



Impacto do Raio de Curvatura no Comportamento Estrutural de Pontes em Viga Caixão

Camila Lemes Carobeno¹, Gustavo Henrique Ferreira Cavalcante², Gustavo Henrique Siqueira³

¹Universidade Estadual de Campinas / FEC / Departamento de Estruturas / camila.lemes.carobeno@gmail.com

²Universidade Estadual de Campinas / FEC / Departamento de Estruturas / gghenriquefc@hotmail.com

³Universidade Estadual de Campinas / FEC / Departamento de Estruturas / ghsiqueira@gmail.com

Resumo

Cada vez mais se evidencia a utilização de tabuleiros curvos com seções transversais celulares para pontes. Isto decorre da eficiência estrutural e geométrica atingida, haja vista a notória interação entre flexão e torção, tanto para os esforços quanto para os deslocamentos em pontes deste tipo. Este artigo conduziu análises paramétricas em pontes curvas de concreto com sistema estrutural em viga caixão por meio da variação do raio de curvatura e incluindo um modelo reto ortogonal para comparação. A mesoestrutura dos modelos é composta por aparelhos de apoio elastoméricos e a modelagem numérica foi realizada pelo software CSiBridge com elementos de barra e de casca. Os modelos foram avaliados quanto ao ELU para ruptura e ELS para deslocamentos excessivos. De acordo com os resultados apresentados, as principais variações devido ao parâmetro geométrico raio de curvatura foram encontradas para os deslocamentos no ELS. O considerável impacto do parâmetro geométrico evidenciado para a rotação média longitudinal da superestrutura, deslocamentos verticais, transversais e longitudinais levam a salientar a importância da consideração de limites de deslocamento tanto para a tendência de rotação do tabuleiro como para a determinação das juntas de dilatação. Salienta-se, por fim, quanto aos esforços no ELU que a torção e o esforço axial foram os esforços que apresentaram uma variação mais notória, porém, comparativamente bem inferior ao descrito para os deslocamentos.

Palavras-chave

Pontes em concreto; Pontes curvas; Raio de curvatura; Análise paramétrica; Modelagem numérica.

Introdução

O sistema estrutural em viga é predominantemente utilizado para pontes, haja vista a eficiência econômica e técnica nas soluções resultantes deste tipo para atender às condicionantes externas de projeto, tais quais fatores topográficos, geográficos, climáticos e rodoviários locais. Neste modelo, os carregamentos são aplicados diretamente no tabuleiro e transmitidos por meio de vigas longarinas com ou sem transversinas para a mesoestrutura (CAVALCANTE, 2019).

Desta forma, soluções variadas são viabilizadas, englobando as diferentes geometrias de tabuleiros com seções transversais compostas por longarinas do tipo aberta ou celulares. Conforme Leonhardt (1979), vigas em seção caixão possuem elevada rigidez à torção, sendo indicadas, portanto, para pontes sobre pilares isolados e pontes curvas. "As vigas em seção caixão ainda apresentam uma deformação lenta menor que as vigas T, uma vez que as tensões são menores e o eixo baricêntrico é mais centrado na primeira" (CARDOSO, 2014).

As pontes configuram um dos elementos mais vulneráveis do sistema de transporte rodoviário, e o emprego da geometria de tabuleiro curva tem sido cada vez mais amplificado como solução para reduzir congestionamentos em zonas urbanas e para transpor obstáculos naturais robustos em autoestradas, sendo economicamente viável e eficiente. "O comportamento estrutural de pontes curvas no plano horizontal é bem diferente do comumente realizado em pontes com traçado longitudinal retilíneo, já que a curvatura existente e alguns parâmetros geométricos influenciam diretamente na análise estrutural" (REBOUÇAS et al, 2017).

Em pontes curvas, a rotação em torno de dois eixos é evidenciada, pois os momentos fletores e de torção não são paralelos. Isto decorre devido à posição do centro de gravidade da superestrutura permanecer localizada fora do eixo central e devido às cargas serem aplicadas fora deste centro. A Figura 1 apresenta os parâmetros geométricos principais em vigas curvas assim como o elemento infinitesimal que as definem.

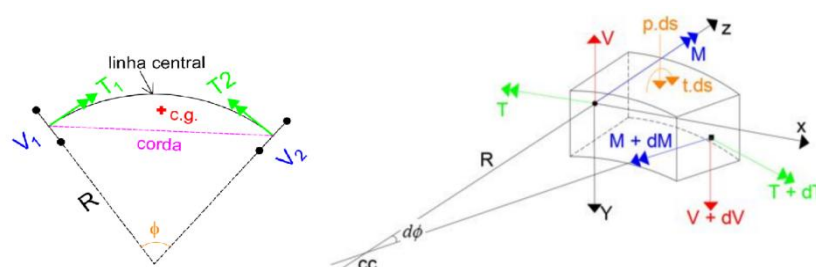


Figura 1 – Elemento infinitesimal de viga curva. Fonte: adaptado de Rebouças, 2017.

