



UM ESTUDO ANALÍTICO-NUMÉRICO DE PROCESSOS DE CÁLCULO PARA AVALIAÇÃO DOS ESFORÇOS EM TABULEIROS DE PONTES EM GRELHAS

Adriana Correia da Silva

Henaldo Santana de Melo

Lineu José Pedroso

adrianacorreiacds@gmail.com

henaldomelo@gmail.com

lineu@unb.br

Universidade de Brasília – UnB

Campus Universitário Darcy Ribeiro, Asa Norte, 70910-900, Brasília, Distrito Federal, Brasil

Resumo. Baseando-se em estudos anteriores sobre a superestrutura de pontes, este trabalho propõem a comparação entre o método analítico proposto pelo método de Courbon-Engesser e pelo método de Leonhardt com o método numérico utilizado pelo software SAP2000 (MEF) para o cálculo de tabuleiros do tipo grelha. São analisados e comparados os resultados obtidos para o quinhão de carga repassado para cada uma das três longarinas da grelha modelada quando um carregamento unitário pontual é aplicado na interseção com as transversinas. Essa comparação foi realizada para comprovar que o uso dos métodos analíticos, ainda hoje, é competitivo e que possui grande importância uma vez que os métodos computacionais nem sempre são acessíveis.

Palavras-Chave: Grelhas, Courbon-Engesser, Leonhardt, Elementos Finitos, Tabuleiro de Pontes.

INTRODUÇÃO

A economia brasileira é extremamente dependente do transporte terrestre, sendo esse ainda falho para o escoamento da produção nacional. Para seu desenvolvimento, é necessária não só a manutenção da malha atual, como também a criação de novas estradas para atender a demanda acumulada. Assim, o estudo de pontes apresenta-se como fundamental para o desenvolvimento do país, já que essas estradas necessitam superar obstáculos impostos pelo relevo.

Os métodos analíticos de Courbon-Engesser e de Leonhardt utilizam hipóteses simplificadoras que permitem o cálculo manual de estruturas complexas, permitindo aos engenheiros compreender esforços e deformações das estruturas quando carregadas, tornando-os capaz de analisar criticamente os resultados gerados pelos softwares. Esses por possuírem elevado preço de mercado, não estão disponíveis a todos. Pequenas prefeituras, podem se valer desses métodos analíticos

O SAP 2000 é um *software*, que se utiliza do método dos elementos finitos para sua análise. Sua operação não pode ser negligenciada pelo usuário, uma vez que respostas não condizentes com realidade poderão ser geradas.

Nesse trabalho, a estrutura modelada foi uma ponte com o tabuleiro em grelha, constituída por três longarinas e duas transversinas, submetida a uma carga unitária aplicada nos pontos seus pontos de interseção. Baseando-se na teoria abordada nos trabalhos de Pedroso (2016) e Melo (2016), o valor do quinhão de carga será comparado para cada um dos métodos utilizados. Os resultados mostram que, embora os métodos analíticos se baseiem em hipóteses simplificadoras, seus resultados são satisfatórios e validam a análise computacional realizada.

1 DESENVOLVIMENTO TEÓRICO

Os tabuleiros de pontes são estruturas, em geral, compostas de diversas vigas longitudinais, as longarinas, ligadas perpendicularmente, por outro conjunto de vigas chamadas de transversinas, que juntas suportam a mesa, usualmente uma laje. Assim, são as grelhas planas compostas de vigas dispostas em duas direções perpendiculares entre si submetidas a um carregamento perpendicular ao plano. Ao analisar um tabuleiro de ponte em grelha pelos métodos analíticos, considera-se que seus elementos estão desconectados graças às hipóteses simplificadoras. Foi então modelada uma grelha constituída de três longarinas de 20 metros de comprimento ligadas por duas transversinas de 7 metros. A inércia de todas as vigas foi adotada constante com uma seção transversal de 40 cm x 20 cm.

