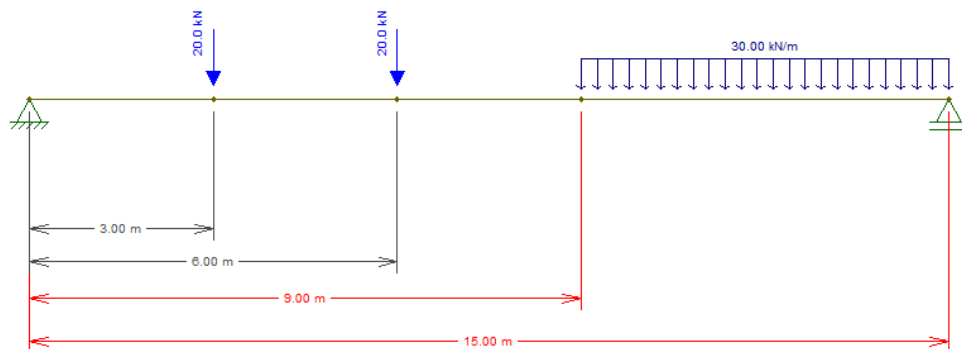


Figura 16 – Forças atuantes na estrutura (fonte: autor)

2º Passo: Esboçar as forças e as reações, como feito na Figura 17, para o cálculo das reações:

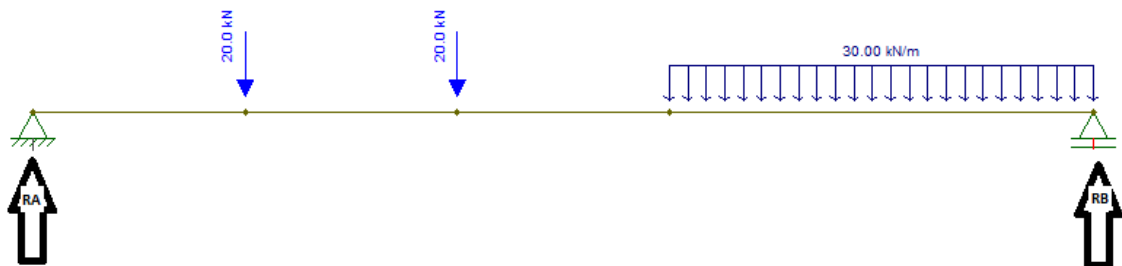


Figura 17 – Esboço das reações na estrutura (fonte: autor)

Os cálculos das reações são realizados utilizando as condições do equilíbrio, para um corpo rígido em equilíbrio as condições são mostradas nas equações (1), (2), (3), (4), (5) e (6):

$$\sum \vec{F}_x = 0 \quad (1)$$

$$\sum \vec{F}_y = 0 \quad (2)$$

$$\sum \vec{F}_z = 0 \quad (3)$$

$$\sum \vec{M}_x = 0 \quad (4)$$

$$\sum \vec{M}_y = 0 \quad (5)$$

$$\sum \vec{M}_z = 0 \quad (6)$$

Com isso, o “sistema de forças externas” não irá produzir movimentos de translação e nem de rotação no corpo em estudo.

Desenvolvendo a equação (4), obtém-se:

$$\sum \vec{M}_A = 0$$

$$-\vec{R}_B \cdot 15m + 180kN \cdot 12m + 20kN \cdot 6m + 20kN \cdot 3m = 0$$

$$\vec{R}_B = 156kN$$

Desenvolvendo a equação (2), obtém-se:

$$\sum \vec{F}_y = 0$$

$$-20kN - 20kN - 180kN + \vec{R}_A + 156kN = 0$$

$$\vec{R}_A = 64kN$$

3º Passo: Após obter os valores das reações, monta-se o diagrama, como mostrado na Figura 18:

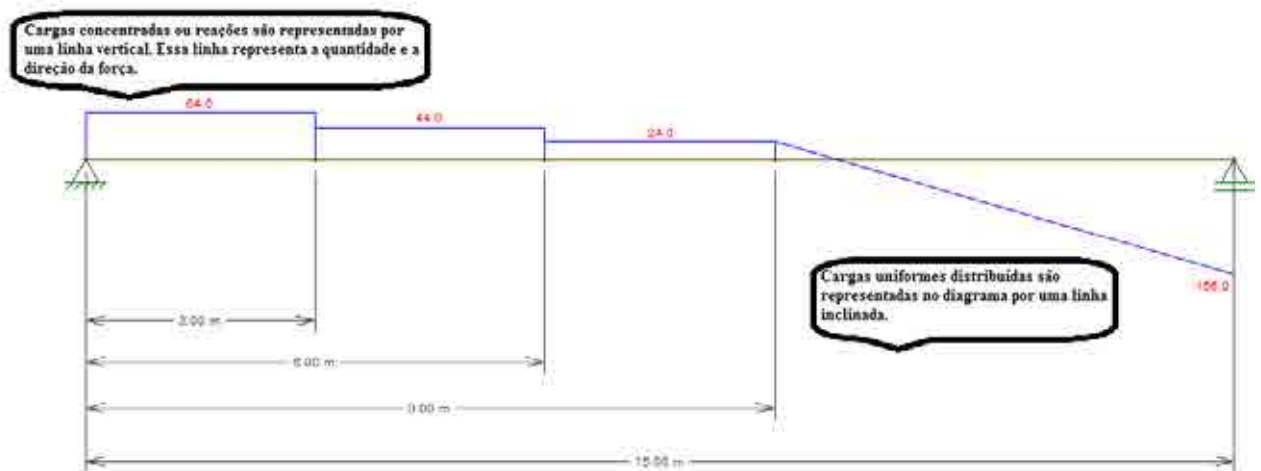


Figura 18 – Diagrama do esforço cortante (fonte: autor)

4.2 Diagrama do momento fletor

Para o desenvolvimento do diagrama do momento fletor é necessário calcular os momentos em vários pontos da estrutura. Um método para a obtenção desses momentos é algebricamente, como será mostrado a seguir com um exemplo.

1º Passo: Analisar as forças atuantes na estrutura, como mostra a Figura 19:

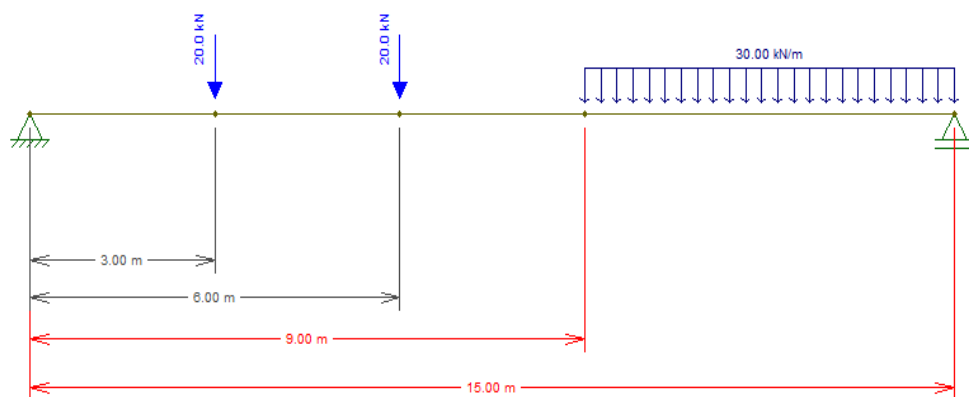


Figura 19 – Forças atuantes na estrutura (fonte: autor)

2º Passo: Calcular o momento em cada ponto da estrutura, como mostra a Figura 20:



Figura 20 – Marcação dos pontos na estrutura (fonte: autor)

Desenvolvendo a equação (4) nos pontos A, B, C, D e E obtém-se:

$$\sum \vec{M}_A = 0$$

$$\vec{M}_A = 156kN \cdot 15m - 180kN \cdot 12m - 20kN \cdot 6m - 20kN \cdot 3m$$

$$\vec{M}_A = 0$$

$$\sum \vec{M}_B = 0$$

$$\vec{M}_B = 64kN \cdot 3m$$

$$\vec{M}_B = 192kN \cdot m$$

$$\sum \vec{M}_C = 0$$

$$\vec{M}_C = 64kN \cdot 6m - 20kN \cdot 3m$$

$$\vec{M}_C = 324kN \cdot m$$

$$\sum \vec{M}_D = 0$$

$$\vec{M}_D = 64kN \cdot 9m - 20kN \cdot 6m - 20kN \cdot 3m$$

$$\vec{M}_D = 396kN \cdot m$$

$$\sum \vec{M}_E = 0$$

$$\vec{M}_E = 64kN \cdot 15m - 20kN \cdot 12m - 20kN \cdot 9m - 180kN \cdot 3$$

$$\vec{M}_E = 0$$

3º Passo: Após o cálculo do momento em cada ponto da estrutura monta-se o digrama conforme a Figura 21:

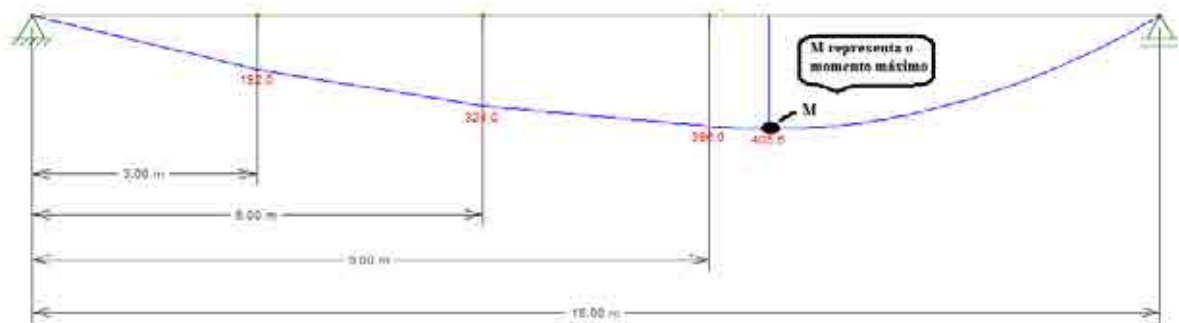


Figura 21 – Diagrama do momento fletor (fonte: autor)

4º Passo: Cálculo do momento máximo. Através do diagrama de esforço cortante é possível descobrir qual o valor da distância X como mostrado na Figura 22:

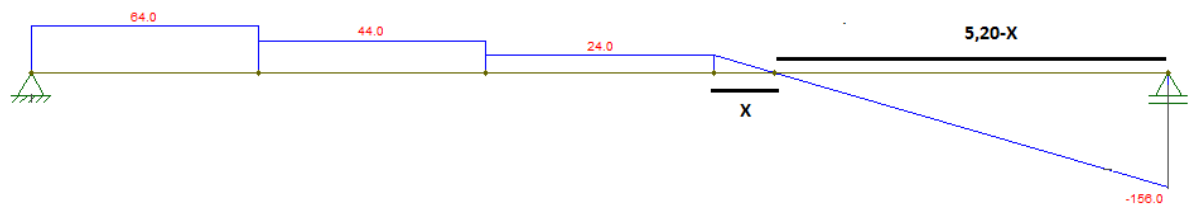


Figura 22 – Distância “x” do diagrama (fonte: autor)

Utilizando regra de três tem-se:

$$\frac{24kN}{X} = \frac{156kN}{6m - X}$$

$$180kN \cdot X = 144kN \cdot m$$

$$X = 0,8m$$

Após encontrar o valor de X, obtém-se:

$$\vec{M} = -180kN \cdot 2,2m + 156kN \cdot 5,2m - 24kN \cdot 0,4m$$

$$\vec{M} = 405,6kN \cdot m$$

5 PROPOSTA

Durante o curso de engenharia os docentes apresentam o conceito de estrutura e o desenvolvimento dos cálculos. A proposta é ir além do que é explicado durante as aulas, é mostrar aos discentes como uma estrutura se comporta quando submetida determinados carregamentos, sejam eles pontuais ou distribuídos.

Para mostrar o quão importante é saber o conceito, entender a análise gráfica e desenvolver o cálculo. Foi escolhido um modelo real para representar graficamente e visualmente o que ocorre com a estrutura ao ser solicitada.

O modelo proposto é bem completo na questão de engenharia, pois trata de uma ponte com estrutura em concreto armado, com três vãos em arco abatido (Figura 23) e apoios nas extremidades. Os apoios intermediários são engastados.



Figura 23 – Vista geral a jusante da ponte (fonte: autor)

O tabuleiro é dividido em três segmentos, sendo o central dotado de apoios Gerber, como pode ser visto na figura 24:



Figura 24 – Vista lateral da longarina a jusante (fonte: autor)

Essa ponte, localizada na cidade de São Luís do Paraitinga, estado de São Paulo, faz a interligação da Av. Celestino Campos Coelho com a Praça Dr. Oswaldo Cruz.

