

## ANÁLISE PARAMÉTRICA DE PROJETOS DE ALARGAMENTO E REFORÇO DE PONTES RODOVIÁRIAS DE CONCRETO ARMADO

### PARAMETRIC ANALYSIS OF PROJECTS ON WIDENING AND REINFORCEMENT OF ARMED CONCRETE BRIDGES

José Afonso Pereira Vitório (A)(1); Rui Manuel Meneses Carneiro de Barros (2)

(1) Engenheiro Civil, Projetista e Consultor de Estruturas; Professor Convidado de Recuperação e Reforço de Pontes e Viadutos da Escola Politécnica da UPE; Doutorando em Engenharia Civil pela Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto – Portugal.

(2) Engenheiro Civil; Professor Doutor da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto - Portugal.

Endereço para correspondência: [afonsovitorio@gmail.com](mailto:afonsovitorio@gmail.com)

#### Resumo

Muitas pontes das rodovias brasileiras correm o risco de se tornarem funcionalmente obsoletas e estruturalmente deficientes, caso não tenham seus tabuleiros alargados e suas estruturas reforçadas para se adequarem às novas dimensões transversais e cargas adotadas na ampliação da malha viária nacional.

Este artigo tem como objetivo fazer um estudo do comportamento estrutural dos dois métodos atualmente mais utilizados no Brasil para o alargamento e reforço do tabuleiro de pontes rodoviárias de concreto armado. O estudo foi feito por meio de análise paramétrica de uma ponte típica das rodovias brasileiras. No 1º caso foi analisado o sistema em concreto armado convencional, com a introdução de novas vigas e novas linhas de pilares, reforçando-se, caso necessário, as vigas e lajes existentes. No 2º caso foi estudado o alargamento do tabuleiro com a aplicação de protensão externa para o reforço das vigas existentes e protensão transversal nas lajes, sem a necessidade de adição de novas vigas e pilares. São definidos os parâmetros considerados mais importantes para a análise comparativa entre os dois métodos, além de outros elementos geométricos considerados relevantes.

A análise do comportamento estrutural para cada um dos dois métodos, será feita a partir da variação dos parâmetros e as suas influências no desempenho global da ponte alargada. Isso poderá significar uma importante contribuição para a escolha da melhor opção de projetos de alargamento e reforço de pontes rodoviárias de concreto.

*Palavras-chave: estruturas, pontes, protensão, reforço, concreto.*

#### Abstract

Many Brazilian bridges and roads might become functionally obsolete and structurally deficient, if they do not have their decks widened and their structure reinforced so as to make them suitable to the new transverse templates and loads adopted in the expansion of the national road network.

This paper aims at presenting the study on the structural behavior of the two currently most used methods in Brazil for widening and reinforce of deck of armed concrete road bridges. The study was based on parametrical analysis on one typical bridge of Brazilian roads. In the first case, we analyzed the system in conventional reinforced concrete, by equipping it with new beams and rows of pillars, when necessary, in order to reinforce the existing beams and slabs. In the second case, we studied the wideness of the deck, by applying external prestressing to reinforce the existing beams and transversal prestressing on the slabs, to avoid the need of new beams or pillars. The parameters considered the most important ones are defined to comparative analysis between the two methods as well as other geometric elements considered relevant.

The analysis of the structural behavior for one of the two methods is done by varying the parameters and their influences on the global performance of the widened bridge. That might mean an important contribution for the choice of the best option in projects of widening and reinforce on armed concrete road bridges.

*Keywords: structures, bridges, prestress, reinforcement, concrete.*

## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1. Evolução do gabarito transversal e dos carregamentos das pontes

Quase todas as informações disponíveis sobre a implantação da malha rodoviária federal brasileira, incluindo as suas pontes, se reportam à década de 1940, quando foram editadas as primeiras normas para o cálculo e execução de obras de concreto armado. Foi também nesse período que começaram a funcionar alguns dos Órgãos responsáveis pela construção das estradas federais e estaduais, como o DNER (Departamento Nacional de Estradas de Rodagem) e os DER's (Departamentos de Estradas de Rodagem Estaduais).

De modo geral, a grande maioria das pontes rodoviárias foi projetada com estrutura de concreto armado; este sistema construtivo ainda é, até a presente data, o mais utilizado nas pontes cujos comprimentos máximos dos vãos sejam da ordem de 20m.

Desde 1940, as pontes das rodovias federais e estaduais vêm passando por variações no gabarito transversal, que era inicialmente era 8,30m e não incluía os acostamentos da estrada. Atualmente o DNIT, Órgão que substituiu o DNER após a sua extinção, adota para a maioria das pontes federais a largura de 12,80m para o tabuleiro. A evolução do gabarito transversal das pontes ao longo do tempo está indicada na figura 1.

