AVALIAÇÃO DA EFICÁCIA DAS INTERVENÇÕES DE ALARGAMENTO E REFORÇO DA PONTE SOBRE O RIO SAPUCAÍ MIRIM NA RODOVIA BR-381

D. M. CARVALHO
Mestrando em Engenharia de Estruturas
Universidade Federal de Minas Gerais
Belo Horizonte/Minas Gerais; Brasil
davidsonmatosdnit@gmail.com

J. M. F. CALIXTO
Prof. Titular - Escola de Engenharia
Universidade Federal de Minas Gerais
Belo Horizonte/Minas Gerais; Brasil
calixto@dees.ufmg.br

RESUMO

O sistema rodoviário federal brasileiro é constituído em grande parte por pontes construídas antes de 1984. Assim, essas pontes possuem geometria e capacidade de carga incompatíveis com o tráfego atual. Neste cenário, o objetivo deste trabalho foi a avaliação dos procedimentos de alargamento e reforço empregados em uma ponte de concreto armado que foi reabilitada, visando atender às novas exigências de uma rodovia que foi duplicada. O estudo inclui a comparação do seu desempenho com a ponte nova, também em concreto armado, que foi construída ao lado para receber a pista nova. Essa comparação se mostra adequada, considerando que ambas as pontes estão inseridas no mesmo microclima, sob as mesmas características de tráfego e possuem vãos e sistemas estruturais semelhantes. As pontes foram avaliadas através de vistorias posteriores à liberação para o tráfego, de acordo com critérios estabelecidos pelas normas vigentes. Os resultados obtidos permitem conhecer a eficácia das intervenções realizadas, sob o ponto de vista da durabilidade, contribuindo para a melhoria de projetos futuros de reabilitação de pontes.
Palavras-chave: Pontes Rodoviárias em Concreto Armado. Alargamento. Reforço. Estruturas. Desempenho.

ABSTRACT

The Brazilian federal highway system is largely made up of bridges built prior to 1984. Thus, these bridges have incompatible geometry and loading carrying capacity with nowadays traffic. In this scenario, the goal of this investigation was the evaluation of the widening and strengthening procedures used in these reinforced concrete bridges. The study also includes comparing their performance with the respective new bridges built next to them, which received new highway lanes. This comparison is adequate, considering that, both bridges are inserted in the same environment, are subjected to the same traffic characteristics and have similar spans and structural systems. Surveys in both bridges were executed after the intervention in accordance with the Brazilian current regulations. The results obtained allow us to know the effectiveness of the widening and strengthening interventions carried out, from the point of view of durability, contributing to the improvement of future rehabilitation design for reinforced concrete highway bridges.
Keywords: Reinforced Concrete Highway Bridges; Widening; Strengthening; Structures; Performance.

1. INTRODUÇÃO

As pontes que compõem a malha rodoviária federal brasileira foram construídas a partir da década de 40, juntamente com a edição das primeiras normas brasileiras (DNIT, 2004a). A partir de então, houve uma evolução das ferramentas de cálculo, dos materiais utilizados nas obras, das técnicas construtivas e dos veículos que utilizam as rodovias, resultando em diversas atualizações de normas ao longo do tempo e consequentemente num perfil bastante heterogêneo de pontes, com características diferentes como classe, geometria, cargas móveis de projeto, tipos de barreiras de segurança e guarda-corpo, que variam de acordo com a data de construção.

Considerando que o crescimento da malha rodoviária brasileira teve seu ápice nas décadas de 1960 e 1970, verifica-se que grande parte das pontes de concreto armado foi construída antes de 1984, ou seja, são anteriores à vigência da norma NBR-7188 (1984) e por isso necessitam de obras de reforço para adequação da sua capacidade portante.

Atualmente existe uma demanda crescente por obras de alargamento e reforço estrutural de pontes em rodovias brasileiras. Grande parcela delas, além de apresentarem problemas de natureza estrutural (seja pela deterioração da estrutura ou pela desatualização quanto aos carregamentos móveis exigidos pelas normas vigentes e efetivamente transmitidos pela frota de veículos atual), também apresentam seções transversais insuficientes para a demanda de tráfego atual (VITÓRIO e BARROS, 2014).