6 A IMPÔRTANCIA DO MODELO ESTRUTURAL PARA O ENSINO

Um modelo estrutural é um recurso utilizado como elemento de representação em escala. Suas características lúdicas, quando se trata de uma representação, desperta o interesse do observador. Ao mesmo tempo são objetos de estudo muito úteis quando há a necessidade de tridimensionalidade na representação. (CONSALEZ, 2001)

Por ter essas características a elaboração de um modelo estimula o aluno a transformar uma representação plana em objetos tridimensionais e proporcionais, favorecendo a compreensão do objeto em estudo.

Na elaboração do projeto é necessário pensar na relação entre a modelo e o observador. Deve-se considerar ainda que, por existirem diversos tipos de modelos, o tipo a ser adotado e projetado deve cumprir a sua finalidade.

Os modelos estruturais, que tem como objetivo representar um sistema onde se visualiza de forma clara a deformação e o deslocamento de uma estrutura montada.

Dessa forma, essa ferramenta pode ser um instrumento poderoso na compreensão de comportamentos, fenômenos físicos por parte de alunos.

O modelo desenvolvido neste trabalho tem como finalidade sua apresentação de forma didática, com o objetivo de transmitir aos alunos conceitos sobre o comportamento das estruturas quando solicitada.

Em suma, a finalidade de um modelo estrutural é reunir as hipóteses e teoria, para obter o comportamento das estruturas quando são submetidas às diversas solicitações.

7 ESCOLHA DOS MATERIAIS PARA A CONFECÇÃO DE MODELO ESTRUTURAL

Para a representação do modelo, o material escolhido foi o Poliestireno Expandido – EPS conhecido com o nome popular de isopor. O motivo da escolha desse material foi principalmente por causa das suas propriedades mecânicas, que são, para a escala representada:

- Resistência à compressão;
- Resistência à flexão;
- Resistência à tração;
- Fluência sob compressão.

Para a execução do modelo foi pensado também no meio ambiente, ou seja, o material utilizado deve ser biodegradável, o isopor apresenta essas características, pois não contaminam:

- Solo;
- Água;
- Ar.

O isopor é 100% reaproveitado, reciclável e, principalmente, pode voltar à condição de matéria prima.

De forma genérica pode-se considerar que os valores de resistência estão conectados com os valores de densidade do poliestireno expandido, logo, a resistência aumenta de forma linear com a densidade.

Uma característica muito importante do isopor em relação a muitos materiais é o fato de absorver pouca água quando imerso, além de secar facilmente sem perder suas propriedades.

Como o objetivo da análise estrutural é a representação do modelo para simular o que pode ocorrer com a estrutura quando submetida a diversas cargas, o material escolhido apresenta algumas características semelhantes aos utilizados no modelo real, como a compressão.

7.1 Montagem do modelo

Para a construção do modelo foi feito um esboço da ponte, como mostrado na Figura 25:



Figura 25 – Esboço da ponte: (a) modo gráfico; (b) forma real de representação (fonte: autor)

Utilizando isopor foi desenhada cada parte da estrutura. Com o auxílio de uma máquina de cortar isopor, as peças foram modeladas. Em seguida, utilizando fita dupla face, todas as partes da estrutura (Figura 26) foram coladas, obtendo como resultado final a ponte para realizar o ensaio.



Figura 26 – Ponte utilizada para o ensaio (fonte: autor)

Para facilitar a visualização do fenômeno envolvendo o experimento utilizou-se uma base de chapa de madeira com dimensões de 65 x 89 cm. Atrás da ponte colocou-se uma

chapa de depron com papel milimetrado para poder observar a deformação da mesma quando submetida às cargas. A Figura 27 mostra a montagem final para a execução do experimento:



Figura 27 – Estrutura montada (fonte: autor)

8 TESTES EM LABORATÓRIO

Para a execução dos ensaios em laboratório a seguinte metodologia foi aplicada.

Primeiramente foram marcados os pontos para a colocação das cargas, etapa esta de vital importância, pois ilustra a distribuição de carga ao longo da estrutura.

Após da marcação dos pontos foram realizadas as simulações que serão descritas a seguir.