1.1 Método de Courbon-Engesser

O método de Courbon-Engesser considera-se a ponte como uma grelha formada por vigas longitudinais e vigas transversais ortogonais entre si e despreza a influência da rigidez do tabuleiro. Para San Martim (1951), as transversinas devem possuir uma rigidez infinita, isto é, as deformações das transversinas são desprezadas. A transversina deve ter um comprimento inferior ou igual à metade do comprimento das longarinas, suas alturas devem possuir a mesma ordem de grandeza e tanto as lajes, como as longarinas, devem possuir pequena espessura. O perfil de deformação da transversina é equivalente à equação de um polinômio

de primeiro grau, onde o deslocamento vertical, y , depende da posição de aplicação da carga na transversina, como mostra a Fig. 1.

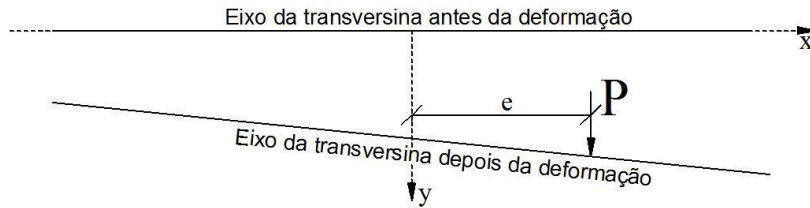


Figura 1. Perfil de deformação da transversina. [adaptado, Martin (1981)]

Através da relação linear dos deslocamentos verticais e dos elementos geométricos, representados na Fig. 2, que ilustra um corte na seção transversal de uma ponte genérica com n longarinas espaçadas a cada ε , é possível determinar a Eq. 1 dada por Martin (1981), que determina o quinhão de carga, R_i , que chega na longarina i , dada a aplicação da carga concentrada P com excentricidade e em uma transversina da ponte.

$$R_i = \frac{P}{n} \left[1 + 6 \frac{2i - (n+1)e}{n+1} \frac{e}{\ell} \right] \quad (1)$$

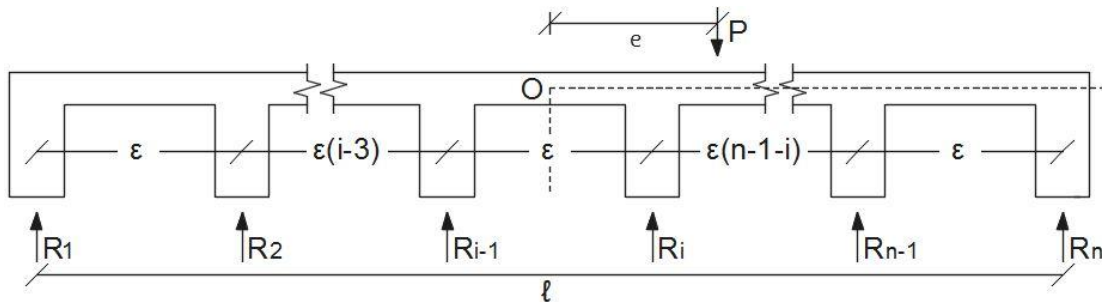


Figura 2. Seção transversal da ponte. [adaptado, Martin (1981)]

1.2 Método de Leonhardt

O método de Leonhardt estuda o efeito da grelha aplicando a teoria das deformações elásticas e admite que o tabuleiro seja representado por vigas principais paralelas, de inércia constante e igualmente espaçadas, ligadas por apenas uma viga transversal simplesmente apoiada e perpendicular à direção principal, que representando todas as vigas transversais da grelha. A carga é aplicada na viga transversal, gerando as reações X_{ik} , como mostra a Fig. 3, onde os números representam as longarinas (vigas principais) e k , o número da transversina.

