

Métodos Mais Utilizados para Alargamento e Reforço de Obras de Arte Especiais no Brasil

José Afonso P. Vitória¹ Rui Manuel Meneses Carneiro de Barros²

5. Edifícios especiais. Obras de arte. Barragens.

RESUMO

Atualmente o Brasil está implantando um grande programa de ampliação da malha rodoviária, nos âmbitos federal, estaduais e municipais, contemplando a construção de novas rodovias e a duplicação e alargamento de rodovias existentes.

As Obras de Arte Especiais que fazem parte das rodovias que serão duplicadas e alargadas, também necessitam passar por intervenções para se adequarem aos novos gabaritos transversais das estradas e às cargas móveis utilizadas pelas normas de projetos atualmente em vigor, sob pena de se tornarem funcionalmente obsoletas e estruturalmente deficientes.

Neste artigo são apresentados e analisados os métodos mais utilizados no Brasil para o alargamento e reforço de pontes rodoviárias. As considerações são feitas a partir de estudos preliminares, realizados em projetos reais, sobre os desempenhos estrutural e econômico de tais métodos.

Um dos objetivos deste trabalho é contribuir para facilitar o processo decisório sobre qual método escolher, de acordo com as peculiaridades de cada projeto. Outra finalidade importante a ser considerada é a tentativa de diminuir a grande carência de pesquisas e de literatura técnica especializada no Brasil sobre alargamento e reforço de pontes e viadutos.

PALAVRAS-CHAVE

Obras de Arte, estruturas, reforço, alargamento,

¹ Universidade de Pernambuco, Escola Politécnica, Recife-PE, Brasil. afonsovitorio@gmail.com

² Universidade do Porto, Faculdade de Engenharia, Porto, Portugal. rcb@fe.up.pt

1. INTRODUÇÃO

As atividades relacionadas ao projeto e à execução de obras de alargamento e reforço de pontes rodoviárias no Brasil começaram a merecer alguma atenção da Comunidade Técnica a partir de meados da década de 1990, quando foram iniciadas diversas obras de duplicação e/ou alargamento de importantes rodovias federais e estaduais.

Foram tais obras que alertaram para a necessidade de um maior conhecimento sobre as intervenções estruturais nas pontes e viadutos antigos, visando adequá-los aos novos gabaritos e às cargas móveis exigidas pelas normas atualmente em vigor no país.

Desde a década de 1940 as pontes vêm passando por variações no gabarito transversal, que era inicialmente 8,30m, e não incluía os acostamentos da estrada. Atualmente, as pontes nas áreas não urbanas são projetadas com 12,80m de largura. Na figura 1 estão indicadas as seções transversais típicas das pontes rodoviárias brasileiras entre os anos de 1940 e 2011 [1].