1º Simulação:

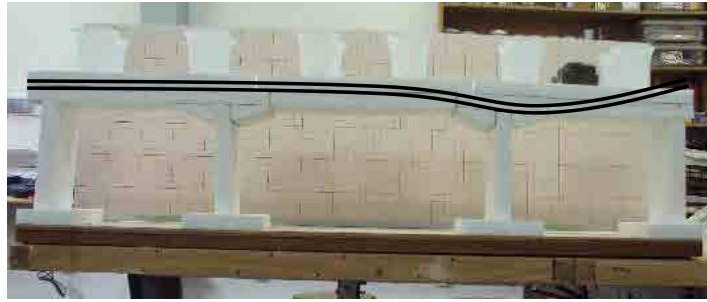
De forma a simular um peso constante na estrutura, tomou-se como artifício o uso de copos com água totalizando, cada um, uma massa de 100 gramas. A Figura 28 representa o esquema acima descrito.



Figura 28 – Representação do peso próprio (fonte: autor)

2º Simulação:

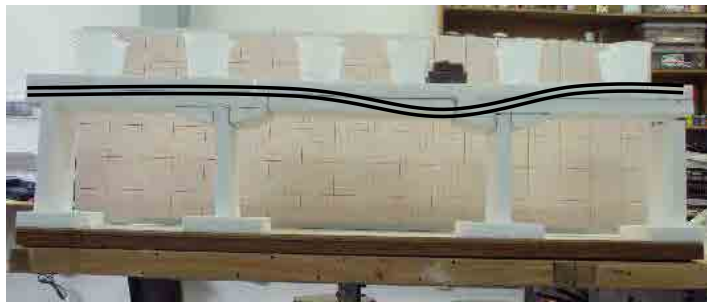
Na representação da carga concentrada, utilizaram-se barras metálicas totalizando 955 gramas. A Figura 29 mostra a deformação da estrutura quando a carga é colocada em pontos distintos.



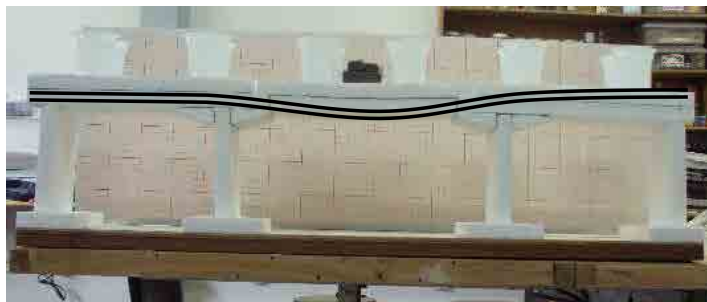
(a)



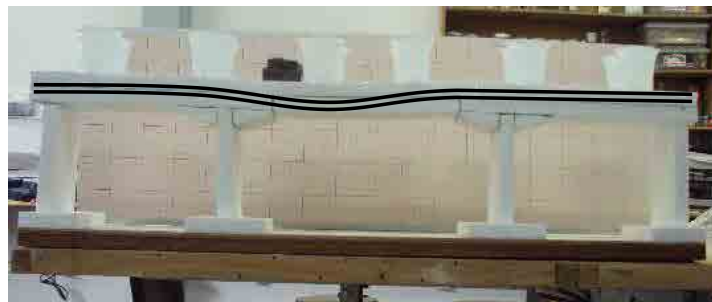
(b)



(c)



(d)



(e)



(f)



(g)

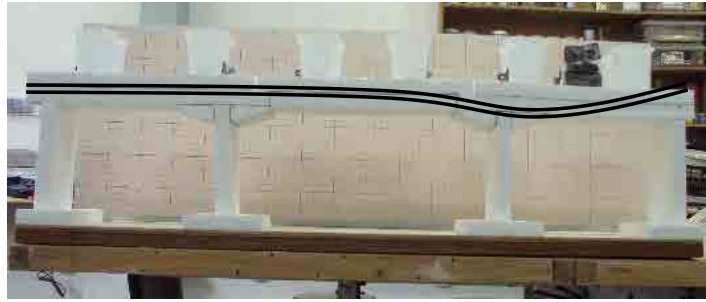


(h)

Figura 29 – Representação da carga concentrada (a) Carga aplicada no primeiro ponto (b) Carga aplicada no segundo ponto (c) Carga aplicada no terceiro ponto (d) Carga aplicada no quarto ponto (e) Carga aplicada no quinto ponto (f) Carga aplicada no sexto ponto (g) Carga aplicada no sétimo ponto (h) Carga aplicada no oitavo ponto (fonte: autor)