De acordo com relatório do Tribunal de Contas da União (TCU, 2012), de um total de 5.612 obras de artes especiais – OAEs pertencentes à malha rodoviária federal, 4.105 apresentam problemas de estreitamento de pista. Além disso, das 4.739 OAEs cadastradas no Sistema de Gerenciamento de Pontes do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT, 261 encontram-se em estado de conservação sofrível e sete em estado de conservação precária, ou seja, demandam intervenções no curto prazo e imediatas, respectivamente. (DNIT, 2004b).

Segundo Vitório e Barros (2012), as atividades de alargamento e reforço de pontes rodoviárias começaram a chamar a atenção da comunidade técnica brasileira a partir de meados da década de 90, quando tiveram início diversas obras de duplicação e/ou alargamento de importantes rodovias federais e estaduais. Essas obras alertaram para a necessidade de maiores estudos sobre as intervenções estruturais em pontes e viadutos. Faltam registros de informações técnicas e gerenciais referentes ao desempenho das intervenções que já foram realizadas, sob o ponto de vista da durabilidade. Em pesquisa realizada por Oliveira (2013), foram apontados alguns aspectos nas intervenções de reforço estrutural realizadas em pontes de concreto armado, que inevitavelmente comprometeram a durabilidade da estrutura e dos próprios elementos de reforço implantados. Essas informações são essenciais para que os problemas identificados não se repitam em outras obras de reforço a serem realizadas no futuro.

Este trabalho propõe um estudo de caso, com objetivo de avaliar o desempenho das intervenções de alargamento e reforço empregadas em uma ponte que foi reabilitada, visando atender às novas exigências de uma rodovia que passou por obras de duplicação, inclusive comparando o seu desempenho com a outra ponte construída ao lado para receber a pista nova. Essa comparação se mostrou adequada, considerando que ambas as pontes estão inseridas no mesmo microclima, submetidas às mesmas características de tráfego e possuem vãos e sistemas estruturais semelhantes. As pontes foram avaliadas através de inspeções visuais realizadas “in loco”, de acordo as normas vigentes no Brasil. Inicialmente foi realizado um estudo detalhado das pontes, abrangendo projeto original da obra antiga, projetos de alargamento e reforço, projeto da ponte nova, relatórios de execução e inspeções que foram realizadas anteriormente. As pontes estão localizadas sobre o Rio Sapucaí Mirim, na rodovia BR-381, no município de Pouso Alegre em Minas Gerais. A Figura 1 mostra uma vista geral das pontes avaliadas.

Figura 1 – Vista geral das pontes avaliadas. À esquerda a ponte nova e à direita a ponte reabilitada.



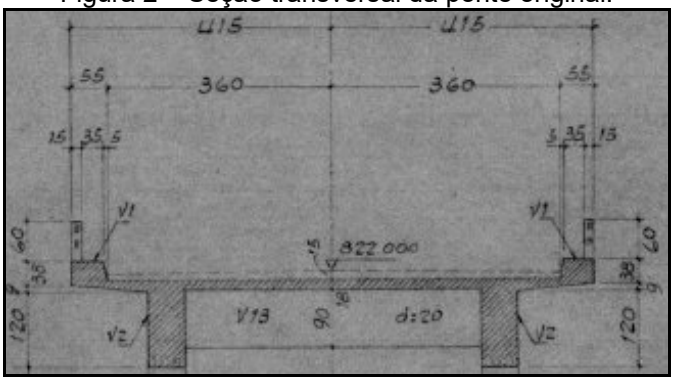
2. PONTE REABILITADA

2.1 Descrição da ponte original

A ponte original foi projetada em 1954, pelo extinto Departamento Nacional de Estradas de Rodagem – DNER. Embora não exista a memória de cálculo desta ponte, pode-se inferir, pela data do seu projeto e pelas suas características geométricas, que a mesma era Classe 24 toneladas e foi dimensionada de acordo com as normas vigentes à época (NB-1/1946, NB-2/1946 e NPER/1949), conforme histórico de evolução apresentado no Manual de Inspeções de Pontes Rodoviárias (DNIT, 2004a).