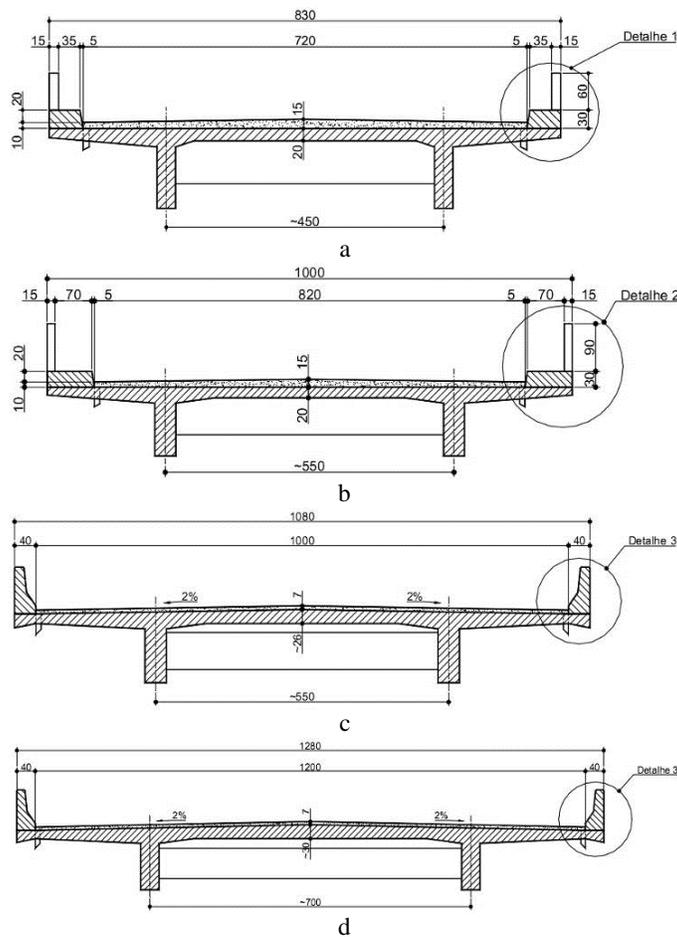


Figura 1 - Evolução do gabarito transversal das pontes rodoviárias: a) De 1940 a 1960; b) De 1960 a 1975; c) De 1975 a 1985; d) Após 1985.

As cargas atuantes sobre as pontes também foram modificadas ao longo das últimas décadas. No caso das cargas permanentes as variações devem-se principalmente aos recapamentos da pavimentação, à substituição de guarda-corpos por barreiras, etc. No entanto, as cargas móveis tiveram variações de valores, estabelecidos pelas normas brasileiras desde 1946 até a presente data.

A primeira norma de cargas móveis para pontes rodoviárias foi a NB-6/1946, que estabeleceu o Trem-tipo Classe 24 ($24tf$ ou $240KN$) e vigorou até 1960, quando entrou em vigor a NB-6/1960, estabelecendo a Classe 36 ($36tf$ ou $360KN$). A última modificação das cargas móveis, que permanece em vigor até a data atual, ocorreu com a edição da NB-6/1982 atual NBR 7188/84 que definiu o Trem-tipo Classe 45 ($45tf$ ou $450KN$). A norma atual também contempla cargas móveis Classe 30 e Classe 12 [2].

2. MÉTODOS UTILIZADOS PARA O ALARGAMENTO E REFORÇO

De modo geral, os alargamentos dos tabuleiros das pontes antigas que necessitam se adequar aos atuais gabaritos transversais das rodovias, são feitos por meio dos quatro métodos descritos a seguir. Conforme o método aplicado, são definidas quais as necessidades de reforço estrutural, inclusive nas fundações, para garantir a estabilidade e a durabilidade da obra alargada.

2.1 Alargamento com Concreto Armado Convencional

Este método construtivo é o mais utilizado, em especial nas pontes de pequeno porte, que se constituem na grande maioria das pontes das rodovias federais do Brasil, conforme dados publicados por Mendes (2009) [3].

O sistema consiste no alargamento do tabuleiro por meio da inclusão de novas vigas e lajes, que adicionadas ao tabuleiro original formam uma nova grelha. Também são adicionadas novas linhas de pilares para apoiar os trechos alargados, de modo que nem sempre é necessário reforçar a estrutura e fundações existentes. Quando o reforço se faz necessário é feito com a incorporação de novas armaduras passivas e a utilização de concreto projetado. A figura 2 mostra a seção transversal de uma ponte antiga, típica das rodovias federais brasileiras, cujo tabuleiro foi alargado para o gabarito atual de 12,80m, com a utilização de concreto armado convencional e reforçado com concreto projetado.

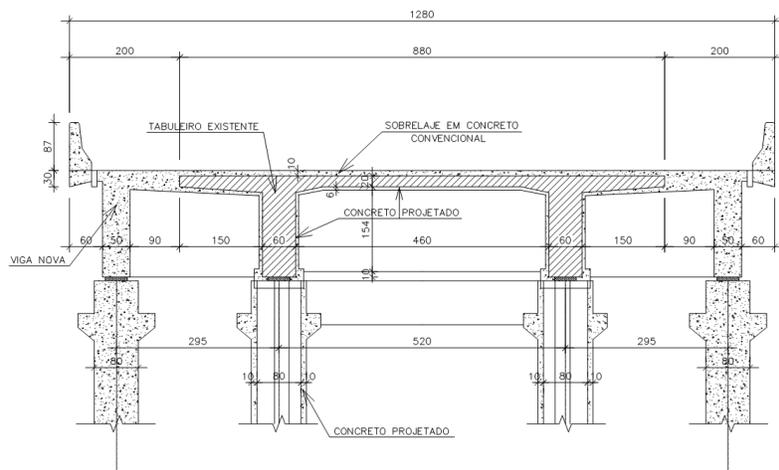


Figura 2 – Seção transversal após alargamento e reforço da ponte com concreto armado convencional.