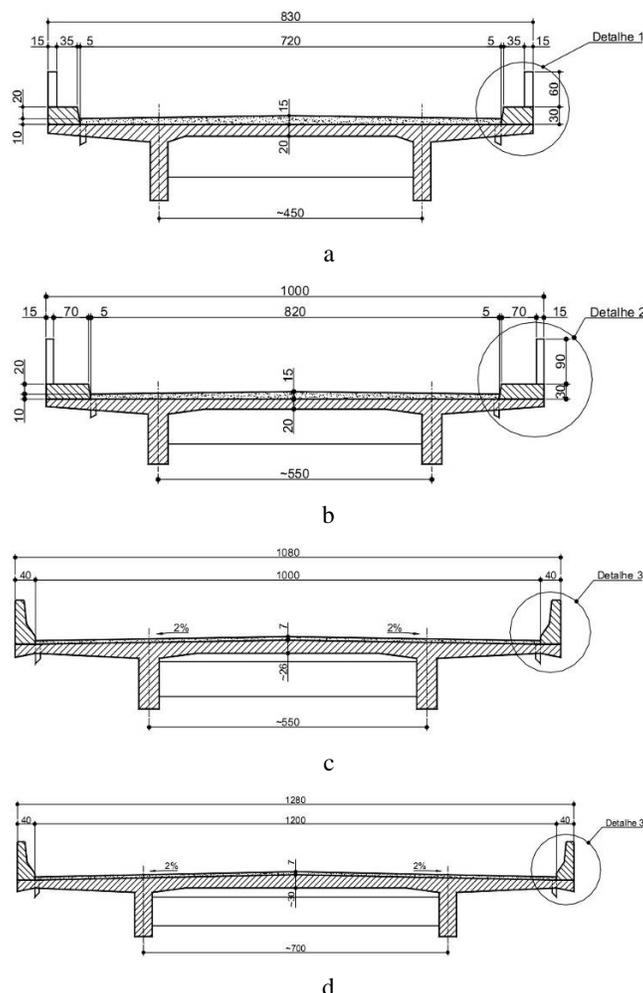


Figura 1 - Evolução do gabarito transversal das pontes rodoviárias: a) De 1940 a 1960; b) De 1960 a 1975; c) De 1975 a 1985; d) Após 1985. (Fonte DNIT, 2004)

As cargas atuantes sobre as pontes também passaram por modificações ao longo das últimas décadas. No caso das cargas permanentes as variações devem-se principalmente aos recapeamentos da pavimentação, à substituição de guarda-corpos por barreiras, etc. Porém, as cargas móveis foram objeto de 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.

Na figura 2 estão ilustrados os esquemas dos carregamentos móveis estabelecidos pela norma NBR 7188/84, atualmente em vigor no Brasil. A tabela 1 mostra os valores de tais carregamentos.

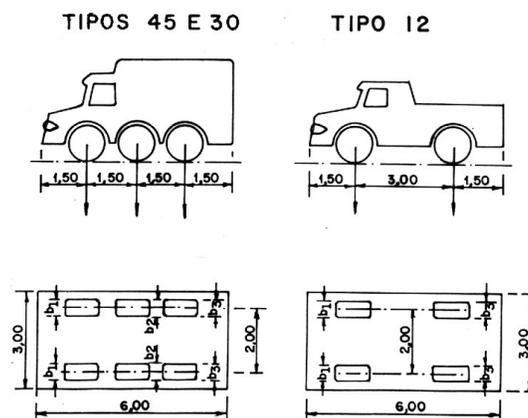


Figura 2. Esquemas das cargas móveis estabelecidas pela norma brasileira. (Fonte: NBR 7188/84).

Tabela 1. Valores das cargas móveis transmitidas pelos veículos conforme a norma brasileira. (Fonte: NBR 7188/84).

| Classe da ponte | Veículo |            |       | Carga uniformemente distribuída |                    |                   |                    | Disposição da carga     |
|-----------------|---------|------------|-------|---------------------------------|--------------------|-------------------|--------------------|-------------------------|
|                 | Tipo    | Peso total |       | P                               |                    | P'                |                    |                         |
|                 |         | kN         | $t_r$ | kN/m <sup>2</sup>               | kgf/m <sup>2</sup> | kN/m <sup>2</sup> | kgf/m <sup>2</sup> |                         |
| 45              | 45      | 450        | 45    | 5                               | 500                | 3                 | 300                | Carga p em toda a pista |
| 30              | 30      | 300        | 30    | 5                               | 500                | 3                 | 300                | Carga p' nos passeios   |
| 12              | 12      | 120        | 12    | 4                               | 400                | 3                 | 300                |                         |

## 1.2. Contextualização do tema

Os programas de duplicação e ampliação de rodovias brasileiras postos em prática nos últimos anos alertaram a comunidade técnica para um tema que até então ainda não havia recebido a devida atenção: o alargamento e reforço estrutural das pontes existentes, visando adequá-las aos novos gabaritos transversais das estradas e às cargas móveis exigidas pelas normas atualmente em vigor.

Talvez, o fato de a malha viária nacional ter ficado estagnada durante anos, sem passar por atualizações, ou até manutenções periódicas, explique, pelo menos parcialmente, a grande carência de estudos, pesquisas e de literatura técnica especializada sobre temas relacionados ao alargamento e reforço de pontes antigas. É importante lembrar que quase toda a literatura técnica disponível sobre pontes está direcionada para projetos e construções de obras novas, mesmo num momento em que significativa quantidade de projetos de ampliações e reforços de Obras de Arte Especiais está sendo realizada em todo o País.

Nesse contexto, este trabalho se propõe a contribuir para a produção do conhecimento sobre este tema, e para a melhoria da qualidade dos projetos e das execuções das obras de alargamento e reforço de Obras de Arte Especiais.

## 2. METODOLOGIA

Serão estudados, de forma comparativa, os dois métodos mais utilizados para o alargamento e reforço de pontes rodoviárias no Brasil.

O primeiro método, em concreto armado convencional, que é o mais utilizado nas pontes em geral, em especial nas de pequeno porte, consiste no alargamento por meio de adição de novas vigas e lajes de concreto armado, que são incorporadas ao tabuleiro original, formando uma nova grelha. Também são adicionadas novas linhas de pilares para apoiar os trechos alargados e, dependendo dos resultados da análise estrutural, são reforçados os pilares, lajes e vigas existentes com a incorporação de novas armaduras passivas e a utilização de concreto projetado.