3º Simulação

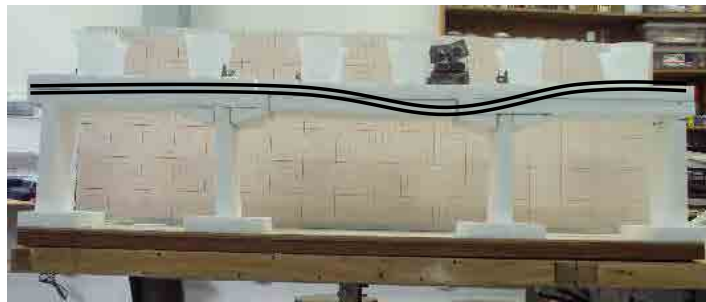
De forma a representar carga distribuída ao longo da estrutura foram utilizadas seis barras, totalizando 630 gramas. Além delas, a estrutura também foi submetida a uma carga concentrada de 1165 gramas. Essa simulação mostra seu comportamento na presença de cargas distribuídas e concentradas, onde se nota a deformação da mesma em diversos pontos, conforme a carga concentrada é movimentada. A Figura 30 retrata a situação mencionada.



(a)



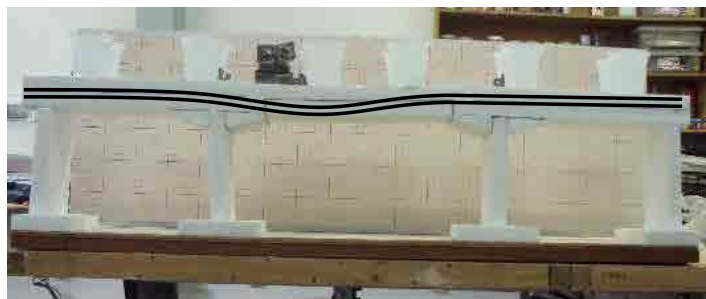
(b)



(c)



(d)



(e)



(f)



(g)



(h)

Figura 30 – Representação da carga concentrada e distribuída (a) Carga aplicada no primeiro ponto (b) Carga aplicada no segundo ponto (c) Carga aplicada no terceiro ponto (d) Carga aplicada no quarto ponto (e) Carga aplicada no quinto ponto (f) Carga aplicada no sexto ponto (g) Carga aplicada no sétimo ponto (h) Carga aplicada no oitavo ponto (fonte: autor)

9 RESULTADOS E ANÁLISE

A partir do experimento realizado conforme explicado no capítulo anterior, foi possível verificar, na primeira simulação, que, quando os copos com água foram colocados na estrutura, houve uma pequena deformação na mesma.

Quando se utilizou a carga concentrada, na segunda simulação, foi possível notar que a estrutura se deformava conforme a carga se deslocava. Deformação esta com a mesma geometria do diagrama de momento fletor. Notou-se, também, que quando a carga concentrada foi colocada na rótula, o momento fletor, neste ponto, continuou sendo zero e, quando a carga se deslocou da rótula em direção ao centro da estrutura, a força aplicada àquele ponto provocou um momento fletor no mesmo.

Na terceira simulação (carga concentrada e distribuída), observou-se que a deformação da estrutura, antes da colocação da carga concentrada, foi maior quando comparada à primeira simulação. Isto ocorreu devido ao fato da magnitude da carga que é distribuída ao longo da estrutura ser maior. Quando a carga concentrada se deslocava ao longo da estrutura, observou-se, claramente, a deformação da mesma, em um nível maior do que a segunda simulação.

É possível verificar que, na segunda e na terceira simulação, os vínculos no centro da ponte sofrem o efeito de flexão.

Fazendo uma análise do experimento realizado foi possível observar pontos a serem aprimorados em um próximo experimento, como o fundo a ser colocado para conseguir analisar as deformações que a estrutura sofre precisa ter linhas mais espessas e escuras para facilitar a visualização destas deformações.

Outro ponto a ser aprimorado é construir uma estrutura mais larga, possibilitando ensaios em que a carga móvel seja um “carrinho” para passar ao longo da mesma.