2.2 Alargamento com Protensão Externa

Este método consiste na aplicação de protensão na ponte existente por meio de cordoalhas fixadas às faces laterais das vigas por dispositivos metálicos (desviadores). A força de protensão é introduzida nas extremidades por meio dos dispositivos metálicos utilizados como ancoragens. A figura 3 mostra a realização do reforço das vigas de uma ponte com feixes de cordoalhas.



Figura 3 – Reforço das vigas existentes com protensão externa.

Quando é empregada a protensão externa, sem a adição de novas vigas ao tabuleiro, é necessário aumentar os comprimentos transversais das lajes existentes para obter-se a nova largura do tabuleiro. Isso faz com que os balanços laterais das lajes após o alargamento tenham grandes acréscimos e, conseqüentemente, grandes deformações, impossibilitando a utilização do concreto armado convencional e demandando a necessidade da utilização de protensão transversal na parte superior do tabuleiro, conforme mostra a figura 4.

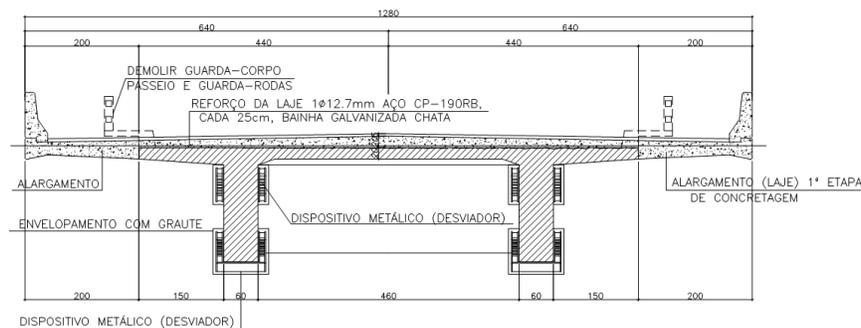


Figura 4 – Seção transversal do alargamento e reforço com protensão externa e protensão transversal.

2.3 Alargamento com Vigas Pré-moldadas

A utilização de vigas e pré-lajes pré-moldadas de concreto já está consolidada como uma boa opção para o caso de projetos de pontes novas, tanto pela rapidez de execução como pela garantia da qualidade do concreto, geralmente proporcionada pela pré-moldagem. Porém, esse sistema construtivo quase não vem sendo utilizado nas obras de alargamento de pontes antigas, de modo que ainda não existe muitas informações disponíveis, sejam de ordem técnica ou econômica, sobre as vantagens e desvantagens para a sua utilização em tais situações.

A utilização de peças pré-moldadas no alargamento do tabuleiro de pontes originalmente construídas com concreto armado convencional caracteriza o emprego de elementos compostos, cujas seções resistentes são constituídas por elementos pré-moldados de seção parcial, complementadas com concreto moldado no local, conforme ilustrado na figura 5 que mostra um exemplo do alargamento do tabuleiro de uma ponte convencional de concreto armado, com a utilização de vigas de seção composta, cujos comportamentos são rígidos fundamentalmente

pela transferência das tensões de cisalhamento na interface entre o concreto pré-moldado da viga e o concreto da laje, moldado no local.