Luchi (2001) e Fu e Wang (2015) concluíram que para as pontes curvas, as vigas celulares são as mais indicadas, devido à eficiente distribuição transversal de cargas excêntricas, grande rigidez e, principalmente, alta resistência à torção. Além de que, a presença de mesas de compressão superior e inferior acarreta em grande resistência aos momentos fletores positivos e negativos.

Entretanto, pontua-se a interação entre flexão e torção para este modelo, visto que, assim como o momento fletor provoca torção, o segundo leva à flexão. Consequentemente, verifica-se uma correlação entre os deslocamentos, isto é, a flexão causa flecha e a torção leva a rotação axial. De acordo com Barker e Puckett (2014), o deslocamento total resultante das solicitações pode ser dividido nos quatro tipos da Figura 2: flexão da viga (b), torção da seção (c), flexão local (d) e distorção local (e) devido a deslocamentos globais.

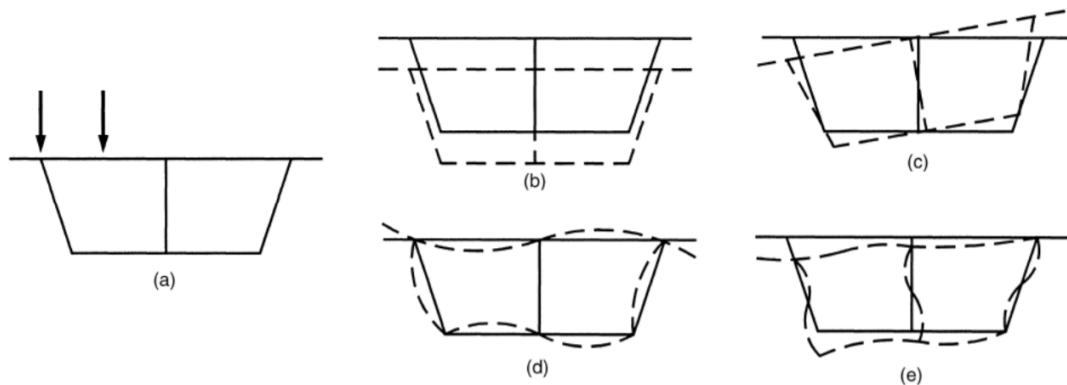


Figura 2 – Deslocamentos de uma seção celular. Fonte: Barker e Puckett, 2014.

A deformação final da viga é o resultado combinado das solicitações resultantes de flexão composta, cisalhamento e torção. Quanto ao último, este pode ser dividido entre torção de equilíbrio e torção de compatibilidade. A primeira denominação utilizada para os casos em que este esforço é essencial para satisfazer as condições de equilíbrio, já a segunda, descreve a compatibilização entre as deformações do elemento estudado e as deformações das estruturas vizinhas. Em pontes curvas, a natureza da geometria implica em torção de equilíbrio e Horowitz et al. (2014) acrescentam a importância da rigidez para a redução da rotação da viga e correspondente torção.

No caso de estruturas em concreto armado, as solicitações de flexão e torção acarretam na fissuração do material quando em serviço, e, por conseguinte, a redistribuição de tensões resultantes gera perda de rigidez da estrutura, passando a não ser mais satisfeita a teoria da elasticidade e o comportamento tornando-se não linear para as deformações. A fissuração leva a não-linearidade física do concreto, ponto essencial para a consideração da estabilidade quanto ao estado-limite último (ELU). Acrescentando-se que deformações excessivas não atendem aos critérios dos estados-limites de serviço (ELS), pois afetam a segurança e o conforto do usuário, além de indicar possíveis falhas na integridade de partes estruturais e não estruturais.

De acordo com a ABNT NBR 6118:2014, as estruturas de concreto devem atender aos requisitos mínimos de qualidade durante sua construção e serviço. Estes requisitos são: capacidade resistente, desempenho em serviço e durabilidade. Desta forma, projeta-se uma estrutura que atenda aos critérios de segurança, eficiência econômica e estética. “Entende-se por segura a obra que tem probabilidade aceitável de manter suas características ao longo da vida útil e que avisa quando precisa de manutenção” (STUCCHI, 2006).

Estudo de Caso

O estudo de caso foi conduzido considerando uma análise paramétrica de elevados raios de curvatura. O raio de curvatura é um fator importante na determinação da máxima velocidade permitida nas rodovias, isto é, dispositivos de acesso possuem pequenos raios e, portanto, menores velocidades permitidas, já viadutos ao longo da rodovia para não implicar na redução pontual de velocidade são projetados com grandes raios de curvatura. Desta forma, os modelos considerados foram de raios de: 200 metros, 275 metros, 350 metros, além do modelo base reto ortogonal, isto é, com raio de curvatura infinito.

A seção caixão adotada foi a AASHTO PCI ASBI STANDARD - AASHTO Segmental Box Girder Standards (AASHTO,1997). Conforme preconizado pela norma americana esta seção é utilizada para vãos



XII CONGRESSO BRASILEIRO
de PONTES e ESTRUTURAS
7 a 11 de junho de 2021 - Congresso Virtual

de 30,5 metros a 61 metros, sendo os modelos avaliados definidos por comprimento total de 49 metros, altura de 2,10 metros e largura de 11,40 metros, caracterizando, portanto, seção Tipo 1. O detalhamento da superestrutura é apresentado na Figura 3.