A figura 3 mostra a seção transversal de uma ponte antiga típica das rodovias federais brasileiras, cujo tabuleiro foi alargado para 12,80m e reforçado com vigas e lajes de concreto armado convencional e projetado.

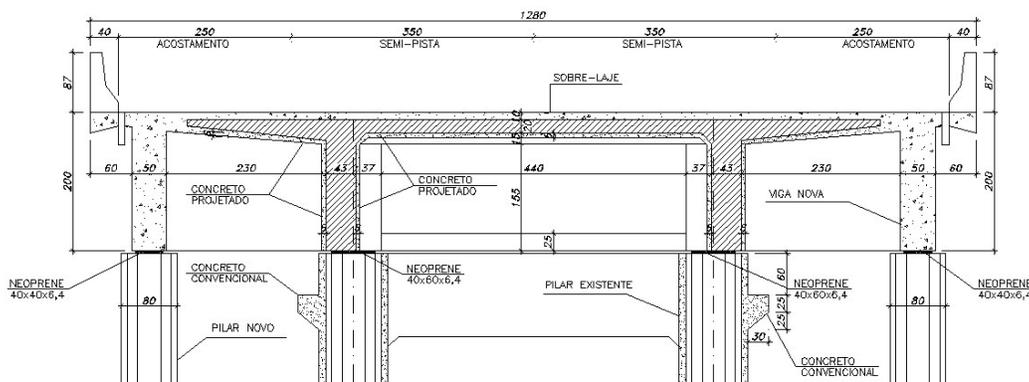


Figura 3 – Seção transversal do alargamento de uma ponte com a adição de novas vigas e pilares de concreto armado.

O segundo método estudado neste artigo é o que utiliza monocordoalhas de aço para concreto protendido agrupadas em feixes fixados às faces laterais das vigas existentes por meio de dispositivos de aço especial (desviadores e ancoragens), fabricados conforme cada obra específica. Este método é conhecido como 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 para o reforço, demandando a necessidade da utilização de protensão transversal na parte superior do tabuleiro.

A figura 4 mostra a execução de reforço com protensão externa nas vigas de uma ponte. Na figura 5 está indicada a aplicação da protensão transversal para reforço da laje alargada do tabuleiro.



Figura 4 – Reforço das vigas existentes com protensão externa.



Figura 5 – Armadura transversal de protensão para o alargamento e reforço da laje.

O estudo comparativo do comportamento estrutural entre os dois métodos será realizado a partir de uma ponte real, adotada como referência, por meio da análise da variação de alguns parâmetros de projeto considerados significativos nas pontes típicas das rodovias brasileiras. Dados do DNIT publicados por MENDES (2009), mostram que em um universo de 5.600 pontes federais cadastradas, 93% delas têm vão máximo inferior a 40,00m e 50% possuem apenas um vão com dois balanços.

A ponte escolhida como referência para o estudo está localizada na BR 316/PI, tem originalmente 10,00m de largura do tabuleiro (incluindo os dois passeios) e 35,80m de extensão, com um vão central de 23,40m e dois balanços de 6,20m, conforme as figuras 6 e 7 a seguir. Pela época em que foi construída, é possível concluir que foi calculada com o Trem-tipo Classe 36.



Figura 6 – Vista lateral da ponte de referência.

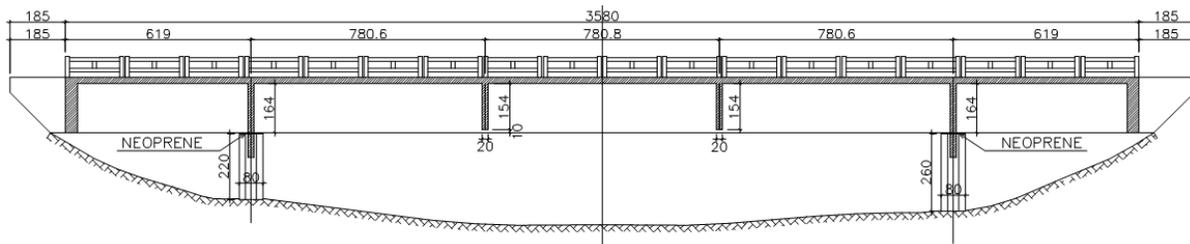


Figura 7 – Corte longitudinal na ponte de referência.

A obra escolhida teve o seu projeto executivo de reforço e alargamento do tabuleiro para o gabarito de 12,80m com o Trem-tipo Classe 45, elaborado pelo autor em 2010, tendo sido adotado na ocasião o sistema estrutural em concreto armado convencional, conforme a seção transversal alargada mostrada na figura 8.

