

## **ANÁLISE DO EFEITO DA EXCENTRICIDADE NA OBTENÇÃO DE ESFORÇOS EM LONGARINAS DE PONTES UTILIZANDO O SAP2000**

SAULO EMANOEL DE LIMA BRITO<sup>1\*</sup>; ERWIN ULISES LOPEZ PALECHOR<sup>2</sup>;

<sup>1</sup>Discente do curso de Engenharia Civil, UFCA, Juazeiro do Norte-CE, sauloelb@gmail.com;

<sup>2</sup>Doutor em Estruturas e Construção Civil, Professor Assistente do Programa de Engenharia Civil, Universidade Federal do Cariri, Campus Juazeiro do Norte-CE, erwin.lopez@ufca.edu.br;

Apresentado no  
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC'2018  
21 a 24 de agosto de 2018 – Maceió-AL, Brasil

**RESUMO:** Este trabalho apresenta um estudo comparativo dos efeitos nas longarinas de pontes devido à consideração ou não da excentricidade do tabuleiro com relação ao eixo longitudinal das longarinas, isto na modelagem numérica da superestrutura desenvolvida no software SAP2000 14.1.0. Para a apresentação dos resultados, foram propostos dois modelos de ponte, ambos compostos por longarinas e transversinas, modelados como elementos de barra, e por laje tabuleiro, modelada como elementos de casca, além de um modelo analítico para validação e comparação dos resultados. O modelo 1 não considerou qualquer excentricidade entre as barras e os elementos de casca (tabuleiro), enquanto o modelo 2 buscou modelar os elementos em suas posições reais. Os resultados demonstraram que a excentricidade entre os elementos, considerada no modelo 2, gerou grande redução de momentos fletores e de flecha nas longarinas, correspondendo a cerca 30% dos valores obtidos no primeiro modelo. Em contrapartida, a excentricidade dos elementos com relação aos apoios tende a causar esforços axiais na estrutura, esforços que não são produzidos no modelo 1.

**PALAVRAS-CHAVE:** Pontes, SAP2000, modelagem, excentricidade.

### **ANALYSIS OF THE EFFECT OF EXCENTRICITY IN OBTAINING EFFORTS ON BRIDGE BEAMS USING SAP2000**

**ABSTRACT:** This study presents a comparative study of the effects on bridge struts due to the consideration of the eccentricity of the board and the longitudinal axis of the struts, in numerical modeling of the superstructure developed in SAP2000 14.1.0 software. For the presentation of the results, two bridge models were proposed, both composed of longitudinal and transverse beams, modeled as bar elements, and by slab tray, modeled as bark elements, as well as an analytical model for validation and comparison of results. Model 1 did not consider any eccentricity between the bars and the shell elements (tray), while model 2 sought to model the elements in their real positions. The results showed that the eccentricity between the elements, considered in the model 2, generated a great reduction of bending and arrow moments in the stringers, corresponding to about 30% of the values obtained in the first model. On the other hand, the eccentricity of the elements in relation to the supports tends to cause axial stresses in the structure, efforts that are not produced in the model 1.

**KEYWORDS:** Bridges, SAP2000, modeling, eccentricity.

### **INTRODUÇÃO**

O SAP2000 é um software utilizado em modelagem, análise, projeto e otimização de estruturas em geral. (COMPUTERS AND STRUCTURES, 2011). Pertencente à *Computers and Structures, Inc.*(CSI), uma das empresas pioneiras na criação de softwares para análises de estruturas, o programa possui grande versatilidade e uma variedade de opções, efetuando análises estruturais estáticas e dinâmicas, lineares e não lineares, através do Método dos Elementos Finitos.