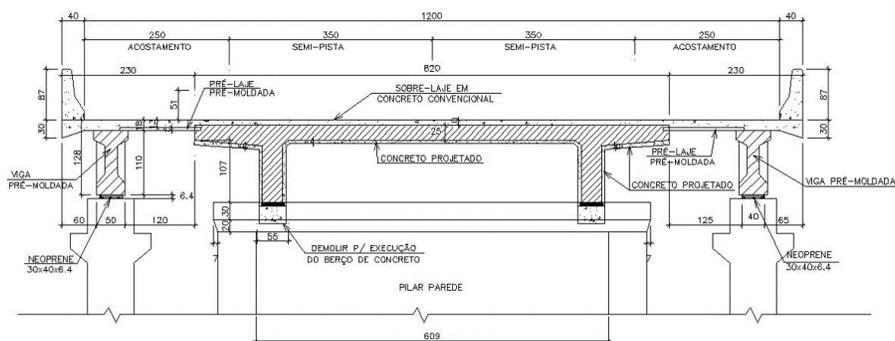


Figura 5 – Alargamento de uma ponte com a utilização de vigas e pré-lajes pré-moldadas

2.4 Alargamento com Vigas Mistas

O quarto e último método estudado refere-se à utilização de vigas mistas, no qual o alargamento da seção transversal da ponte é feito com a utilização de longarinas metálicas unidas à estrutura de concreto existente por meio de conectores metálicos [4].

Embora a construção de pontes mistas no Brasil venha aumentando nos últimos anos, esse sistema estrutural quase não é utilizado nas obras de alargamento e reforço de pontes antigas, sob a alegação do alto custo e da maior vulnerabilidade à corrosão atmosférica, porém ainda não existem estudos e pesquisas consistentes que definam parâmetros técnicos e econômicos que possibilitem estabelecer uma comparação com os demais métodos. Por isso, se justifica a necessidade de incluir este tema em estudos e pesquisas que permitam conhecer com maior profundidade as peculiaridades do seu comportamento estrutural quando utilizadas para o alargamento do tabuleiro de pontes e viadutos. Na figura 6 está ilustrado o detalhe de um dos lados da seção transversal do alargamento de uma ponte rodoviária com a utilização de vigas metálicas solidarizadas à laje por meio de conectores conforme o padrão AASHTO [5].

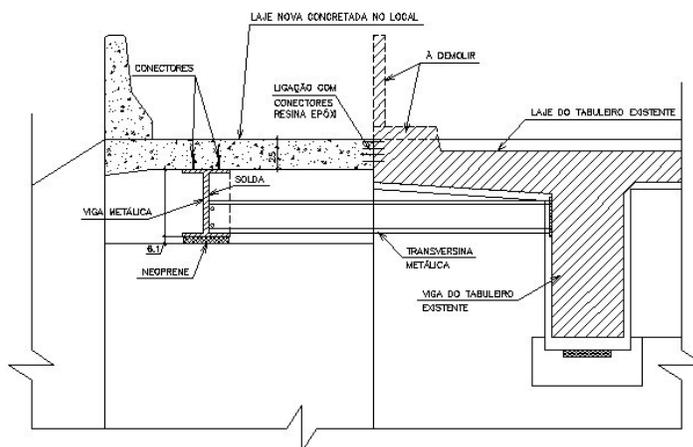


Figura 6 – Detalhe do alargamento do tabuleiro com a utilização de vigas mistas.

3. SÍNTESE DOS ESTUDOS PRELIMINARES REALIZADOS

Neste item será apresentada uma síntese dos estudos preliminares realizados a partir de projetos executados de alargamento e reforço de pontes típicas das rodovias brasileiras.

Estes estudos fazem parte da pesquisa de Doutorado do 1º autor sob a orientação do 2º autor, atualmente em desenvolvimento na FEUP, que tem como uma das principais metas a determinação de parâmetros de desempenhos estruturais e econômicos para os quatro métodos de alargamento e reforço apresentados, visando compará-los e conseqüentemente, fazer a melhor opção de escolha, de acordo com cada caso específico. A pesquisa também busca contribuir para a ampliação do conhecimento e para suprir a carência de literatura técnica especializada sobre o tema no Brasil.

A seguir são mostrados os resultados de duas análises comparativas com a utilização de software de elementos finitos. A primeira análise comparou o método de concreto armado convencional com o método de protensão externa [6]. A segunda comparou o método de concreto armado convencional com o método de vigas mistas [7]. Em ambos os casos os tabuleiros originais, com 10,00m de largura, calculados para o Trem-tipo Classe 360kN, foram alargados para 12,80m e submetidos ao Trem-tipo atual de 450kN.