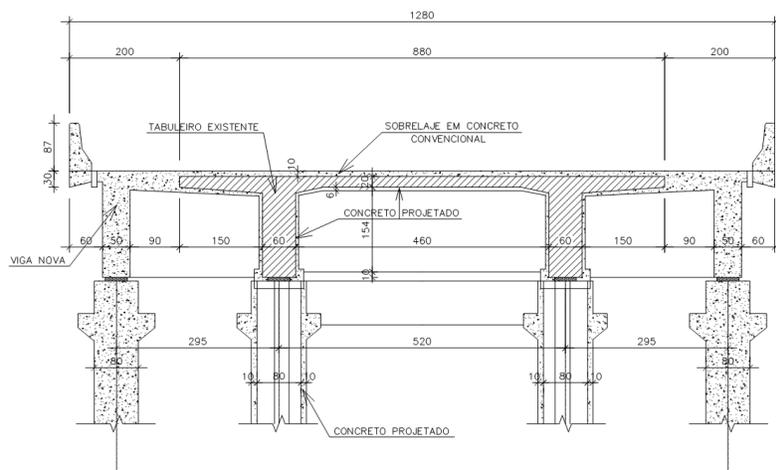


Figura 8 – Seção transversal após alargamento e reforço da ponte de referência.

### 3. ANÁLISE COMPARATIVA

Para a realização da análise comparativa, foi definida a seção transversal da mesma ponte com o tabuleiro alargado para 12,80m empregando protensão externa nas longarinas e protensão transversal nas lajes, de acordo com a ilustração da figura 9.

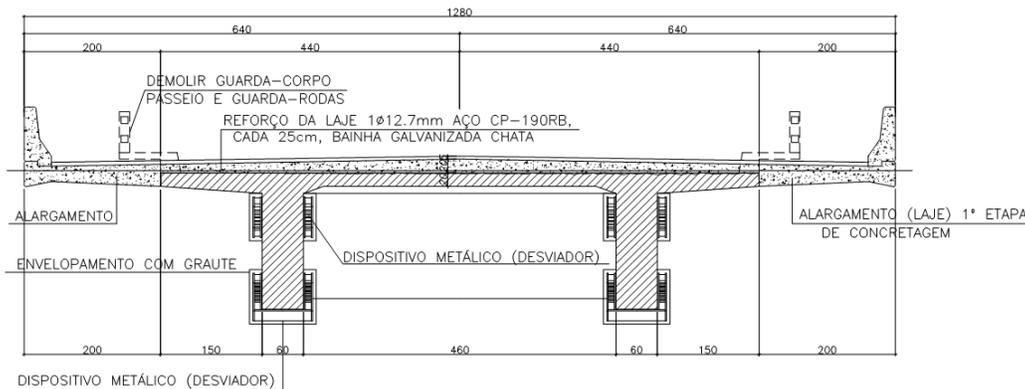


Figura 9 – Seção transversal do alargamento e reforço da ponte de referência com protensão externa e protensão transversal.

A configuração dos cabos de protensão externa ao longo das faces laterais das vigas principais está indicada na ½ vista longitudinal da figura 10.

Para o dimensionamento da protensão foram adotados feixes de cordoalhas  $\phi$  12,7mm, aço CP-190RB em cada face das duas vigas, de modo que o traçado seja garantido por desviadores metálicos inferiores e superiores, e pelas ancoragens ativas nas duas extremidades das vigas. Foi prevista uma força de protensão de 140KN em cada cordoalha.

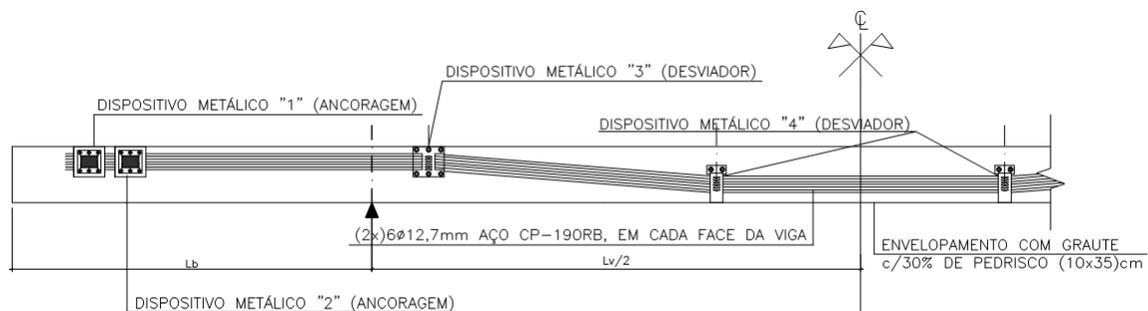


Figura 10 – ½ vista longitudinal do traçado da protensão externa nas vigas.

Para a realização da análise entre as duas concepções foram definidos os parâmetros mais significativos, de modo que a partir da variação de cada um deles seja possível determinar as influências dos mesmos nos esforços e no desempenho estrutural da ponte alargada. Do resultado final da análise também será possível obter os quantitativos e os valores dos itens de serviços que mais influenciarão no custo da obra de alargamento e reforço do tabuleiro.

O estudo contempla a análise da ponte de referência, após o alargamento e reforço, considerando o acréscimo de carregamento entre o Trem-tipo Classe 45 e o Trem-tipo Classe 36, para cada um dos dois métodos, fazendo variar os comprimentos totais (vão central + balanços), para os seguintes valores: 30,00m (vão de 20,00m + 2 balanços de 5,00m); 35,80m (vão de 23,40m + 2 balanços de 6,20m) e 40,00m (vão de 25,00m + 2 balanços de 7,50m).

Ou seja, são analisados três comprimentos diferentes de pontes (30m, 35m e 40m) para cada método de alargamento e reforço. Como os comprimentos escolhidos são representativos da grande maioria das pontes das rodovias brasileiras, podem fornecer indicadores de desempenho estrutural e de custos bem realistas.

Observa-se que os parâmetros mais determinantes para a análise comparativa são os comprimentos dos vãos e dos balanços das vigas principais, cujas variações estão relacionadas às respectivas seções transversais que, no caso da solução com protensão externa, serão 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 poderão ter as dimensões definidas conforme os respectivos esforços.