10 CONCLUSÃO

Através da proposta de um tipo de instrução de laboratório como o exposto neste trabalho, demonstrou-se uma maneira de implementar a disciplina prática para as matérias relacionadas a isostática e afins.

Este tipo demonstração em sala de aula facilita o entendimento dos alunos em assimilar a teoria com a prática, pois, durante o curso, foi possível notar que grande parte dos alunos têm dificuldades em compreender o fenômeno que as diversas estruturas estudadas sofrem quando submetidas a variadas cargas. O projeto, além de demonstrar o comportamento das estruturas, também enfatiza os elementos físicos que representam elementos de ligação entre as estruturas, como rótulas, engastes, etc.

Observou-se que, empregando os materiais adequados, é possível simular o comportamento de uma estrutura real quando submetida a esforços em um modelo que pode ser utilizado na instrução dos alunos dos diversos cursos de engenharia.

Através dessa demonstração os instruandos poderão compreender a formação dos diagramas em cada ponto de solicitação da estrutura.

Em suma, por haver certa dificuldade dos alunos em compreender os modelos gráficos, a aplicação prática da teoria ministrada em sala de aula aos alunos dos diversos cursos de engenharia vai resultar em uma melhor absorção entre teoria e prática. Essa proposta foi uma primeira abordagem para validar o conceito, pois, aprimorando o que foi discutido ao longo deste trabalho, haverá uma busca permanente para melhorar o ensino de formas cada vez mais refinadas.

SORIANO, Humberto Lima; LIMA, Silvio de Souza. **Análise de Estruturas:** método das forças e método dos deslocamentos. Rio de Janeiro: Ciência Moderna Ltda, 2004. 310 p.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

ALMEIDA, Maria Cascão Ferreira de. **Estruturas isostáticas**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. 168 p.

ALVES, Massiene Scavella. **Avaliação da distribuição transversal de cargas em tabuleiros de pontes em vigas múltiplas, com e sem transversinas internas**. 2010. 78 f. Trabalho de Graduação (Graduação) - Departamento de Engenharia Civil, Universidade Católica do Salvador, Salvador, 2010.

ARAGÃO FILHO, Luiz A. C. Moniz de. **Curso de Análise Matricial de Estruturas**. Disponível em: <<http://www.ime.eb.br/~moniz/pdf/introd.pdf>>. Acesso em: 28 abr. 2011.

CHRISTOFOLETTI, Antonio. **Modelagem de sistemas ambientais**. São Paulo: Edgard Blucher, 1999. 236 p.

Deflexão das vigas por integração. Disponível em: <<http://www.mea.pucminas.br/perrin/solidos/texto003-deflexaodevigas.pdf>>. Acesso em: 12 abr. 2011.

JUDICE, Flávia Moll de Souza; PERLINGEIRO, Mayara Soares Pereira Lima. **Resistência dos Materiais IX**. Disponível em: <http://www.uff.br/resmatcivil/Downloads/ResMatIX/apostila_resmatIX.pdf>. Acesso em: 15 ago. 2011

LIMA, Flávio Barboza de. **Teoria das Estruturas I**. Disponível em: <www.pet.ufal.br/petcivil/.../TeoriaEstrut1_20091_aula06.pdf>. Acesso em: 05 maio 2011.

MARTHA, Luiz Fernando. **Método Básicos da Análise de Estruturas**. Disponível em: <<http://www.tecgraf.puc-rio.br/~lfm>>. Acesso em: 25 maio 2011.

REBELLO, Yopanan Conrado Pereira. **Bases para projeto estrutural na arquitetura**. São Paulo: Ziguarte, 2007. 286 p.

Resistência dos Materiais. Apostila II. Disponível em: <http://www.tecnicodepetroleo.ufpr.br/apostilas/engenheiro_do_petroleo/resistenciademateriais2.pdf>. Acesso em: 10 jul. 2011.

VALLE, Ângela do; LA ROVERE, Henriette Lebre; PILLAR, Nora Maria de Patta. **Apostila de Análise Estrutural I.** Disponível em: <http://pet.ecv.ufsc.br/site/downloads/apoio_did%E1tico/ECV5219%20-%20An%E1lise%20Estrutural%20I.pdf>. Acesso em: 20 maio 2011.

VIERO, Edison Huberto. **Isostática passo a passo:** Sistemas estruturais em engenharia e arquitetura. Caxias do Sul: Oficina de Textos, 2009. 239 p.