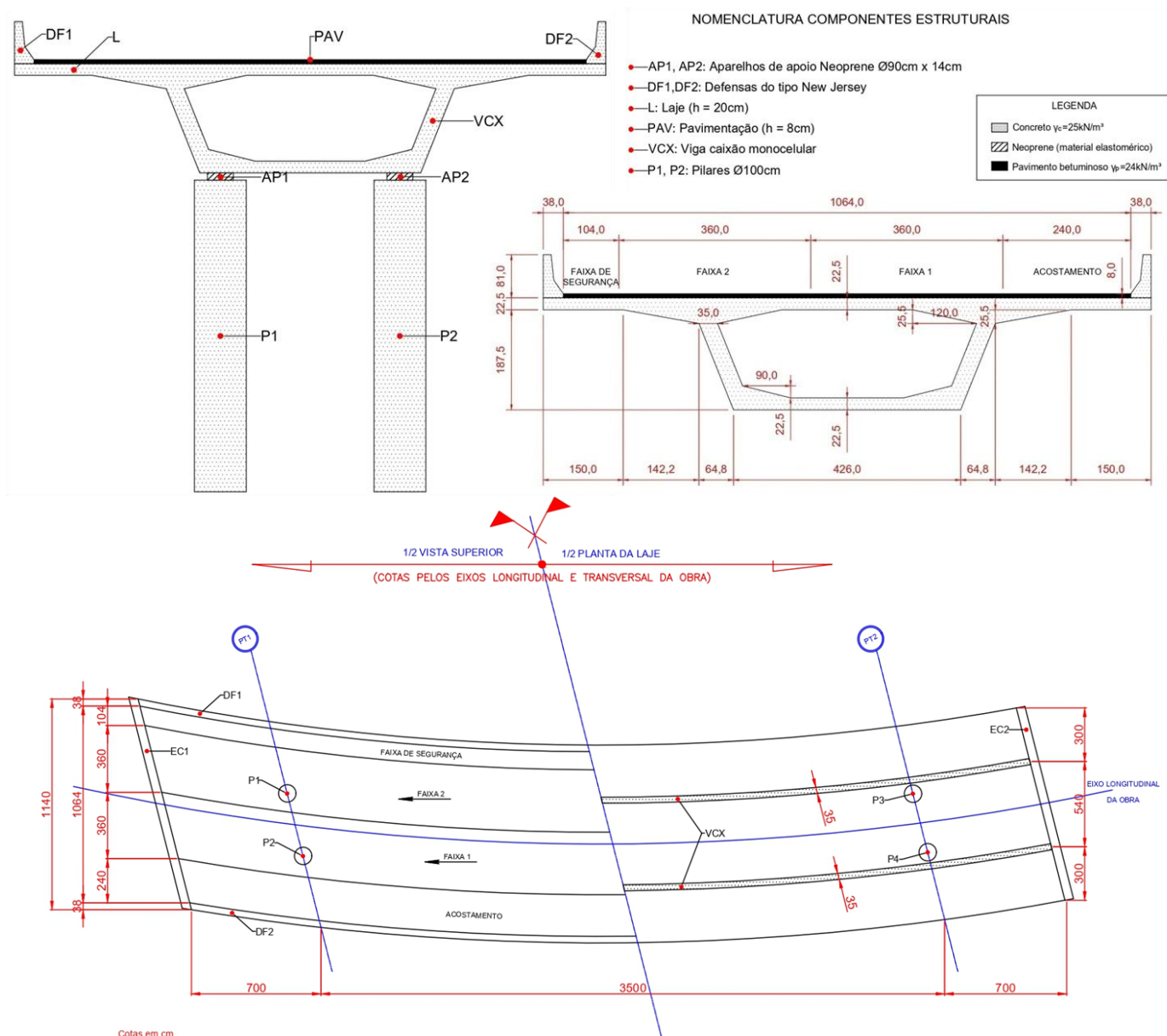


Figura 3 – Estudo de caso avaliado. Fonte: elaboração da autora, 2020.

Os elementos estruturais foram todos considerados de concreto armado C50, com um pavimento betuminoso de espessura de 8cm e defensas laterais do tipo "New Jersey". A mesoestrutura é composta por aparelhos de apoio pré-dimensionados a partir dos esforços atuantes com 90cm de diâmetro e 14cm de altura. A infraestrutura é formada por encontros e pórticos ortogonais ao eixo longitudinal, sendo ambos considerados com vinculações engastadas ao solo e conectados à superestrutura pelos aparelhos de apoio. Existem dois pilares circulares de diâmetro de 100cm fixos à fundação por pórtico, definindo balanços longitudinais de 7 metros, vão central de 35 metros e, portanto, comprimento longitudinal total de 49 metros.