Os comprimentos transversais e as espessuras das lajes são considerados constantes para as duas opções. Na tabela 2 estão relacionadas as características dos materiais utilizados para o dimensionamento, e na tabela 3 os parâmetros e demais elementos geométricos da análise. Tendo em vista que o estudo é restrito ao tabuleiro da ponte, não serão abordados os elementos da mesoestrutura e da fundação.

Tabela 2 – Características dos materiais utilizados.

| Material                         | Características  |
|----------------------------------|--|
| Concreto Estrutural Convencional | Estrutura existente: $f_{ck} = 20MPa$<br>Estrutura nova: $f_{ck} = 30MPa$<br>Peso específico: $\gamma_c = 25KN/m^3$  |
| Concreto Protendido              | Estrutura existente: $f_{ck} = 20MPa$<br>Estrutura nova: $f_{ck} = 30MPa$<br>Peso específico: $\gamma_c = 25KN/m^3$  |
| Armadura Ativa                   | Aço CP-190RB<br>Res. Característica à tração : $f_{ptk} = 1.900MPa$<br>Módulo de elasticidade: $E_p = 195.000MPa$<br>Peso específico: $\gamma_p = 78,50KN/m^3$ |
| Armadura Passiva                 | Aço CA-50A<br>Res. Característica à tração : $f_{yk} = 50 KN/cm^2$<br>Peso específico: $\gamma_p = 78,50KN/m^3$  |

Tabela 3 – Parâmetros e elementos geométricos utilizados na análise estrutural.

| Sistema 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                 |
|                                       | 35,80                    | 6,20                                      | 23,40                                | 0,52-0,72             | 1,95                 |
|                                       | 40,00                    | 7,50                                      | 25,00                                | 0,52-0,72             | 2,15                 |
| Concreto protendido/protensão externa | 30,00                    | 5,00                                      | 20,00                                | 0,40-0,60             | 1,75                 |
|                                       | 35,80                    | 6,20                                      | 23,40                                | 0,40-0,60             | 1,95                 |
|                                       | 40,00                    | 7,50                                      | 25,00                                | 0,40-0,60             | 2,15                 |

As concepções estruturais dos tabuleiros, original e alargado, foram discretizadas para as seis condições da tabela 3 com o emprego do software Strap, sendo adotados elementos de barra para as vigas e elementos planos para as lajes. Na figura 11 está indicada a discretização da geometria do tabuleiro original e nas figuras 12 e 13 as geometrias dos tabuleiros alargados e reforçados com concreto armado e concreto protendido, respectivamente. Pode ser observado nas figuras que o tabuleiro original tem, além das transversinas dos apoios, duas transversinas intermediárias no vão, enquanto que nas duas alternativas para o alargamento foram utilizadas apenas transversinas nos apoios.

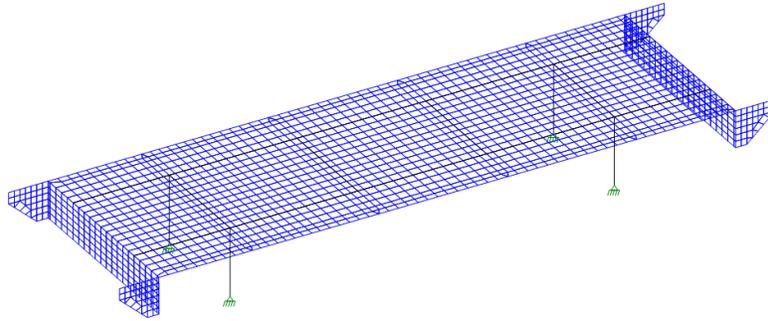


Figura 11 – Discretização do tabuleiro original.

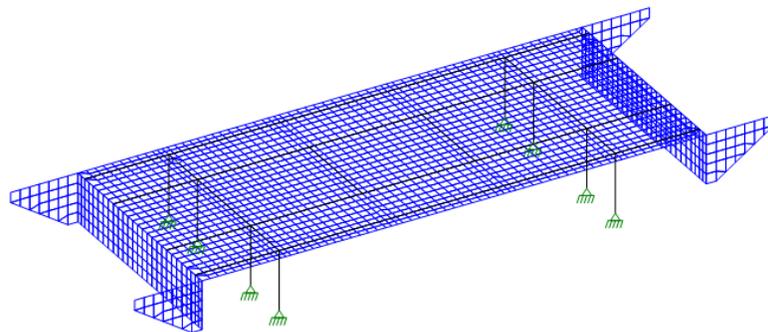


Figura 12 – Discretização do tabuleiro alargado, com introdução de novas vigas e pilares.

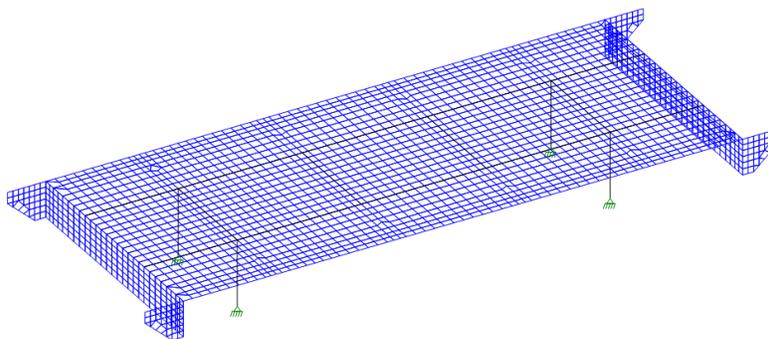


Figura 13 – Discretização do tabuleiro alargado com protensão externa e protensão transversal.