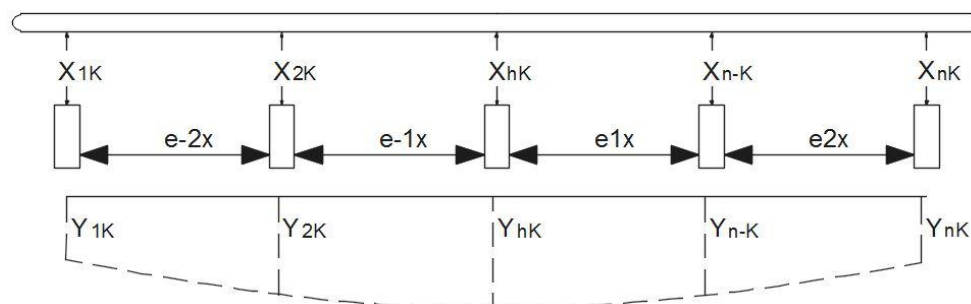


Figura 3. Deformação da transversina fictícia apoiada em longarinas [adaptado, Melo (2016)]

É definido o grau de rigidez da estrutura, dado pela Eq. 2 que servirá como valor de entrada para as tabelas apresentadas por San Martin (1981) para o coeficiente de repartição das cargas. O mesmo autor sugere que o valor do grau de rigidez da estrutura deve ser corrigido para o uso de mais de uma transversina, segundo a Tabela **Erro! Fonte de referência não encontrada.**1. O coeficiente de repartição transversal foi tabelado, apresentadas na bibliografia de Martin (1981), possuindo como parâmetro de entrada a relação que constitui o denominado grau de rigidez da estrutura, ζ , descrito na Eq. 2 onde L , ϵ , J_T e J_L são, respectivamente, o comprimento da longarina, o afastamento entre longarinas, o momento de inércia das transversinas e o momento de inércia das longarinas.

$$\zeta = \frac{\eta}{2\lambda} = \frac{\frac{J_T}{J_L}}{\left(\frac{2\epsilon}{L}\right)^3} = \frac{J_T}{J_L} \cdot \left(\frac{L}{2\epsilon}\right)^3 \quad (2)$$

Tabela 1. Majoração do grau de rigidez da estrutura [Martin (1981)]

Número de Transversinas Reais	I
2	1,000
3 ou 4	1,600
5 ou 6	2,000

1.3 Método dos Elementos Finitos

O método dos elementos finitos discretiza um meio contínuo em quantidades finitas de partes, chamadas de elementos, que são capazes de manter as propriedades do meio contínuo que os gerou, sendo ligados entre si por nós. A quantidade e o tipo de elemento adotado dependem da natureza do problema estudado. Para Soriano (2009), o Método de Elementos Finitos, MEF, é consolidado, e é rotineiramente utilizado em projetos de engenharia, com programação automática e cada vez mais eficiente, merecendo citação dos programas SAP[®] e ANSYS[®]. Essa poderosa ferramenta é utilizada pelos escritórios de cálculo estrutural. O elemento utilizado para a modelagem deste trabalho foi o GRID ONLY, fornecido pelo SAP2000 em sua versão V18. O software utiliza o método dos elementos finitos para sua análise, porém, não permite que o usuário altere nem a malha nem sua discretização.

2 RESULTADOS

A análise foi feita aplicando uma carga unitária no nó 1 e nó 2 do tabuleiro sem a presença da laje. Por conta da simetria, a aplicação da carga nos nós extremos 1 e 3 geraram os mesmos resultados, onde são representados pela Fig. 4. É observada a aproximação dos valores dos quinhões de cargas para cada método aplicado, sendo que os resultados gerados pelo SAP 200 possuem o valor intermediário entres os demais.