Esta ponte possui comprimento de 80,0 metros, divididos em cinco vãos (13,5 m + 16,0 m + 16,0 m + 16,0 m + 13,5 m), além de balanços de 2,65 metros nas extremidades. Possuía largura total de 8,30 metros (pista de 7,20 m, com duas faixas de rolamento, guarda-rodas e guarda-corpo). A superestrutura é formada por uma laje maciça sobre duas vigas principais (Figura 2), apoiada em seis pares de pilares (sem aparelhos de apoio), além de dezesseis transversinas. Os apoios intermediários são ligados por vigas de contraventamento do tipo parede e sua infraestrutura era composta por doze tubulões. A estrutura da ponte é composta ainda por cortinas e alas nas extremidades e juntas de dilatação nos extremos do tabuleiro.

Figura 2 – Seção transversal da ponte original.



Fonte: DNER, 1954.

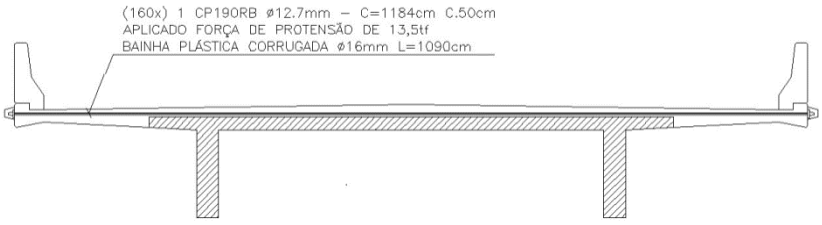
2.2 Procedimentos de alargamento e reforço estrutural

As intervenções de reabilitação da ponte foram realizadas no período de janeiro de 2002 a fevereiro de 2005 e tiveram por objetivo atender às novas exigências da rodovia BR-381 que passava por obras de duplicação. O projeto de reabilitação, elaborado por empresa contratada pelo DER-MG, previa o alargamento da ponte, aumentando sua largura total de 8,30 para 10,90 metros, que correspondia à largura de cada pista após a duplicação (duas faixas de rolamento e acostamento). Foi previsto também o reforço estrutural da ponte visando adequar o seu trem-tipo para 45 toneladas, a substituição do pavimento e das juntas de dilatação, o alargamento das cortinas e a implantação de lajes de transição nas extremidades, a troca dos guarda-rodas e guarda-corpos por barreiras de segurança do tipo New Jersey, a implantação de drenos e pingadeiras, além de intervenções de recuperação da estrutura existente.

2.2.1 Alargamento e reforço da superestrutura

O método de alargamento adotado consistiu no acréscimo de largura das lajes existentes em 1,30 metros para cada lado, utilizando-se protensão transversal na parte superior do tabuleiro. Foi executada uma sobrelaje em concreto protendido, com espessura de 18 cm no meio do vão, com 160 cordoalhas de 7 fios do tipo CP190RB, diâmetro de 12,7 mm, dispostas a cada 50 cm, em bainhas plásticas corrugadas com 16 mm de diâmetro. Para a protensão foram previstas ancoragens nas duas extremidades laterais da laje. A Figura 3 mostra os detalhes do alargamento da laje com protensão transversal.

Figura 3 – Detalhes do alargamento da laje com protensão transversal.

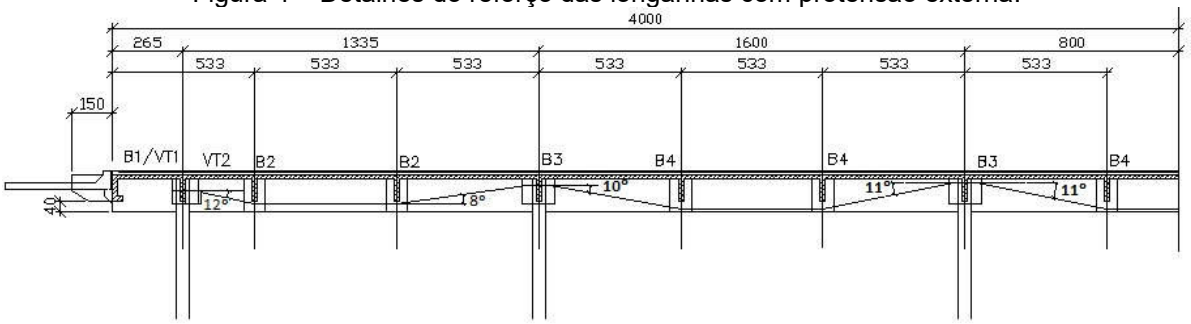


Fonte: DNIT, 2005.