Apesar da grande praticidade obtida através do uso de softwares como o SAP2000 e de outros softwares similares no mercado, os profissionais que os utilizam devem ter conhecimento sobre os diversos assuntos de envolvem a análise de estruturas para garantir a confiabilidade dos resultados

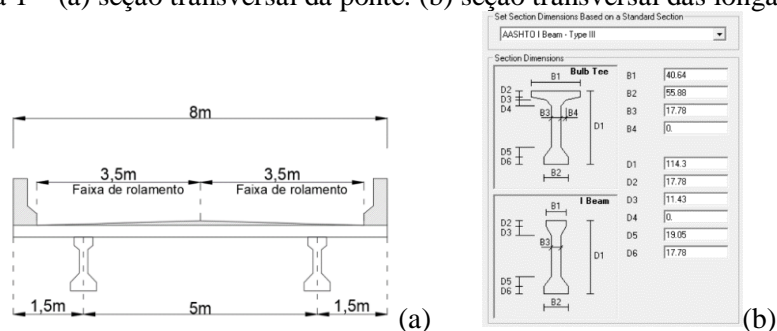
obtidos, uma vez que fica a cargo deles a correta concepção do modelo, a análise e a interpretação dos resultados. De acordo com Cook, Malkus e Plesha (1989), deve-se ter um bom entendimento das limitações da teoria aplicada, do comportamento físico e das condições de contorno da estrutura real para a elaboração de um modelo em Elementos Finitos.

Considerando-se a importância de se analisar as diversas hipóteses e os efeitos das simplificações no dimensionamento de estruturas de pontes, inclusive no que se refere ao posicionamento e ligação dos elementos no modelo, este trabalho objetiva identificar os efeitos da excentricidade entre os elementos que representam o tabuleiro e as longarinas utilizados na modelagem utilizando o software de análise em Elementos Finitos SAP2000 14.1.0.

## MATERIAL E MÉTODOS

Para este estudo, foi considerada uma ponte isostática com dimensões de 20 metros de comprimento e de 8 metros de largura, composta por duas faixas de rolamento com larguras iguais a 3,5 m e barreiras laterais de largura igual a 50 cm. A superestrutura é composta pelos seguintes elementos em concreto armado: a) laje tabuleiro de seção transversal constante e espessura igual a 25cm; b) duas longarinas pré-moldadas com seção transversal do tipo AASHTO *type III*, cuja geometria é mostrada na Figura 1-b (com valores em centímetros) e cujo centroide localiza-se verticalmente a uma distância de 51,50 cm da base, e; c) duas transversinas de apoio e uma transversina intermediária, esta localizada exatamente no meio do vão das longarinas, cujas seções são do tipo retangular e dimensões 50cm x 80cm.

Figura 1 – (a) seção transversal da ponte. (b) seção transversal das longarinas.



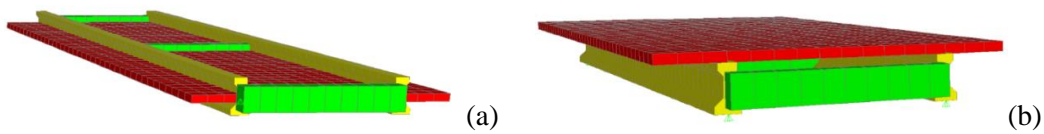
Foram trabalhadas modelagens com vigas representadas por elementos de barra e lajes (tabuleiro) representadas por elementos de casca. Em uma das extremidades das longarinas foram adotados apoios com restrições de translação nos eixos X, Y e Z, enquanto na outra extremidade foram utilizados apoios com restrição de translação somente nos eixos Y e Z, atribuindo um caráter isostático no eixo longitudinal da ponte. Na Figura 2 são apresentadas descrições sucintas dos modelos utilizados:

Modelo 1: Neste modelo, não é considerada qualquer excentricidade entre o plano médio da laje e o centroide das vigas longarinas. Assim, ocorre uma situação de disposição geométrica dos elementos estruturais que não condiz com a geometria dos elementos em uma estrutura real, uma vez que o topo das vigas se posiciona acima do topo da laje tabuleiro, conforme Figura 2-a. No entanto, este modelo é bastante usual em análise de esforços em vigas, tanto pela maior simplicidade e menor esforço computacional, como também pela tendência de ser mais conservador no dimensionamento destes elementos, por tornar a estrutura mais rígida.