3.1 Comparação entre os métodos de concreto armado convencional e de protensão externa

Para a realização do estudo comparativo foi utilizada como referência uma ponte com 35,00m de comprimento (vão central de 23,00m + 2 balanços de 6,00m), construída na década de 1970 e calculada para o Trem-tipo de 360kN. Esta ponte teve o projeto de alargamento elaborado em 2010, com a utilização do concreto armado convencional. A ponte adotada como referência está ilustrada na figura 7.

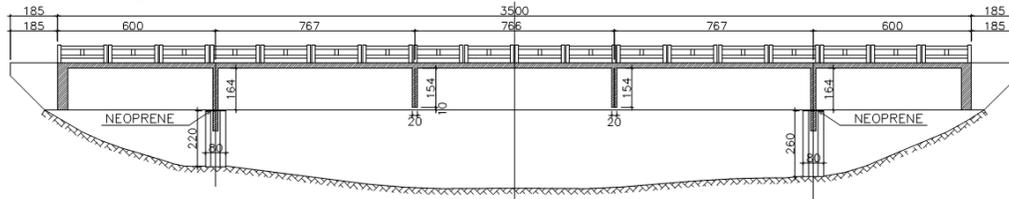


Figura 7 – Corte longitudinal da geometria original da ponte de referência.

Foram analisados três comprimentos diferentes da ponte (30m, 35m e 40m) para cada método de alargamento e reforço. Os parâmetros mais determinantes para a análise comparativa foram os comprimentos dos vãos e dos balanços das vigas principais (quadro 1), cujas variações estão relacionadas às respectivas seções transversais que, no caso da solução com protensão externa, são constantes por tratarem-se de vigas existentes. No caso da solução com concreto armado as vigas existentes poderão ter as seções aumentadas por encamisamento com concreto projetado e as vigas novas terão as dimensões definidas conforme os respectivos esforços.

Quadro 1 – Parâmetros e elementos geométricos utilizados na análise estrutural.

Método de alargamento e reforço	Comprimento da ponte (m)	Comprimento de cada balanço das vigas (m)	Vão central das vigas principais (m)	Largura das vigas (m)	Altura das vigas (m)
Concreto armado convencional	30,00	5,00	20,00	0,52-0,72	1,75
	35,00	6,00	23,00	0,52-0,72	1,95
	40,00	7,50	25,00	0,52-0,72	2,15
Protensão externa	30,00	5,00	20,00	0,40-0,60	1,75
	35,00	6,00	23,00	0,40-0,60	1,95
	40,00	7,50	25,00	0,40-0,60	2,15

A análise estrutural foi feita com as combinações das ações referentes aos Estados Limites de Serviço e Estados Limites Últimos para os dois métodos de alargamento e reforço, nas seis condições estudadas, de modo que os resultados obtidos permitam estabelecer a comparação entre os esforços em cada seção, inclusive com os esforços do tabuleiro original.

Nos quadros 2, 3, 4 e 5 estão indicados os resumos dos valores máximos dos esforços de serviço para as combinações de ações nas seções mais desfavoráveis (nos balanços e no vão) tanto para o tabuleiro original, como para os tabuleiros alargados para cada método estudado.

Quadro 2 – Resumo dos esforços máximos e deformações nas longarinas do tabuleiro original. (Trem-tipo Classe 360kN)

Comp. da ponte (m)	Mom. fletor max. balanço (KN.m)	Mom. fletor max. Vão (KN.m)	Flecha imediata (cm)		Reações (KN)	
			Balanço	Vão	Máx.	Mín.
30	3570	3360	0,17	1,61	2187	1365
35	4890	4510	0,15	2,46	2683	1747
40	6060	5180	0,23	2,12	2739	1830

Quadro 3 – Resumo dos esforços máximos e deformações nas longarinas existentes do tabuleiro alargado em concreto armado. (Trem-tipo Classe 450kN)