Modelagem numérica

Adotou-se o Método dos Elementos Finitos (MEF) para a análise estrutural por meio da modelagem numérica em elementos de barra e casca com o auxílio do software CSiBridge. A análise foi elástica-linear utilizando elementos de barra para a modelagem dos pilares e elementos de casca de 4 nós e 6 faces para modelar as lajes e a viga caixão. Salienta-se que para a seção celular verifica-se a monoliticidade da laje com as almas e com a laje inferior, ocorrendo transferência de momento fletor e, portanto, devido ao efeito de flexão advindo neste caso específico, laje e seção celular são consideradas integradas e modeladas em casca.

A discretização da malha empregada foi determinada por meio de uma análise de sensibilidade com tolerância de 1%, resultando em segmentos de comprimento máximo de 1 metro e elementos de casca também de 1 metro. A Figura 4 ilustra a implementação da modelagem descrita.

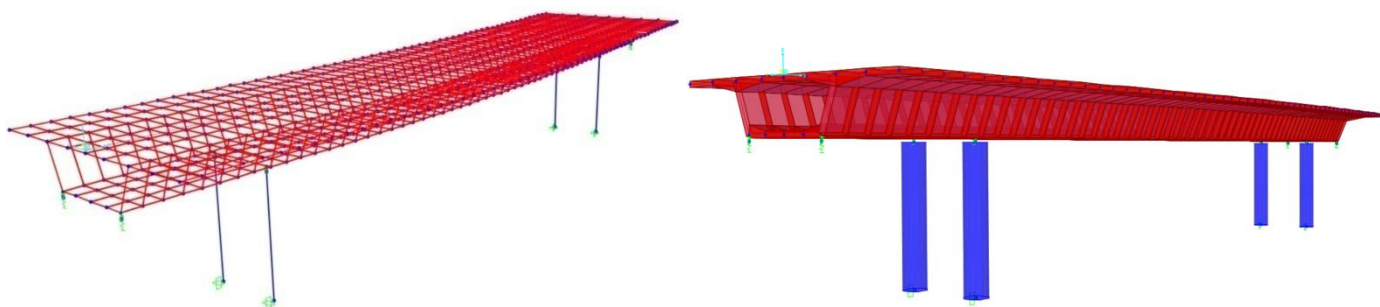


Figura 4 – Representação da Modelagem no CSiBridge. Fonte: elaboração da autora, 2020.

Aparelhos de apoio

São empregados aparelhos de apoio elastoméricos, os quais são modelados considerando rigidez vertical infinita e rigidez torsional e rotacional zero em ambas as direções. Desta forma, essas estruturas são indeformáveis verticalmente, apresentam rigidez nos deslocamentos horizontais e permitem as rotações e a torção livremente. O pré-dimensionamento dos aparelhos de apoio foi realizado considerando a NBR 9062/2017 e o catálogo da empresa Neoprex. A partir da norma, adotando-se uma Dureza Shore de 60A, o módulo de rigidez transversal resultante para o neoprene foi de $G = 1,0\text{MPa}$. Pelo catálogo do fabricante, os aparelhos de apoio possuem 90cm de diâmetro, $6.361,725\text{cm}^2$ de área (A) e 14cm de altura (h), logo a rigidez aos deslocamentos horizontais calculada pela Equação (1) foi de 4.544kN/m .

$$K_0 = \frac{G \cdot A}{h} \quad (1)$$

Metodologia

Por se tratar de uma análise paramétrica com o intuito de avaliar a influência na redistribuição de esforços devido à variação do raio de curvatura, consideraram-se apenas os carregamentos verticais. Sendo os carregamentos permanentes: peso próprio dos elementos estruturais, da pavimentação e das barreiras rígidas (defensas); e a carga variável decorrente apenas da carga móvel TB-450 preconizada pela NBR 7181/2003. A ponderação das cargas características foi realizada pelos coeficientes de impacto vertical, de número de faixas e de impacto adicional, resultando em um coeficiente final de 1,69. Note que este coeficiente foi adotado simplificadaamente para a análise de todos os elementos estruturais.

Os modelos foram avaliados quanto ao ELU para ruptura e ELS para deslocamentos excessivos. Deste modo, no ELU considera-se a seção fissurada empregando os redutores de inércia devido a não linearidade física aproximada, além da adoção das combinações últimas normais para a análise de esforços. Entretanto, a determinação dos deslocamentos na verificação do ELS não faz uso da seção fissurada, uma vez que o cálculo dos deslocamentos finais deve empregar equações mais precisas na determinação da rigidez final da seção fissurada. Por fim, utiliza-se a combinação quase permanente de serviço para verificação do ELS. As Equações (2) e (3) apresentam respectivamente as formulações para as combinações no ELU e no ELS, em que $F_{gi,k}$ são os carregamentos permanentes e $F_{q1,k}$ a carga acidental considerada.

$$F_d = \sum_{i=1}^m 1,35F_{gi,k} + 1,50F_{q1,k} \quad (2)$$

$$F_d = \sum_{i=1}^m F_{gi,k} + 0,30F_{q1,k} \quad (3)$$

A Tabela 1 exibe os redutores de inércia para a fissuração considerando a inércia da seção bruta para o cálculo da rigidez da estrutura. Pontua-se também que os deslocamentos encontrados são elásticos e lineares, sem consideração de deformação lenta.