Modelo 2: Neste modelo, foram alteradas as configurações de *insertion point* das barras que representam as longarinas. Esta ferramenta existente no SAP2000 permite alterar a disposição da seção transversal com relação ao elemento de barra criado. Neste caso, será alterado o padrão do *Cardinal Point* de 10 (*centroide*) para 8 (*top center*). Assim, ao definir as seções das longarinas, o eixo ficará localizado no topo da seção ao invés do centroide. Além disso, reposicionados os demais elementos no modelo. Os elementos de casca foram dispostos com um *offset* de 12,5cm acima das barras que representam as longarinas, valor referente à metade da espessura da laje tabuleiro. Já as transversinas devem ser dispostas com um *offset* de 62,80cm abaixo dos eixos das longarinas. Os apoios devem estar localizados na base das longarinas, portanto, a uma distância de 114,3cm abaixo

das barras. Os elementos reposicionados devem ser ligados através de links rígidos para manter a distribuição dos esforços na estrutura. É possível perceber que, diferente do modelo anterior, este modelo possui uma disposição dos elementos mais próxima do caso real, conforme Figura 2-b.

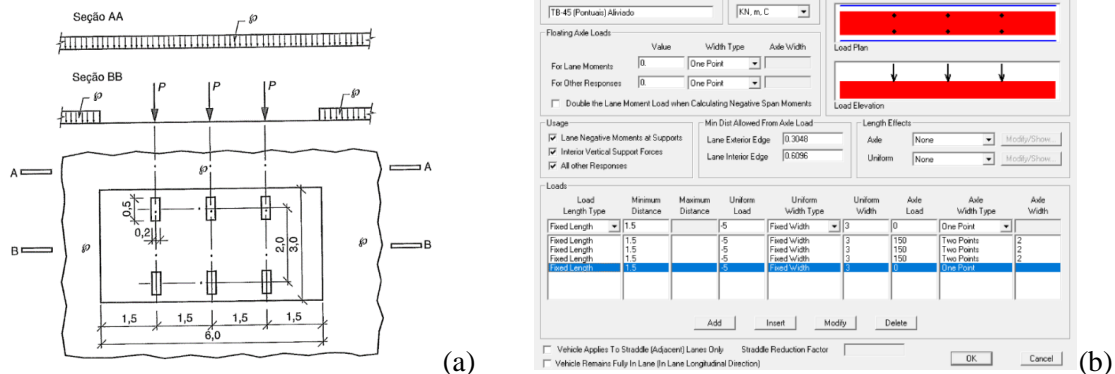
Figura 2 – (a) Modelo 1. (b) Modelo 2.



Devido ao caráter do trabalho, não foi considerada a presença de aparelhos de apoio. Além disso, para fins didáticos, foram feitas análises considerando somente carregamento móvel definido pela norma brasileira ABNT NBR 7188/2013, sem considerar, entretanto, as ponderações pelos coeficientes CIV, CNF e CIA, recomendados pela mesma norma. Estes coeficientes, em um caso prático de dimensionamento, devem ser utilizados no cálculo para compensar os efeitos dinâmicos, que não são considerados em análises estáticas de carregamento móvel.

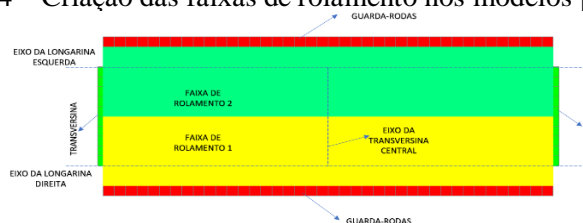
O trem-tipo TB-450 é composto por seis cargas pontuais (eixos das rodas do veículo) no valor de 75kN e cargas distribuídas (multidão) no valor de 5kN/m<sup>2</sup>, dispostas conforme Figura 3. Para aplicar estas cargas no modelo, foi criado o trem-tipo no SAP2000, através da ferramenta *vehicles*, incluindo somente cargas pontuais e um carregamento distribuído de alívio do carregamento de multidão na área ocupada pelo veículo, uma vez que os carregamentos distribuídos de multidão foram aplicados separadamente como um carregamento sobre toda a área do tabuleiro, o que incluiria a área ocupada pelo veículo.