Comp. Da ponte (m)	Longarinas existentes					
	Mom. fletor max. balanço (KN.m)	Mom. fletor Max. Vão (KN.m)	Flecha imediata (cm)		Reações (KN)	
			Balanço	Vão	Máx.	Mín.
30	3680	2630	0,21	1,14	2245	1433
35	4440	3020	0,03	0,51	2372	1550
40	6180	3770	0,28	1,32	2791	1913

Quadro 4 – Resumo dos esforços máximos e deformações nas longarinas adicionais do tabuleiro alargado em concreto armado. (Trem-tipo Classe 450kN)

Comp. da ponte (m)	Longarinas do alargamento					
	Mom. fletor max. balanço (KN.m)	Mom. fletor max. Vão (KN.m)	Flecha imediata (cm)		Reações (KN)	
			Balanço	Vão	Máx.	Mín.
30	2640	1840	0,21	1,00	1227	854
35	3100	2840	0,04	1,22	1411	958
40	4760	2860	0,30	1,57	1892	1364

Quadro 5 – Resumo dos esforços máximos e deformações nas longarinas do tabuleiro alargado com protensão externa. (Trem-tipo Classe 450kN)

Comp. Da ponte (m)	Mom. fletor max. balanço (KN.m)	Mom. fletor Max. Vão (KN.m)	Flecha imediata (cm)		Reações (KN)	
			Balanço	Vão	Máx.	Mín.
30	5790	4110	0,17	1,83	3317	1981
35	7630	5580	0,10	2,95	3775	2357
40	9880	5960	0,22	2,17	4165	2654

A partir do cálculo dos esforços foi possível fazer o dimensionamento da estrutura e realizar também uma comparação entre os custos dos tabuleiros alargados para cada caso, com a utilização das tabelas de custos adotados no Brasil para tais tipo de serviços, conforme mostrado no quadro 6.

Quadro 6 – Custos dos tabuleiros alargados (reais).

Comprimento da ponte (m)	Concreto armado		Protensão externa	
	Custo total (R\$)	Custo unitário (R\$/m ²)	Custo total (R\$)	Custo unitário (R\$/m ²)
30m	729.600,00	1.900,00	822.144,00	2.141,00
35m	883.456,00	1.972,00	900.480,00	2.010,00
40m	1.038.848,00	2.029,00	1.000.960,00	1.955,00

3.2 Comparação entre os métodos de concreto armado convencional e de vigas mistas

Nesse caso, foi adotada como referência uma ponte com 18,00m de comprimento (figura 8) construída na década de 1970, cujo alargamento do tabuleiro para o gabarito transversal de 12,80m foi feito com a adoção do método de concreto armado convencional. Para a análise comparativa com o método de alargamento por vigas mistas foram feitas três variações de comprimentos das longarinas (15,00m, 18,00m e 24,00m). Tais valores são representativos da maioria das pontes de pequeno porte das rodovias brasileiras e também são compatíveis com os comprimentos disponibilizados pelos fabricantes brasileiros de estruturas metálicas, que podem produzir perfis laminados entre 6,00m e 24,00m, evitando com isso a emenda de vigas.

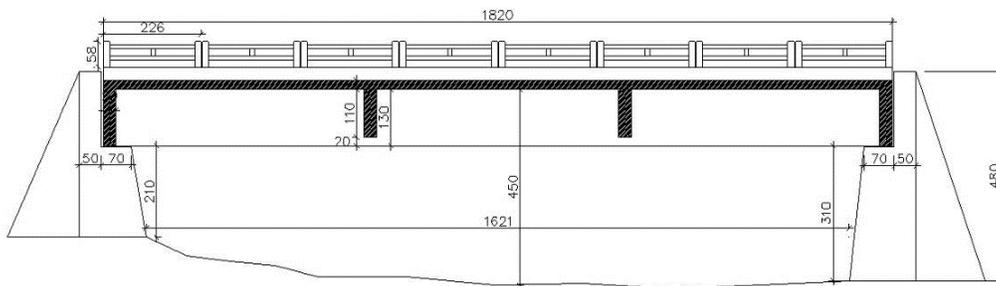


Figura 8 – Corte longitudinal da geometria original da ponte de referência.

Cada um dos dois métodos foi modelado para os três comprimentos de vãos, com o emprego do software STRAP, de modo a obter-se a análise comparativa a partir da variação dos parâmetros do Quadro 7.