Além do alargamento e reforço da laje, o projeto previa o reforço das duas longarinas através de protensão externa. Para a protensão, foram adotados cabos compostos por 8 cordoalhas de 7 fios, diâmetro de 15,2

mm, dispostas em bainhas de polietileno com diâmetro de 92 mm. Para a ancoragem dos cabos de protensão, foram implantados blocos de concreto armado chumbados com barras de 20 mm coladas com resina epóxi, nas ligações das longarinas com as transversinas sobre os pilares extremos da ponte. Foram implantados também blocos de concreto armado nas ligações das longarinas com as demais transversinas, para exercerem a função de desviadores ao longo do comprimento da ponte, além de vigas longitudinais entre os dois primeiros blocos e vigas transversais ligando os dois blocos de ancoragem. O concreto utilizado em toda estrutura de protensão tinha resistência característica à compressão igual ou maior que 30 MPa e o cobrimento de armadura especificado era de 3,0 cm. A Figura 4 apresenta os detalhes do reforço das longarinas com protensão externa.

Figura 4 – Detalhes do reforço das longarinas com protensão externa.



(a) Locação do cabo de protensão externa ao longo das longarinas.
Fonte: DNIT, 2005.



(b) Detalhe da ancoragem.



(c) Detalhe dos blocos e vigas na ancoragem.



(d) Localização do cabo de protensão.

2.2.2 Reforço da mesoestrutura

Foi previsto reforço estrutural apenas para os quatro pilares extremos, através do aumento da seção transversal, de 50 x 60 cm para 80 x 85 cm. O procedimento previa o apicoamento em toda a sua superfície, a colocação de armadura adicional, chumbada no tubulão e no pilar existente, através de barras de aço coladas com resina epóxi e em seguida a concretagem. A resistência característica à compressão do concreto utilizado neste reforço era de 20 MPa e o cobrimento de armadura especificado era de 3,0 cm.

2.2.3 Reforço da infraestrutura

O projeto não previa nenhum tipo de reforço para infraestrutura dos apoios existentes.

2.2.4 Procedimentos de recuperação da estrutura existente

Além das intervenções de alargamento e reforço estrutural, o projeto de reabilitação previa intervenções de recuperação para a face inferior de longarinas, cortinas e transversinas que apresentavam problemas de armaduras exposta, e também para os pilares, vigas de contraventamento, tubulões e cintas que apresentavam desgaste superficial do concreto provocado por erosão nos elementos que ficam submersos durante as cheias do rio. Essas soluções foram baseadas em laudo de inspeção realizada no ano de 2000, cujo objetivo era atualizar as condições gerais da ponte, visto que os projetos foram elaborados em 1997 e as obras foram iniciadas apenas em 2002.

Para a recuperação da face inferior das longarinas, cortinas e transversinas, foi recomendada a seguinte sequência executiva: limpeza superficial do concreto em toda a face inferior do tabuleiro, com aplicação de hidrojateamento por bomba de alta pressão, tratamento de armaduras expostas/oxidadas através remoção dos óxidos, pintura da armadura com SikaTop 108 e aplicação de camada de argamassa projetada. A sequência executiva para a recuperação dos elementos desgastados superficialmente era: limpeza superficial do concreto, apicoamento e aplicação de argamassa traço 1:8 (cimento/areia).