Figura 3 – (a) Trem-tipo TB-45 conforme NBR 7188/2013. (b) Criação do trem-tipo no SAP2000



O procedimento padrão para aplicação de cargas móveis utilizando o SAP2000 é dado pelos seguintes passos: 1- Seleção do veículo-tipo a ser utilizado; 2- Criação da classe de veículos; 3- Criação das linhas de referências (*bridge layout lines*) e faixas de rolamento (*lanes*) e; 4- Criação do carregamento móvel, indicando ao menos a classe de veículos e as faixas onde devem ser lançadas as cargas. A Figura 4 mostra as *Lanes* criadas em cada um dos modelos.

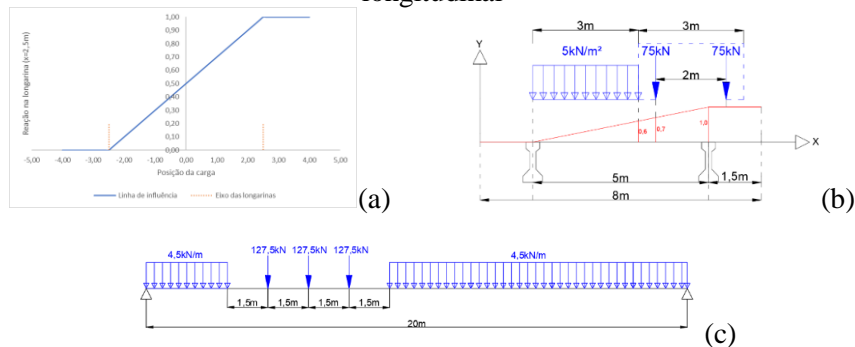
Figura 4 – Criação das faixas de rolamento nos modelos propostos



Por fim, para efeitos de validação de resultados, foi realizada análise simplificada através de método analítico, em duas dimensões. Para o posicionamento do carregamento móvel na seção transversal do tabuleiro, utilizou-se o método analítico de Engesser-Courbon, que considera as reações nas longarinas proporcionais ao carregamento aplicado. Para o modelo em estudo, constituído somente por duas longarinas, a linha de influência transversal é obtida de forma simples através deste método e que equivale a uma análise de linhas de influência em viga biapoiada. A Figura 5-a mostra a linha de influência da reação da longarina localizada à direita da seção transversal. Percebe-se que, o

posicionamento do trem-tipo deve ser o mais próximo possível do limite lateral do tabuleiro, para obtenção dos efeitos mais desfavoráveis, atendendo ao que recomenda a ABNT NBR 7188 (2013), a qual destaca que “a carga móvel assume qualquer posição em toda a pista rodoviária com as rodas na posição mais desfavorável, inclusive acostamento e faixas de segurança”. Considerando a existência das barreiras laterais de 0,50m e as características geométricas do trem-tipo brasileiro, as rodas ficarão posicionadas a uma distância de 1m do limite da seção transversal, conforme Figura 5-b. Após conversão do trem-tipo transversal para o trem-tipo longitudinal, é obtida a configuração mostrada na Figura 5-c, a partir da qual foi feita a análise dos esforços na longarina, utilizando o FTOOL, ferramenta para análises em duas dimensões.

Figura 5 – (a) Linha de influência transversal. (b) Posicionamento do trem-tipo. (c) Trem-tipo longitudinal



## RESULTADOS E DISCUSSÃO

As envoltórias de momento fletor, de esforços cortante e de torção e a deformação nas longarinas, obtidas nos dois modelos em elementos finito, são mostradas nas Figuras 6 e 7.