Tabela 1 – Coeficientes para fissuração.

Elemento Estrutural	Critério	ELS	ELU
Lajes	CNLF	1	0,30
	ME	Ecs	Ecs
	DIT	1	3,33
Vigas	CNLF	1	0,40
	ME	Ecs	Ecs
	DIT	1	2,50
Pilares	CNLF	1	0,80
	ME	Ecs	Ecs
	DIT	1	1,25

CNF = Coeficiente de não linearidade física simplificada (NBR6118:2014)

ME = Módulo de elasticidade

Ecs = Módulo de elasticidade secante

DIT = Divisor de inércia a torção

Resultados

Considerando o efeito da monoliticidade entre a laje e a viga caixão avaliou-se tanto o efeito global da superestrutura como o desempenho individual das almas esquerda e direita da célula caixão ditas como vigas. Para as análises da superestrutura de forma global foi adotado o rótulo EBS, isto é, sigla traduzida de *Entire Bridge Section*. Já as almas da seção caixão esquerda e direita foram nomeadas, respectivamente, por LEG e REG, ou seja, *Left Exterior Girder* e *Right Exterior Girder*. Pontua-se que para todos os modelos a alma interna ao raio é a do lado esquerdo, LEG, e a externa do lado direito, REG; motivo pelo qual o comportamento de ambas as almas não pode ser dito idêntico.

Quanto aos deslocamentos no ELS, para EBS foi considerado a rotação média longitudinal ($r1$), já para LEG e REG os deslocamentos vertical ($u3$), transversal ($u2$) e longitudinal ($u1$). Para as solicitações no ELU, a torção (T) foi avaliada por meio da EBS, capturando, o efeito da seção caixão, enquanto que os demais esforços foram obtidos para LEG e REG, sendo: força axial (P), cortante vertical (V2), cortante horizontal (V3), momento fletor em torno do eixo transversal (M2), momento fletor em torno do eixo vertical (M3).

As Figuras 5 e 6 ilustram as principais envoltórias resultantes, respectivamente, para o ELS e ELU. A descrição completa dos resultados é realizada a seguir e as Tabelas 2 a 4 apresentam esses resultados em termos comparativos de incremento e decréscimo percentil quanto ao modelo base reto.