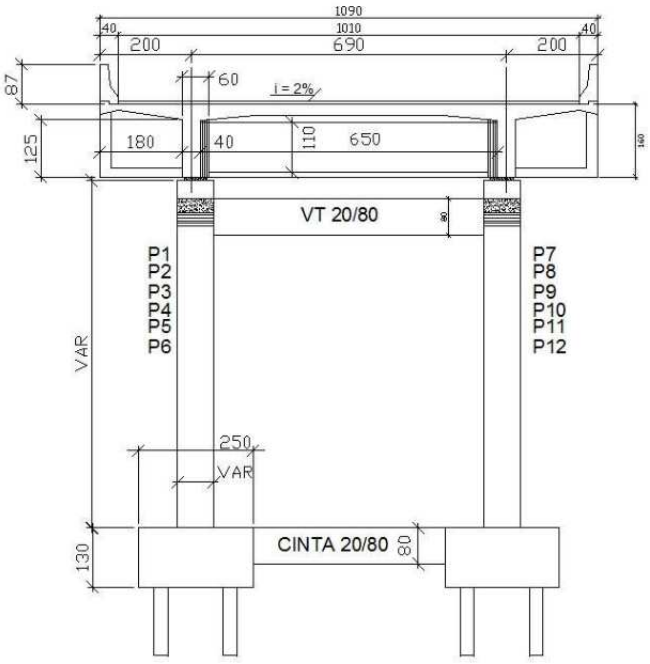
3. PONTE NOVA

3.1 Descrição da ponte nova

A ponte nova, Classe 45 toneladas, foi projetada em 1997 pelo DER-MG, órgão para o qual as obras de duplicação da rodovia BR-381 foram delegadas pelo extinto DNER, através de convênio. A obra foi implantada no período de janeiro de 2002 a novembro de 2003, servindo como desvio de tráfego durante as obras de reabilitação da ponte existente e a partir de fevereiro de 2005, passou a integrar pista decrescente da rodovia.

Esta ponte possui 87,0 metros de comprimento, com cinco vãos de 16,0 metros cada, além de dois balanços de 3,5 metros nas extremidades. Possui o mesmo sistema estrutural da ponte original e a mesma seção transversal da mesma após as intervenções de reabilitação. Sua fundação é profunda, composta por doze blocos apoiados em quatro estacas do tipo raiz (diâmetro de 300 mm nos apoios extremos e 400 mm nos demais) e unidos por cintas. A resistência característica à compressão do concreto era de 20 MPa para os elementos da infraestrutura e da superestrutura e de 16 MPa para os elementos da mesoestrutura; o cobrimento de armadura especificado era de 3,0 cm. A Figura 5 mostra a seção transversal com as características geométricas da ponte nova.

Figura 5 – Seção transversal da ponte nova.



Fonte: DNIT, 2005.

4. INSPEÇÕES ANTERIORES

Após a conclusão das obras de duplicação da rodovia, as primeiras inspeções foram realizadas pela concessionária Autopista Fernão Dias, responsável pela concessão deste segmento da rodovia a partir de abril de 2008. Inspeções rotineiras são realizadas anualmente e os respectivos relatórios são entregues à Agência Nacional de Transportes Terrestres – ANTT. Os principais danos identificados nas inspeções já realizadas são apresentados no Quadro 1.

Quadro 1 – Principais danos identificados nas inspeções já realizadas

Ponte	Ano	Danos Identificados
Reabilitada	2008	Pequena espessura do cobrimento, armaduras expostas e oxidadas nos apoios; Buzinotes danificados; Trincas na proteção dos taludes; Fissuras e infiltração nos balanços laterais da laje; Pequena espessura do cobrimento e armaduras expostas na face inferior das longarinas; Armadura exposta em tubulões; Fissuras no pavimento; Junta de dilatação danificada e obstruída pelo revestimento asfáltico.
Reabilitada	2009	Idem inspeção 2008
Reabilitada	2010	Juntas de dilatação danificadas e obstruídas pelo revestimento asfáltico; Armadura exposta em tubulões; Desagregação superficial do concreto na mesoestrutura.
Reabilitada	2011	Idem inspeção 2010
Reabilitada	2012	Fissuras na laje e na cortina; Tubulões aparentes, com concreto disgregado, armadura exposta e oxidada.
Reabilitada	2013	Juntas de dilatação com berços, lábios poliméricos e perfis elastoméricos rompidos; Tubulões aparentes, com concreto desagregado, armadura exposta e oxidada; Concreto desagregado com armadura exposta em longarina; Fissuras na laje e na cortina; Fissuras e deterioração na base do talude no encontro Norte.
Reabilitada	2014	Idem inspeção 2013
Reabilitada	2015	Fissuras nos balanços laterais da laje; Fissuras no pavimento; Juntas de dilatação deterioradas e obstruídas por revestimento asfáltico.
Nova	2008	Acúmulo de material e erosão no concreto das estacas dos apoios submersos; Sinais de erosão nos taludes e nas margens do rio; Acúmulo de água no acostamento; Fissuras e infiltrações na laje; Fissuras nas faces laterais das longarinas; Trincas transversais no pavimento; Juntas de dilatação obstruídas por revestimento asfáltico.
Nova	2009	Idem inspeção 2008
Nova	2010	Fissuras no concreto de proteção superficial dos taludes; Juntas de dilatação deterioradas e obstruídas pelo revestimento asfáltico; Algumas falhas nos reparos realizados nas fissuras das longarinas e da laje; Corrosão de armadura pontual na cortina; Concreto desagregado em pilares e vigas de contraventamento.
Nova	2011	Idem inspeção 2010
Nova	2012	Idem inspeção 2010, com exceção das fissuras da proteção dos taludes e das juntas de dilatação que foram recuperadas; Buzinotes curtos.
Nova	2013	Idem inspeção 2012; Juntas de dilatação com berços, lábios poliméricos e perfis elastoméricos rompidos; Pavimento deteriorado em ponto localizado e fissuras no acostamento.
Nova	2014	Acúmulo de galhos nos blocos e estacas; Juntas de dilatação obstruídas por revestimento asfáltico; Pavimento deteriorado em ponto localizado e fissuras no acostamento; Danos no concreto da face inferior da longarina, devido à colisão veicular (retorno irregular).
Nova	2015	Idem inspeção 2014