Figura 6 – Esforços no Modelo 1: (a) Momento fletor. (b) Cortante. (c) Torção. (d) Deformação.

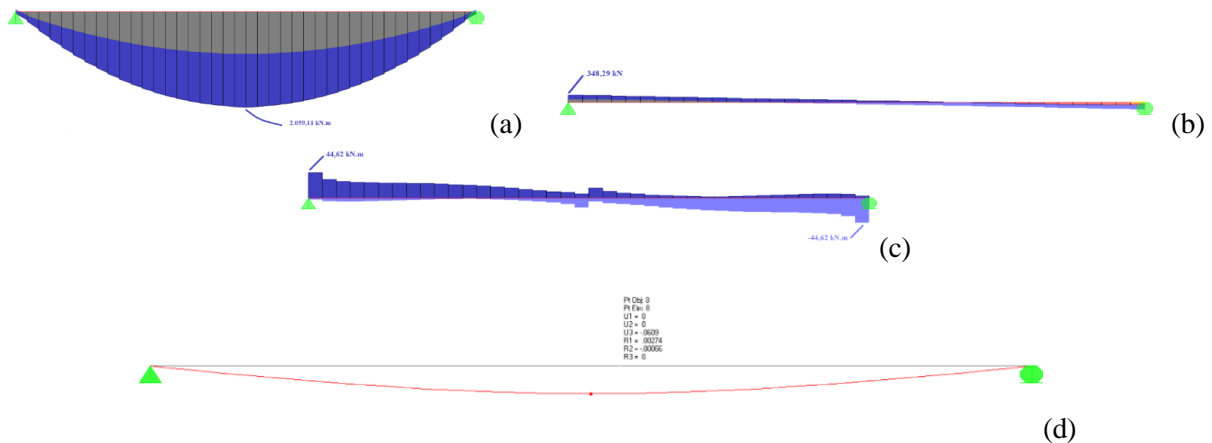
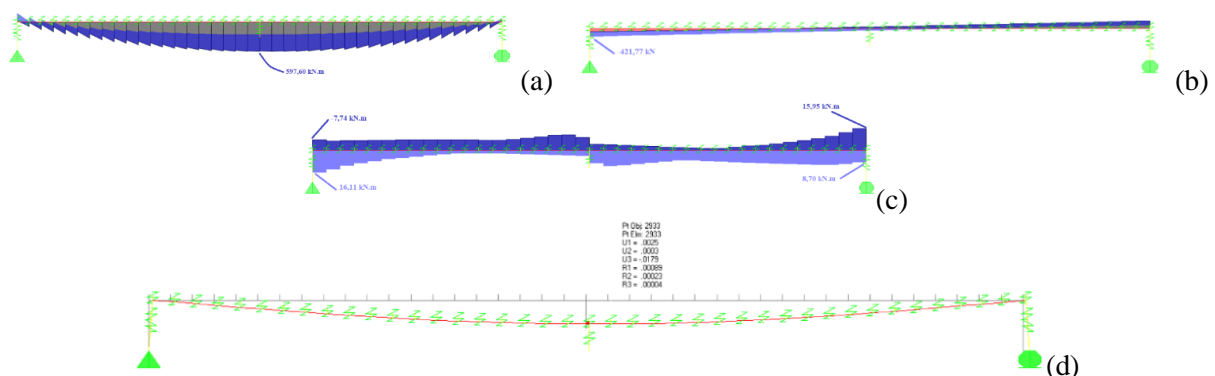


Figura 7 – Esforços no Modelo 2: (a) Momento fletor. (b) Cortante. (c) Torção. (d) Deformação.