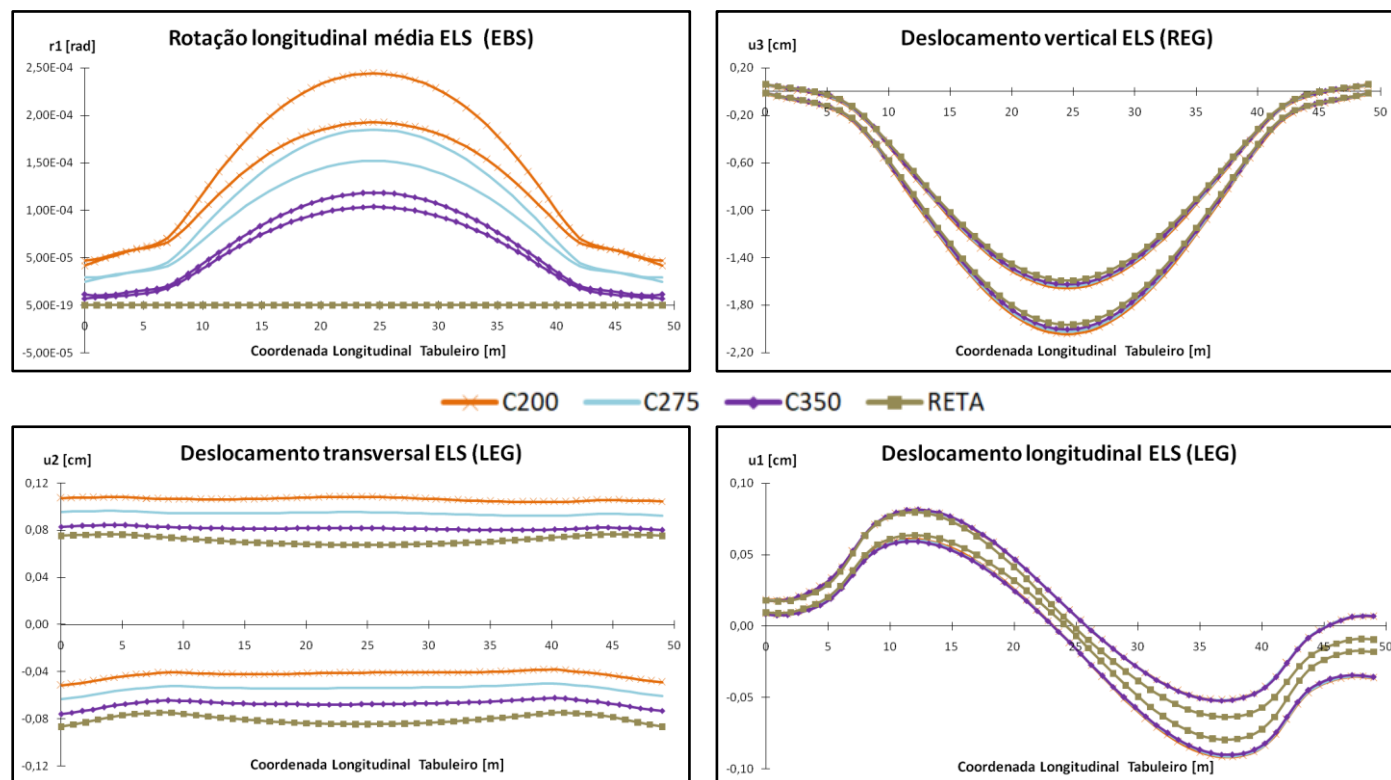


Figura 5 – Principais envoltórias para deslocamentos ELS. Fonte: elaboração da autora, 2021.

A partir da análise do ELS, verificou-se que a superestrutura EBS sofre acentuada variação quanto à rotação média longitudinal (r_1), as envoltórias correspondentes são alongadas para maiores curvaturas, indicando que quanto menor o raio analisado, maior é a diferença entre o valor máximo e mínimo da rotação média longitudinal. Além de que, ao comparar este valor para o raio de curvatura 200 metros, verifica-se que o menor raio acarreta em maiores rotações ao longo de toda a estrutura, o que é esperado devido a geometria do tabuleiro e fica evidenciado com o valor praticamente nulo deste parâmetro para o modelo reto.

Os deslocamentos das almas também foram consideravelmente afetados. O comportamento do deslocamento vertical (u_3) de ambas as almas não é similar, mas sim complementar, ou seja, em relação ao modelo reto o de raio 200 metros teve acréscimo de 22% do valor máximo e decréscimo de 3% do valor mínimo para a LEG, enquanto que, para REG o valor máximo foi reduzido em 17% e o mínimo incrementado em 4%.

Já os deslocamentos transversais e longitudinais apresentam semelhança de variação com o parâmetro geométrico entre as almas. O deslocamento transversal (u_2) sofreu acréscimo do seu valor máximo de 42% para a LEG e 45% para a REG considerando o modelo de menor raio e, portanto, maior curvatura. Enquanto que o valor mínimo deste esforço sofreu redução de 41% e 44%, respectivamente, para LEG e REG.

Por fim, o deslocamento longitudinal (u_1) sofreu acréscimo de máximo e mínimo para os menores raios quanto ao modelo base. Considerando a alma interna ao raio, LEG, o acréscimo do valor máximo foi de até 2% para o raio de 200 metros, enquanto que para a REG foi de 9%. Já o valor mínimo de ambas as almas foi incrementado em até 16% comparativamente entre o modelo de menor raio e o de curvatura infinita.

Tabela 2 – Comparativo deslocamentos (ELS) máximos e mínimos LEG/REG.

Raio de Curvatura	200m	275m	350m	Infinito (RETA)
u3máx	122%/83%	114%/91%	106%/99%	100%/100%
u3mín	97%/104%	98%/103%	99%/102%	100%/100%
u2máx	142%/145%	126%/138%	110%/114%	100%/100%
u2mín	59%/56%	73%/72%	88%/88%	100%/100%
u1máx	102%/109%	102%/108%	102%/108%	100%/100%
u1mín	115%/116%	114%/114%	113%/112%	100%/100%

Tabela 3 – Comparativo esforços/deslocamentos máximos e mínimos EBS.

Raio de Curvatura	200m	275m	350m	Infinito (RETA)
Tmáx	116%	112%	109%	100%
Tmín	116%	112%	109%	100%
r1máx	-8,88E+10	-6,73E+10	-4,30E+10	1,00E+00
r1mín	-4,58E+09	-2,70E+09	-7,84E+08	1,00E+00

Concluída a análise dos resultados dos deslocamentos para o ELS, detalha-se a seguir a avaliação dos esforços para o ELU. Considerando toda a superestrutura, EBS, averiguou-se que o efeito na torção (T) devido o raio de curvatura foi de acréscimo em até 16% dos valores máximos e mínimos para o modelo de menor raio quanto ao modelo reto. Analisando as almas da seção caixão, o comportamento do esforço axial (P) destas devido a variação do parâmetro geométrico é complementar, ou seja, em relação ao modelo reto o de raio 200 metros apresentou acréscimo de 6% do valor máximo e decréscimo de 3% do valor mínimo para a LEG, enquanto que, para REG o valor máximo foi reduzido em 4% e o mínimo incrementado em 4%.

Similarmente ao esforço axial entre almas, a cortante vertical (V2) sofre variação complementar devido o raio de curvatura, a alma interna ao raio, LEG sofre decréscimo de até 4% em seus valores máximos e mínimos para o modelo de menor raio, enquanto que a alma externa ao raio, REG, apresenta acréscimo de 4% para a mesma conjuntura. Todavia, as envoltórias de cortante horizontal (V3) para ambas as almas são similares em comportamento gráfico, valores e variações; indicando acréscimo de até 2% tanto para valores máximos quanto mínimos de LEG e REG entre o modelo de raio de 200 metros.