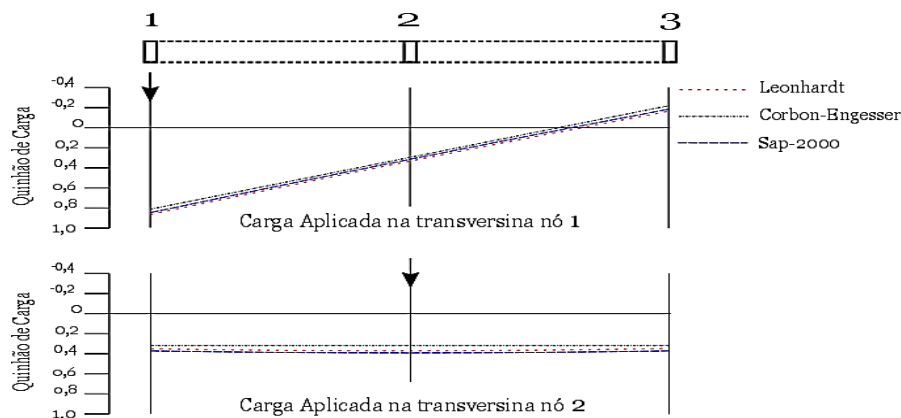


Figura 4. Distribuição de cargas dada a aplicação de carga nos nós 1 e 2

Nota-se que o valor do quinhão de carga pelo método de Courbon-Engesser, em ambos os casos de aplicação da carga, apresenta uma característica linear de distribuição nas longarinas graças à hipótese simplificadora que considera a transversina com rigidez elevada. No caso da carga aplicada no nó central, é possível observar com maior clareza as deformação geradas nos métodos de Leonhardt e SAP2000, que permitem a flexão das transversinas e, por isso, o nó onde a carga atua também é o que recebe um valor maior do quinhão de carga. Podendo assim observar uma deflexão no gráfico em comparação ao modelo de Courbon-Engesser.

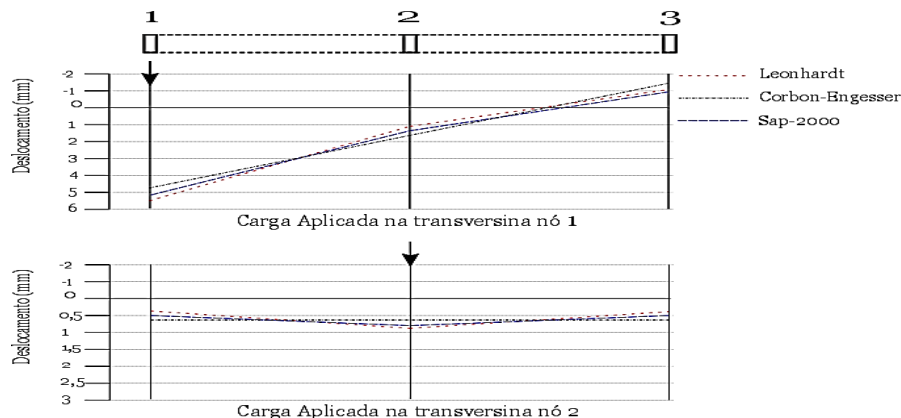


Figura 5. Deformação da transversina dada a aplicação de carga nos nós 1 e 2

É observada na Fig. 5 a maior deformação da transversina central quando ela é carregada para o SAP 2000 e o método de Leonhardt, devido os métodos não negligenciar a deformação da transversina.

Para os nós externos ocorre uma inversão nos valores referente aos resultados gerados pelo SAP 2000 e pelo método de Leonhardt, se comparado com o nó central. Fato esse

justificado pela hipótese simplificadora do método analítico de considerar a transversina simplesmente apoiada na longarina, isto é, sem transmissão de rotação entre os elementos.

REFERÊNCIAS

- Frota, L. E. C., 2014, *Estudo Comparativo entre o Método de Courbon e Modelos Computacionais para Análise de Tabuleiros de Pontes*. Projeto de Conclusão de Curso, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade de Brasília.
- Martin, S. F. J, 1981. *Cálculo de tabuleiros de pontes*. Livraria Ciência e Tecnologia Editora São Paulo.
- Melo, H. S., 2016. *Um Estudo Comparativo entre Métodos Analíticos Clássicos e Numéricos (MEF) para o Cálculo de Tabuleiros de Pontes em Grelhas*. Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília.
- Pedroso, L.J., 2016. *Teoria das Estruturas: Análise de Grelhas Hiperestáticas*. Notas de Aula. Apostila Interna. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade de Brasília.
- Soriano, H. L., 2009, *Elementos Finitos - Formulação e Aplicação na Estática e Dinâmica das Estruturas*. Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna Ltda.
- Süssekind, J.P., 1973. *Curso de Análise Estrutural*. v.2 e v.3, Editora Globo, São Paulo.
- Stucchi, F. R. 2006. *Pontes e Grandes Estruturas*, Notas de Aula, Departamento de Estruturas e Fundações, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.