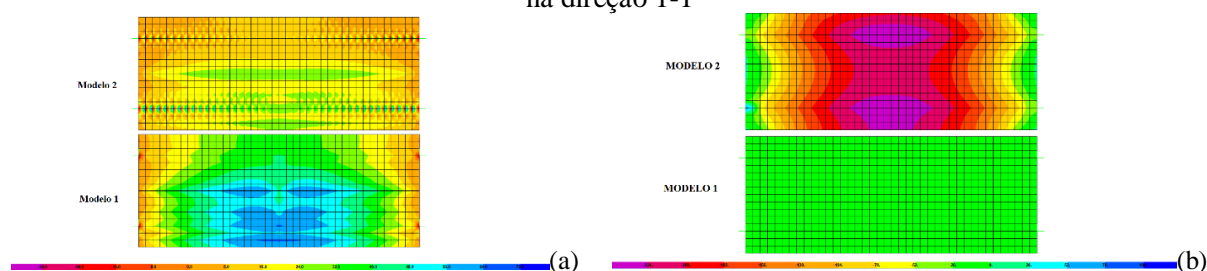
A Tabela 1 mostra o comparativo entre os valores máximos, em módulo, obtidos nos diferentes modelos, inclusive no modelo analítico.

Tabela 1 – Valores de esforços nas longarinas

Modelos	Momento Fletor (kN.m)	Esforço Cortante (kN)	Momento torçor (kN.m)	Esforço Normal (kN)	Deslocamento Vertical (m)
Mod. 1	2059,11	348,29	44,62	0,00	0,0609
Mod. 2	597,6	421,77	16,11	2119,8	0,0179
Analítico	1831,5	380,84	-	0,00	0,0525

A Figura 8 mostra os esforços de momento fletor e esforço normal na direção longitudinal do tabuleiro.

Figura 8 – (a) Momentos Fletores no tabuleiro na direção 1-1. (b) Esforço Normal no tabuleiro na direção 1-1



## CONCLUSÃO

A modelagem dos elementos da superestrutura no SAP2000 desconsiderando a excentricidade mostrou valores para esforços de momento fletor e cortante e deslocamento vertical semelhantes aos obtidos no método analítico utilizado como validação, com diferenças de cerca de 12% com relação aos momentos fletores, cerca de 16% para o deslocamento e de menos de 10% para o esforço cortante. Já no modelo 2, apresentou considerável redução dos momentos fletores e do deslocamento vertical em relação ao método analítico e modelo 1, apresentando valores de momento fletor e deslocamento 70% menores que os valores do modelo 1.

A redução de momentos fletores e da flecha nas longarinas do modelo 2 é compensada com o aumento de esforços axiais nos elementos, tanto nas longarinas quanto no próprio tabuleiro. A Figura 7-d mostrou que o deslocamento da estrutura neste modelo aproxima-se do comportamento de um pórtico, o que tende a reduzir os momentos fletores positivos e de flecha nas longarinas, podendo também gerar momentos negativos nas extremidades destes elementos, dependendo dos tipos de apoio considerados.

Conclui-se que a excentricidade considerada no modelo 2 reduz os esforços de momento fletor e o deslocamento vertical nas longarinas, tendendo a gerar também momentos negativos e esforços axiais nos elementos do modelo. Assim, o dimensionamento de longarinas tende a ser mais conservador através do modelo 1.

## REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7188: Carga móvel rodoviária e de pedestres em pontes, viadutos, passarelas e outras estruturas. Rio de Janeiro, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7187: Projeto de pontes de concreto armado e de concreto protendido - procedimento. Rio de Janeiro, 2003.
- COMPUTERS AND STRUCTURES, Inc. CSI Analysis Reference Manual. Berkeley, EUA, 2011.
- COOK, Robert Davis; MALKUS, David Starr; PLESHA, Michael E. Concepts and Applications of Finite Element Analysis. 3ª Edição. Madison: John Wiley & Sons Incorporation, 1989.
- LONGO, H. I. Esforços Máximos em Pontes Tipo Grelha. Disponível em: <<http://pantheon.ufrj.br/handle/11422/2956>>. Acesso em: 02 junho. 2018.