Quadro 7 – Parâmetros utilizados na análise estrutural

Método de alargamento	Varição do vão das longarinas (m)	Altura das longarinas do alargamento (m)	Largura das longarinas do alargamento (m)	Espessura da laje do alargamento (m)	Quant. Transversinas do alargamento (ud)
Concreto armado convencional	15,00	1,35	0,50	0,25	2
	18,00	1,65	0,50	0,25	2
	24,00	2,20	0,50	0,25	2
Vigas mistas	15,00	0,70 700 x 154,0	Perfis obtidos pelo dimensionamento	0,25	4
	18,00	0,85 850 x 174,0	Perfis obtidos pelo dimensionamento	0,25	4
	24,00	1,10 1.100 x 235,0	Perfis obtidos pelo dimensionamento	0,25	4

Após todo o processamento do cálculo para as seis condições estabelecidas, foram obtidos os esforços e as deformações ao longo dos respectivas estruturas, cujos resultados para as seções mais críticas estão indicados no quadro 8.

Quadro 8 – Esforços e deslocamentos máximos nas seções mais desfavoráveis

Vão/ Método de alargamento	Longarinas originais da ponte			Longarinas do alargamento			
	Mom. fletor (KN.m)	Esforço cortante (KN)	Flecha Carga perm.+ carga móvel (cm)	Mom. fletor (KN.m)	Esforço cortante (KN)	Flecha Carga perm.+ carga móvel (cm)	Flecha Carga móvel (cm)
Vão 15m - conc. armado	3610	1081	1,67	2680	719	1,48	----
Vão 15m - viga mista	3960	1116	1,83	1600	553	3,34	1,75
Vão 18m - conc. armado	5140	1245	1,89	3800	862	1,65	----
Vão 18m - viga mista	5760	1325	2,12	2050	586	4,05	2,00
Vão 24m - conc. armado	9220	1589	2,61	6680	1175	2,39	----
Vão 24m - viga mista	11240	1827	3,17	2840	758	5,90	2,34

A análise também incluiu, mesmo que de forma aproximada, a comparação entre os custos de execução dos tabuleiros alargados pelos dois sistemas, adotando como referência os custos de materiais e mão de obra atualmente praticados no Brasil. Com base nesses critérios foram obtidos os seguintes valores unitários médios (R\$/m²) de execução dos tabuleiros para os três vãos considerados:

- Tabuleiro alargado com concreto armado convencional = R\$ 1.600,00/m²
- Tabuleiro alargado com vigas mistas = R\$ 2.329,00/m²

Os custos da estrutura mista incluem além da laje de concreto, a fabricação, fornecimento e montagem das longarinas, transversinas, conectores de cisalhamento, chapas, soldas e parafusos, além de proteção para obras em ambientes com agressividade ambiental moderada.

4. CONCLUSÕES

Considerando os limites deste artigo, entre os quais a não inclusão de estudos comparativos contemplando o método de alargamento com vigas pré-moldadas, algumas conclusões preliminares já podem ser obtidas, mesmo que ainda devam ser melhor aprofundadas ao longo do desenvolvimento da pesquisa da Tese de Doutorado do 1º autor na FEUP.

É importante, também, esclarecer que as análises tiveram como foco apenas os tabuleiros, de modo que não foram abordados os elementos das mesoestruturas e das fundações das pontes.

A seguir estão relacionadas as principais conclusões:

- a) As aplicações dos três métodos construtivos, nos casos analisados neste artigo, permitem concluir que os seus desempenhos estruturais foram considerados satisfatórios para os Estados Limites de Serviço e Estados Limites Últimos.
- b) A redistribuição de momentos fletores e esforços cortantes no vão e nos balanços dos tabuleiros alargados com concreto armado convencional mostram que, quando comparados aos tabuleiros originais, apresentaram redução dos momentos nos vãos e valores bem próximos dos momentos nos balanços. As reações de apoio também foram reduzidas. Isso significa que não há necessidade de reforço dos pilares e fundações existentes.
- c) Mesmo considerando que a resistência à compressão do concreto das longarinas existentes das pontes antigas era, no máximo, da ordem de 20MPa, as tensões na fase de protensão e após as perdas, foram atendidas satisfatoriamente.
- d) A aplicação da protensão externa permite uma rápida e simples fixação das cordoalhas e dos dispositivos metálicos; não necessita de injeção de nata de cimento, pela inexistência de bainhas; diminui as perdas de protensão por atrito ao longo das cordoalhas e permite uma operação de protensão mais simples, com equipamentos (macacos) menores do que os usualmente utilizados nas vigas de pontes.
- e) O reforço e alargamento com concreto armado convencional é recomendável quando, nas pontes muito antigas, o concreto tem resistência à compressão muito baixa e está, também, muito deteriorado. Nesse caso, as tensões no concreto não são atendidas para a protensão, e pode acontecer a ruptura da viga durante a aplicação da força de protensão.
- f) Os preços unitários obtidos para os tabuleiros alargados indicados no quadro 6, mostram que as duas soluções são economicamente competitivas para os comprimentos das pontes estudadas. Para a ponte com extensão de 30m a solução em protensão externa mostrou-se 13% mais cara do que a solução em concreto armado. Para a ponte de 35m o acréscimo de custo caiu para 2% e, no caso da ponte de 40m, a solução em protensão externa ficou 4%

mais econômica do que a alternativa em concreto armado. Ou seja, tais valores indicam uma tendência de maior viabilidade econômica da protensão externa com o crescimento do vão da ponte.

- g) Nos três casos de alargamento e reforço com vigas mistas foram obtidos para estas vigas, momentos fletores e esforços cortantes que representam em média, respectivamente 52% e 70% dos valores de tais esforços quando foram empregadas vigas de concreto armado. As vigas existentes de concreto armado tiveram acréscimo médio de 15% nos momentos fletores e 8% nos esforços cortantes quando a ponte foi alargada com vigas mistas.
- h) As deformações máximas obtidas nas longarinas mistas estão todas de acordo com as exigências da AASHTO para a combinação de cargas móveis + cargas permanentes (L/350) e apenas para as cargas móveis (L/800).
- i) Para os casos estudados neste trabalho, a solução de alargamento do tabuleiro com a utilização de vigas mistas ficou 47% mais cara do que a alternativa de alargamento com concreto armado convencional, não estando incluídos os custos de possíveis reforços dos pilares e fundações existentes, que de modo geral terão as cargas reduzidas com a utilização de vigas metálicas. Outros fatores, como a distância de transporte das peças metálicas, a economia de escala e a rapidez da montagem na obra poderão certamente diminuir a diferença de custos com a solução tradicional. Tais fatores deverão ainda ser objeto de estudos mais aprofundados.

5. REFERÊNCIAS

- [1] DNIT – Manual de Inspeção de Pontes Rodoviárias, Rio de Janeiro (2004)
- [2] ABNT NBR 7188 – Carga Móvel em Pontes Rodoviárias e Passarelas de Pedestres, Rio de Janeiro (1984)
- [3] MENDES, PTC – Contribuição para um modelo de gestão de pontes aplicado à rede de rodovias brasileiras (Tese de Doutorado), Escola Politécnica da USP, São Paulo (2009)
- [4] PINHO, F.O., BELLEI, I.H. – Pontes e Viadutos em Vigas Mistas. Centro Brasileiro das Construções em Aço, Rio de Janeiro (2007)
- [5] AASHTO – Standard Specifications for Highway Bridges, 17th Edition, EUA (2002)
- [6] VITÓRIO, J.A.P, BARROS, R.M.M.C. – Análise Paramétrica de Projetos de Alargamento e Reforço de Pontes Rodoviárias de Concreto Armado, Anais das XXXV Jornadas Sul Americanas de Engenharia Estrutural, Rio de Janeiro, Brasil (2012)
- [7] VITÓRIO, J.A.P, BARROS, R.M.M.C. – Estudo Paramétrico da Utilização de Vigas Mistas nos Projetos de Alargamento e Reforço de Pontes Rodoviárias, Anais do VIII Congresso Internacional sobre Patologia e Recuperação de Estruturas, La Plata, Argentina (2012)