5. RESULTADO DAS INSPEÇÕES DE 2017

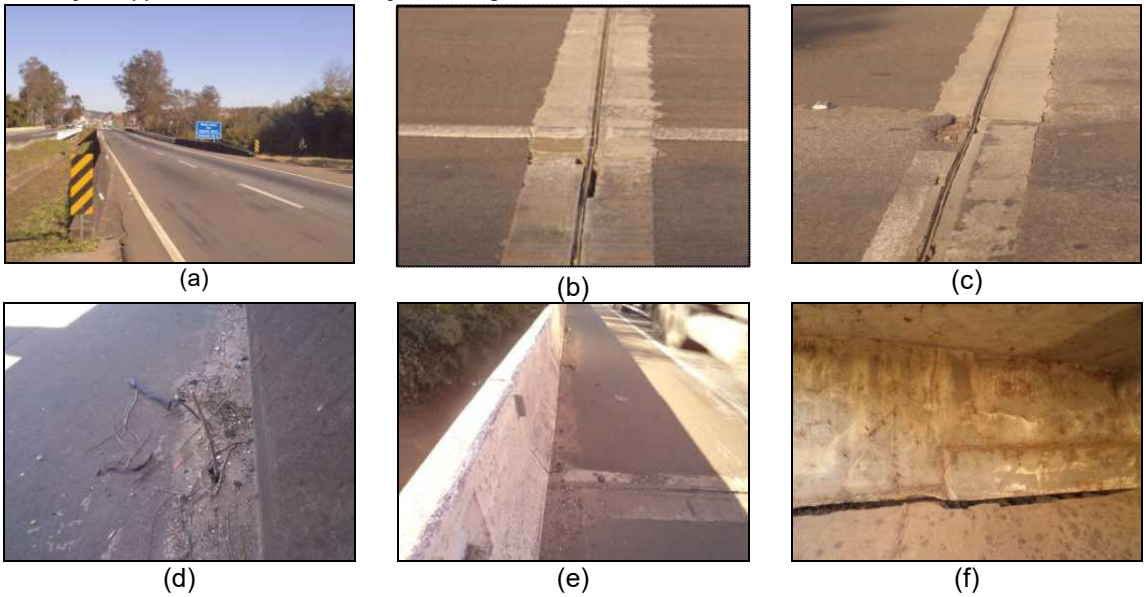
As pontes foram vistoriadas no dia 28 de julho de 2017, treze anos e oito meses após a construção da ponte nova e doze anos e cinco meses após as intervenções de alargamento e reforço da ponte antiga. Foram realizadas inspeções visuais, seguindo os critérios estabelecidos pelas normas NBR 9452 (ABNT, 2016) e DNIT 010/2004 – PRO (DNIT, 2004b), com o objetivo de avaliar o estado atual das duas pontes, utilizando-se equipamentos considerados comuns (ferramentas para atividades de limpeza, inspeção, melhoria de visão, medição e registro). Foram realizados também ensaios não destrutivos de pacometria para verificação das espessuras de cobrimento das armaduras, por meio de um equipamento detector de metais da marca Bosch, modelo D-tect 150 Professional. Serão apresentados a seguir os principais danos e/ou anomalias identificados em cada elemento constituinte das pontes avaliadas.