#### 4. RESUMO DOS RESULTADOS DA ANÁLISE

Foi realizada a análise estrutural 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.

Nas tabelas 4, 5, 6 e 7 estão indicados os resumos dos valores máximos dos esforços de serviço para as combinações de ações mais desfavoráveis (nos balanços e no vão) tanto para o tabuleiro original, como para os tabuleiros alargados para cada método estudado. As tabelas ainda incluem as deformações imediatas. As flechas diferidas decorrentes da fluência não foram calculadas neste trabalho.

Tabela 4 – Resumo dos esforços máximos e deformações nas longarinas do tabuleiro original.  
(Trem-tipo Classe 36)

| 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 |

Tabela 5 – Resumo dos esforços máximos e deformações nas longarinas existentes do tabuleiro alargado em concreto armado. (Trem-tipo Classe 45)

| 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 |

Tabela 6 – Resumo dos esforços máximos e deformações nas longarinas adicionais do tabuleiro alargado em concreto armado. (Trem-tipo Classe 45)

| 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 |

Tabela 7 – Resumo dos esforços máximos e deformações nas longarinas do tabuleiro alargado com protensão externa. (Trem-tipo Classe 45)

| 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 |

Com o cálculo dos esforços, foi possível fazer o pré-dimensionamento das armaduras (passivas e ativas) das longarinas, lajes e transversinas de cada ponte alargada pelos dois métodos, de modo a estabelecer, também, uma análise comparativa de custos entre as soluções estudadas.

Foram obtidos os quantitativos dos itens de serviço para as obras de alargamento e reforço de cada ponte, que estão indicados nas tabelas 8 e 10. Na tabela 8 estão detalhados todos os itens com os respectivos quantitativos para as pontes analisadas pelo método de concreto armado convencional. A tabela 10 mostra os itens e quantitativos das pontes analisadas pelo método da protensão externa.

Os custos dos diversos itens incluem material, equipamentos, mão de obra e DBI conforme as tabelas de preços para orçamentos de Obras de Arte Especiais atualmente utilizadas no Brasil, com destaque para a tabela do DNIT. Foram considerados apenas os itens referentes às superestruturas das obras (longarinas, transversinas, lajes, cortinas, alas e acabamentos), não sendo indicados custos de fundações nem de mesoestruturas.

Os custos (totais e unitários) das soluções estudadas estão indicados de forma resumida nas tabelas 9 e 11.

Tabela 8 – Itens de serviços e quantitativos dos tabuleiros alargados com concreto armado convencional.

| ITEM | DISCRIMINAÇÃO  | UNID           | PONTE<br>30m | PONTE<br>35m | PONTE<br>40m |
|------|--|----------------|--------------|--------------|--------------|
| 1.0  | Demolição de guarda-corpo de concreto  | m              | 60,00        | 72,00        | 80,00        |
| 2.0  | Demolição de concreto armado   | m <sup>3</sup> | 14,00        | 17,00        | 19,00        |
| 3.0  | Fornecimento e lançamento de concreto $f_{ck} \geq 30 \text{ MPa}$   | m <sup>3</sup> | 156,00       | 181,00       | 214,00       |
| 4.0  | Demolição e remoção de pavimento betuminoso  | m <sup>3</sup> | 38,00        | 44,00        | 48,00        |
| 5.0  | Jateamento d'água sob pressão para limpeza de superfície de concreto   | m <sup>2</sup> | 842,00       | 1.033,00     | 1.138,00     |
| 6.0  | Apicoamento manual em superfície de concreto   | m <sup>2</sup> | 842,00       | 1.033,00     | 1.138,00     |
| 7.0  | Concreto projetado $f_{ck} \geq 30 \text{ MPa}$  | m <sup>3</sup> | 87,00        | 32,00        | 41,00        |
| 8.0  | Escoramento convencional da superestrutura   | m <sup>3</sup> | 616,00       | 831,00       | 821,00       |
| 9.0  | Fornecimento, montagem e fixação de formas   | m <sup>2</sup> | 627,00       | 702,00       | 787,00       |
| 10.0 | Execução de furos em concreto $\phi 16\text{mm}$ $c=10\text{cm}$   | un             | 1.890,00     | 2.256,00     | 2.528,00     |
| 11.0 | Fornecimento, corte e dobragem de aço CA-50A   | kg             | 31.954,00    | 37.189,00    | 4.387,00     |
| 12.0 | Colagem de armadura em concreto com resina epóxica tipo Sikadur 32   | kg             | 383,00       | 462,00       | 518,00       |
| 13.0 | Andaimes suspensos para plataforma de trabalho   | m <sup>2</sup> | 444,00       | 530,00       | 592,00       |
| 14.0 | Revestimento com argamassa de cimento e areia no traço 1:6   | m <sup>2</sup> | 577,00       | 670,00       | 759,00       |
| 15.0 | Pintura de superfície de concreto com adesivo Epóxi de pega lenta tipo Nitobond EPPL para aderência de concreto velho e novo | m <sup>2</sup> | 108,00       | 122,00       | 144,00       |
| 16.0 | Junta JEENE JJ 2540  | m              | 26,00        | 26,00        | 26,00        |
| 17.0 | Execução de pavimento em CBUQ  | m <sup>3</sup> | 46,00        | 53,00        | 58,00        |
| 18.0 | Barreira de concreto armado tipo New Jersey  | m              | 60,00        | 70,00        | 80,00        |
| 19.0 | Fornecimento e colocação de dreno FG 4" x 40cm   | un             | 20,00        | 24,00        | 28,00        |
| 20.0 | Limpeza da obra e pintura da superestrutura com superconservado  | m <sup>2</sup> | 857,00       | 1.033,00     | 1.155,00     |