Os momentos fletores demandam uma análise mais complexa. Devido a própria geometria da seção e esforços cortantes associados, as envoltórias de momento fletor em torno do eixo transversal (M2) são espelhadas quanto ao eixo longitudinal. Desta forma, para LEG os valores máximos positivos localizados nas coordenadas longitudinais dos pórticos (7 metros e 42 metros) são de 12.534,60kNm enquanto o máximo momento negativo no meio do vão é de -16.432,15kNm. Já para a REG, os máximos negativos se localizam nas coordenadas longitudinais dos pórticos com valor de -13.221,22kNm, e o máximo positivo no meio do vão com valor de 15.171,01kNm.

Quanto a influência decorrente da variação do parâmetro geométrico para ambas as almas, a geometria de menor raio, 200 metros, apresenta redução no valor máximo do momento fletor em torno do eixo transversal, sendo 2% para LEG e 4% para REG quanto ao modelo reto ortogonal. Já o valor mínimo apresenta incremento de até 4% para ambas as almas. O último esforço avaliado no ELU foi o momento fletor em torno do eixo vertical (M3), o qual para a alma interna ao raio, LEG, teve acréscimo de até 2% do valor máximo e redução de 3% para a REG; enquanto que o valor mínimo pouco variou para LEG, e aumentou em até 4% para a REG. Finaliza-se, assim, a descrição completa dos resultados.



XII CONGRESSO BRASILEIRO
de PONTES e ESTRUTURAS
7 a 11 de junho de 2021 - Congresso Virtual

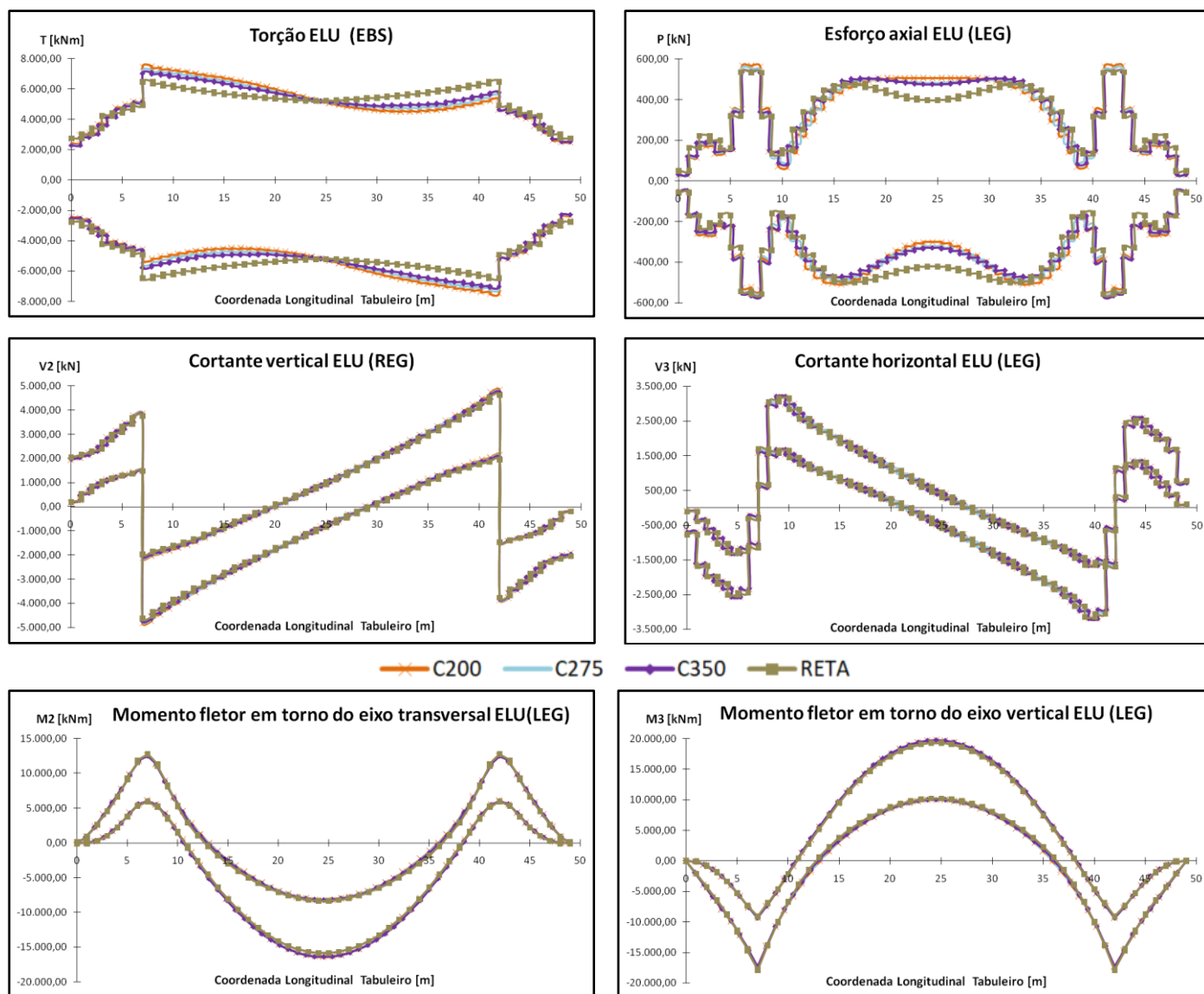


Figura 6 – Principais envoltórias para esforços ELU. Fonte: elaboração da autora, 2021.