5.1 Inspeção realizada na ponte reabilitada

5.1.1 Pista de rolamento

De maneira geral, a pista de rolamento apresentava boas condições, existindo apenas algumas irregularidades no pavimento, especialmente nas juntas de dilatação. Estas se encontravam deterioradas, com o rompimento parcial do berço, dos lábios poliméricos e do material de vedação, causando desconforto ao motorista e ao mesmo tempo possibilitando a infiltração de água da pista nos elementos da superestrutura. Foi identificada uma trinca longitudinal no acostamento, ao lado das barreiras de segurança nas pistas de acesso, provocada por um leve assentamento do aterro sob essas barreiras. Existiam também detritos no acostamento e sobre as juntas de dilatação, que propicia o acúmulo de umidade e podem obstruir algum dispositivo de drenagem da ponte. As barreiras de segurança estavam em bom estado de conservação, apresentando apenas algumas manchas escuras devido ao acúmulo de fuligem atmosférica. As cortinas estavam em boas condições, apresentando apenas algumas manchas de infiltração. Verificou-se a existência de uma pequena fresta entre o fundo da cortina e o concreto da proteção superficial do talude, indicando que houve um leve assentamento do aterro abaixo da cortina, mas que não acarretou nenhum desnível na pista de rolamento. A Figura 6 mostra as condições da pista de rolamento, incluindo estrutura de contenção, dispositivos de sinalização e segurança viária.

Figura 6 – Condições da pista de rolamento. (a) Vista geral da pista de rolamento, (b) Junta de dilatação danificada, (c) Junta de dilatação indevidamente reparada com massa asfáltica, (d) Trinca e acúmulo de detritos no acostamento e manchas escuras na barreira de segurança, (e) Acúmulo de detritos sobre a junta de dilatação, (f) Manchas de infiltração de água na cortina e sinais de um leve afundamento do aterro.



(a) (b) (c)

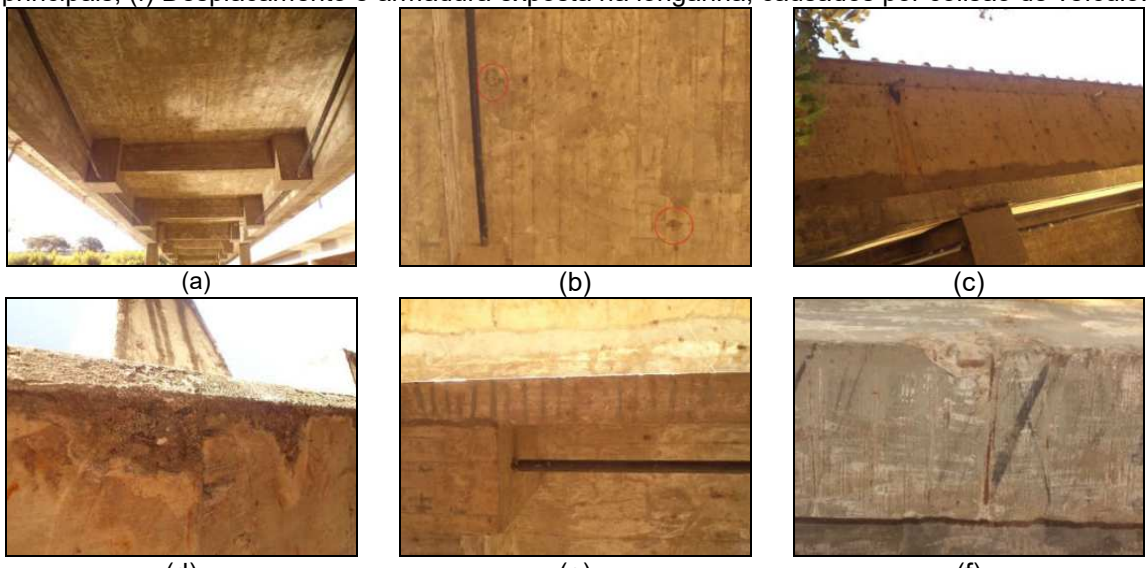
(d) (e) (f)