Tabela 9 – Custos dos tabuleiros alargados com concreto armado convencional.

| Comprimento da ponte (m) | Custo total (R\$) | Custo unitário (R\$/m <sup>2</sup> ) |
|--------------------------|-------------------|--------------------------------------|
| 30m                      | 729.600,00        | 1.900,00                             |
| 35m                      | 883.456,00        | 1.972,00                             |
| 40m                      | 1.038.848,00      | 2.029,00                             |

Tabela 10 – Itens de serviços e quantitativos dos tabuleiros alargados com protensão externa.

| ITEM | DISCRIMINAÇÃO   | UNID           | PONTE<br>30m | PONTE<br>35m | PONTE<br>40m |
|------|---|----------------|--------------|--------------|--------------|
| 1.0  | Demolição e remoção de revestimento betuminoso  | m <sup>3</sup> | 33,00        | 40,00        | 53,00        |
| 2.0  | Demolição e remoção de concreto   | m <sup>3</sup> | 9,00         | 9,00         | 12,00        |
| 3.0  | Demolição de guarda-corpo de concreto   | m              | 60,00        | 72,00        | 80,00        |
| 4.0  | Andaimes suspensos  | m <sup>2</sup> | 210,00       | 250,00       | 320,00       |
| 5.0  | Jateamento c/ água/areia sob pressão para limpeza de superfície de concreto   | m <sup>2</sup> | 102,00       | 122,00       | 136,00       |
| 6.0  | Apicoamento de concreto   | m <sup>2</sup> | 102,00       | 122,00       | 136,00       |
| 7.0  | Escoramento   | m <sup>3</sup> | 625,00       | 745,00       | 831,00       |
| 8.0  | Forn. e lanç. de concreto de fck = 30 Mpa, com adição de aditivo a base de SBR tipo NITIBOND, adicionado na água na proporção 1:3                   | m <sup>3</sup> | 98,00        | 117,00       | 131,00       |
| 9.0  | Forma de placa plastificada compensada  | m <sup>2</sup> | 105,00       | 130,00       | 184,00       |
| 10.0 | Fornecimento, preparo e colocação de aço CA-50  | kg             | 11.524,00    | 14.040,00    | 15.065,00    |
| 11.0 | Confecção e colocação de monocordoalhas $\phi$ 12.7mm   | kg             | 2.615,00     | 3.114,00     | 4.228,00     |
| 12.0 | Protensão e injeção de cabos 1 $\phi$ 12.7mm  | un             | 121,00       | 144,00       | 161,00       |
| 13.0 | Resina epóxi tipo SIKADUR 32 para colagem de peças metálicas SAC 50   | kg             | 28,00        | 33,00        | 37,00        |
| 14.0 | Fornecimento, corte e colocação de barra de aço tipo DYWIDAG $\phi$ 32mm, inclusive ancoragem e protensão   | kg             | 1.190,00     | 1.190,00     | 1.488,00     |
| 15.0 | Execução de furos em concreto $\phi$ 40mm, para passagem de barras tipo DYWIDAG $\phi$ 32mm   | un             | 80,00        | 80,00        | 100,00       |
| 16.0 | Fornecimento, colocação e injeção de bainhas chatas galvanizadas (19 x 36mm)  | m              | 1.549,00     | 1.830,00     | 2.601,00     |
| 17.0 | Execução de furos em concreto $\phi$ 8mm e c = 50mm   | un             | 1.116,00     | 1.344,00     | 1.484,00     |
| 18.0 | Pintura de superfície de concreto com adesivo epóxi de pega lenta NITOBOND EPPL para aderência do concreto velho e novo                             | m <sup>2</sup> | 18,00        | 18,00        | 32,00        |
| 19.0 | Fornecimento e aplicação de grout com 30% de predisco   | m <sup>3</sup> | 14,00        | 17,00        | 19,00        |
| 20.0 | Fornecimento, fabricação, colocação e fixação de peças metálicas em aço SAC-50, inclusive jateamento de superfície de colagem com granalha metálica | kg             | 2.703,00     | 2.703,00     | 3.380,00     |
| 21.0 | Execução de furos em concreto para passagens de feixes de monocordoalhas nas transversinas com 10 x 50 cm e espessura $\leq$ 30cm                   | un             | 12,00        | 12,00        | 12,00        |
| 22.0 | Execução de pavimento asfáltico CBUQ  | m <sup>3</sup> | 40,00        | 53,00        | 85,00        |
| 23.0 | Barreira de concreto tipo New Jersey  | m              | 60,00        | 70,00        | 80,00        |
| 24.0 | Fornecimento e colocação de dreno FG 4" x 40cm  | ud             | 20,00        | 24,00        | 26,00        |
| 25.0 | Junta JEENE JJ 2540   | m              | 26,00        | 26,00        | 26,00        |
| 26.0 | Pintura da superestrutura com super conservado P e limpeza da obra  | m <sup>2</sup> | 875,00       | 1.033,00     | 1.164,00     |

Tabela 11 – Custos dos tabuleiros alargados com protensão externa.