Tabela 4 – Comparativo esforços (ELU) máximos e mínimos LEG/REG.

Raio de Curvatura	200m	275m	350m	Infinito (RETA)
Pmáx	106%/96%	104%/99%	100%/101%	100%/100%
Pmín	97%/104%	99%/101%	102%/99%	100%/100%
V2máx	96%/104%	97%/103%	98%/102%	100%/100%
V2mín	96%/104%	97%/103%	98%/102%	100%/100%
V3máx	102%/102%	101%/101%	102%/102%	100%/100%
V3mín	102%/102%	101%/101%	102%/102%	100%/100%
M2máx	98%/96%	98%/96%	98%/97%	100%/100%
M2mín	104%/103%	103%/103%	104%/102%	100%/100%
M3máx	102%/97%	102%/97%	103%/98%	100%/100%
M3mín	100%/104%	101%/104%	101%/102%	100%/100%



Conclusões

De acordo com os resultados apresentados, infere-se que as principais variações devido ao parâmetro geométrico raio de curvatura ocorreram para os deslocamentos no ELS. Analisando a superestrutura como um todo, evidencia-se que a geometria de tabuleiro curvo implica em uma rotação média longitudinal que se torna cada vez maior quanto menor o raio da curva e, portanto, esta mais acentuada. Assim como os deslocamentos verticais invertidos entre as almas da seção caixão permitem pontuar a tendência de rotação do tabuleiro, verificou-se o acréscimo do valor máximo em mais de 20% comparativamente, indicando, a importância da curvatura para os limites de deslocamento mesmo em grandes raios. Os deslocamentos transversais e longitudinais também se mostraram vulneráveis a este parâmetro, com o primeiro apresentando acréscimo e decréscimo dos valores críticos em até 45%, o que pontua a necessidade de assertividade para a determinação das juntas de dilatação. Salienta-se, por fim, quanto aos esforços no ELU que a torção e o esforço axial foram os esforços que apresentaram uma variação mais notória, porém, comparativamente bem inferior ao descrito para os deslocamentos.

Referências

- AASHTO. AASHTO-PCI-ASBI Segmental Box Girder Standards for Span-by-Span and Balanced Cantilever Construction. Dezembro, 1997.
- ABNT. NBR 6118. Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, Brasil. 2014.
- ABNT. NBR 7187. Projeto de pontes de concreto armado e de concreto protendido - Procedimento. Rio de Janeiro, Brasil. 2003.
- ABNT. NBR 7188. Carga móvel rodoviária e de pedestres em pontes, viadutos, passarelas e outras estruturas. Rio de Janeiro, Brasil. 2013.
- ABNT. NBR 9062. Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado. Rio de Janeiro, Brasil. 2017.
- BARKER, R.M.; PUCKETT, J.A. Design of Highway Bridges: An LRFD Approach. John Wiley e Sons, 3ª ed. Hoboken, New Jersey. 2014.
- CARDOSO, J. M. L. B. Ponte de concreto protendido com seção caixão: estabelecimento de relação entre a altura da seção transversal e o vão. 2014. 99 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Civil, Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 2014.
- CAROBENO, C. L. Análise comparativa de esforços para pontes em vigas de tabuleiros esconsos e curvos. Trabalho Final de Curso (Monografia) - Curso de Engenharia Civil. Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2021.
- CAVALCANTE, G. H. F. Pontes em concreto armado: análise e dimensionamento. São Paulo: Edgard Brucher, 2019.
- FU, C. C.; WANG, S. Computational Analysis and Design of Bridge Structures. 1ª ed CRC Press, Boca Raton. Flórida. 2015.
- HOROWITZ, B; SILVA, J. Rigidez à torção efetiva em vigas de concreto armado. CILAMCE - 2014. Fortaleza, Ceará. Novembro, 2014.
- LEONHARDT, F. Construções de concreto: princípios básicos da construção de pontes de concreto. Rio de Janeiro. 1979.
- LUCHI, L. A. R. Protensão em pontes celulares curvas. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Engenharia de Estruturas, POLI- USP. São Paulo. 2001.
- NEOPREX. Catálogo técnico de aparelhos de apoio elastoméricos. 2020.
- REBOUÇAS, A. S.; FILHO, J. N. S.; RIBEIRO, V. A.; PUJATT, O. L. V. Avaliação da precisão da análise de pontes curvas em concreto armado através da comparação entre o método v-load e o método dos elementos finitos (MEF). CILAMCE 2017 Natal-RN. ANAIS - CILAMCE 2017. Natal-RN. 2017. p. 1-18.
- STUCCHI, F. R. PEF-2404 Pontes e grandes estruturas. Notas de aula. São Paulo: USP Universidade Politécnica-SP. 2006. 103 p.