| Comprimento da ponte (m) | Custo total (R\$) | Custo unitário (R\$/m <sup>2</sup> ) |
|--------------------------|-------------------|--------------------------------------|
| 30m                      | 822.144,00        | 2.141,00                             |
| 35m                      | 900.480,00        | 2.010,00                             |
| 40m                      | 1.000.960,00      | 1.955,00                             |

## 5. CONCLUSÕES

Considerando que o principal objetivo deste artigo é dar uma contribuição para a melhoria da qualidade dos projetos de alargamento e reforço de pontes rodoviárias, a partir da análise comparativa entre os dois métodos atualmente mais utilizados no Brasil, algumas conclusões podem

ser tiradas dos estudos realizados, no sentido de estabelecer alguns parâmetros, mesmo que preliminares, relacionados aos desempenhos estrutural e econômico das duas opções de projeto.

Evidentemente, algumas questões que extrapolam os limites deste trabalho ainda necessitam ser abordadas com maior profundidade, como é o caso dos efeitos da retração e fluência em tabuleiros alargados com concretos de características diferentes, a influência das transversinas na nova grelha e a durabilidade e vida útil da obra, entre outras. Tais questões serão aprofundadas na pesquisa de Tese de Doutorado sobre alargamento e reforço de pontes, atualmente desenvolvida pelo 1º autor, sob a orientação do 2º autor, na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Mesmo assim, os resultados obtidos neste artigo permitem as seguintes conclusões:

- a) Os desempenhos estrutural dos dois métodos construtivos foram considerados satisfatórios para os Estados Limites de Serviço e Estados Limites Últimos.
- b) No método construtivo em protensão externa as longarinas existentes das pontes de 30m e 35m necessitam de reforço com 12 cordoalhas  $\phi$  12.7mm em cada face lateral, totalizando 24 cordoalhas por viga. Na ponte de 40m as longarinas necessitam ser reforçadas com 18 cordoalhas  $\phi$  12.7mm em cada face, totalizando 36 cordoalhas por viga. A força de protensão estimada foi 140KN / cordoalha.
- c) Mesmo considerando que o concreto das longarinas existentes era da ordem de 20MPa, as tensões, na fase de protensão e após as perdas, foram atendidas satisfatoriamente (para a protensão limitada).
- d) A aplicação da protensão externa permite uma rápida e simples fixação das cordoalhas e dos dispositivos metálicos e 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.
- 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. Neste 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 momentos fletores das longarinas existentes tiveram os valores reduzidos quando comparados aos do tabuleiro original antes do alargamento pelo sistema de concreto armado convencional.
- g) Os preços unitários obtidos para os tabuleiros alargados e indicados nas tabelas 9 e11, mostram que as duas soluções são economicamente competitivas para os comprimentos de ponte estudadas. Para a ponte com extensão de 30m a solução em protensão externa mostra-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 já ficou 4% mais econômica que a alternativa em concreto armado. Ou seja, existe uma tendência de maior viabilidade econômica da protensão externa com o crescimento do vão da ponte.
- h) De modo geral, a escolha da alternativa mais apropriada entre os dois sistemas construtivos, dependerá, também, do tipo de reforço que será necessário realizar nas fundações, e da

viabilidade, ou não, do acréscimo de novos pilares, situações que necessitarão de análise profunda por parte do projetista estrutural em cada caso específico.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Livros:

CÁNOVAS, M.F.. *Patologia e Terapia do Concreto Armado*, Pini Editora, São Paulo, 1988.

PFEIL, W.. *Concreto Protendido*, Ed. Livros Técnicos e Científicos Ltda, Rio de Janeiro, 1988.

SOUZA, V.C.M.; RIPPER, T.. *Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto*, Pini Editora, São Paulo, 2004.

VERÍSSIMO, G.S.; CESAR, K.M.L.. *Concreto Protendido, Elementos Básicos*, Universidade Federal de Viçosa, 1998.

VITÓRIO, J. A. P.. *Pontes Rodoviárias – Fundamentos, Conservação e Gestão*, CREA-PE, Recife, 2002.

Congressos, conferências e seminários:

VITÓRIO, J.A.P, BARROS, R.M.M.C. – *Recuperação, Alargamento e Reforço Estrutural de Pontes Rodoviárias no Brasil*, Anais do 6º Congresso Luso-Moçambicano de Engenharia, Maputo (2011)

Códigos Normativos:

ABNT NBR 6118 – *Projeto de estruturas de concreto – Procedimento*, Rio de Janeiro (2007)

ABNT NBR 7187 – *Projeto e execução de pontes em concreto armado e protendido*, Rio de Janeiro (2008)

ABNT NBR 7188 – *Carga Móvel em Ponte Rodoviária e Passarelas de Pedestres*, Rio de Janeiro (1984)

ABNT NBR 8681 – *Ações e segurança em estruturas – Procedimento*.

Teses ou dissertões:

ALMEIDA, T.G.M.. *Reforço de Vigas de Concreto Armado por meio de Cabos Externos Protendidos*, Universidade de São Carlos, São Paulo, 2001.

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)

Relatórios e documentos técnicos:

DER-SP. *Projeto de Recuperação, Reforço e Alargamento de Obra de Arte Especial*, São Paulo, 2006.

DNIT. *Manual de Inspeção de Pontes Rodoviárias*, Rio de Janeiro, 2004.

DNIT. *Manual de Recuperação de Pontes e Viadutos Rodoviários*, Rio de Janeiro, 2010.