5.1.2 Superestrutura

A superestrutura encontra-se em bom estado de conservação. Foram identificados apenas alguns danos que não comprometem sua integridade estrutural, mas que precisam ser tratados a fim de prolongar a sua vida útil. O principal dano refere-se aos balanços laterais da laje, onde existem diversos pontos de percolação de água pela face inferior da laje, devido ao mau funcionamento de drenos e pingadeiras. A presença de água na superfície inferior da laje pode resultar no fenômeno da lixiviação, aumentando a porosidade do concreto, diminuindo sua resistência e o tornando mais vulnerável a outros ataques (HELENE, 2003). Foram identificados ainda alguns desplacamentos pontuais provocados por corrosão de armadura. Nas longarinas, verificou-se a existência de armaduras expostas em sua face inferior. Esse problema já havia sido identificado na inspeção ocorrida antes da reabilitação e o projeto de recuperação previa a aplicação de argamassa projetada, mas houve apenas o tratamento das armaduras com pintura, que interrompeu o processo de corrosão, mas manteve-as aparentes. Identificou-se um pequeno

desplacamento causado por colisão de veículo, com armadura exposta, devido existência de um retorno clandestino sob essas pontes. As medições realizadas com o pacômetro apresentaram espessuras de cobrimento insuficientes nas longarinas, transversinas e na laje, inclusive na sua parte alargada. Esses danos são mostrados na Figura 7.

Figura 7 – Principais danos identificados na superestrutura. (a) Vista inferior do tabuleiro, (b) Pontos de corrosão de armadura, com desplacamentos na laje (c) Falha nos drenos, (d) Concreto deteriorado na extremidade lateral da laje, devido à falha na pingadeira, (e) Armaduras expostas na face inferior das vigas principais, (f) Desplacamento e armadura exposta na longarina, causados por colisão de veículo.



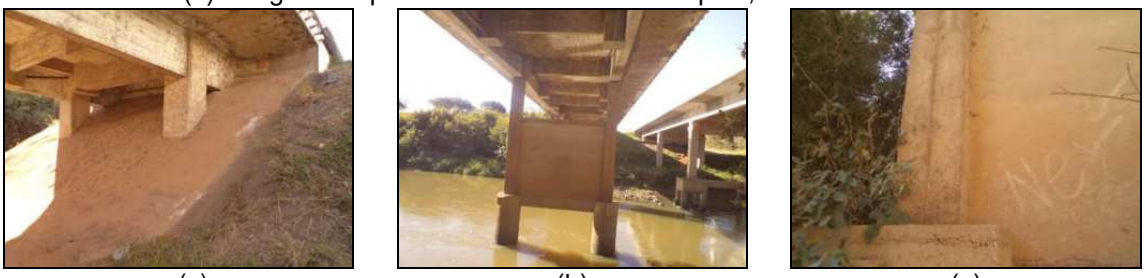
(a) (b) (c)

(d) (e) (f)

5.1.3 Mesoestrutura

As vigas de contraventamento dos pilares receberam a adição de nova camada de argamassa e os pilares extremos receberam acréscimo de seção transversal, deixando-os em excelente estado de conservação. Foi identificado apenas um leve desgaste superficial do concreto provocado por erosão nos elementos que estão sujeito à inundação nos períodos de cheia. Foram constadas baixas espessuras de cobrimento nos pilares intermediários, que não receberam aumento de seção e também nas vigas de contraventamento, através dos ensaios de pacometria. A Figura 8 mostra a situação da mesoestrutura.

Figura 8 – Situação da mesoestrutura. (a) Vista dos pilares extremos, (b) Vista dos pilares intermediários, (c) Desgaste superficial do concreto de um pilar, devido à erosão.



(a) (b) (c)

5.1.4 Infraestrutura

A infraestrutura encontra-se aparentemente em bom estado de conservação, considerando que não há nenhum sinal de recalque ou deslocamento de fundação em toda a ponte. Existe apenas um desgaste superficial provocado por erosão nos tubulões dos apoios submersos e nas cintas que unem esses elementos. Esse desgaste não afeta a integridade desses elementos, mas pode comprometer a sua durabilidade. Recomenda-se uma inspeção subaquática para monitoramento das condições da fundação,

uma vez que foi observada a formação de redemoinhos próximos a alguns tubulões, que podem provocar o seu solapamento. Os taludes dos encontros possuem proteção superficial em concreto nos dois lados e encontram-se em ótimas condições. A Figura 9 mostra os danos identificados na infraestrutura desta ponte.

Figura 9 – Danos identificados na mesoestrutura. (a) Desgaste superficial da cinta que une os tubulões, devido à erosão, (b) Erosão e formação de redemoinhos próximos aos tubulões submersos.



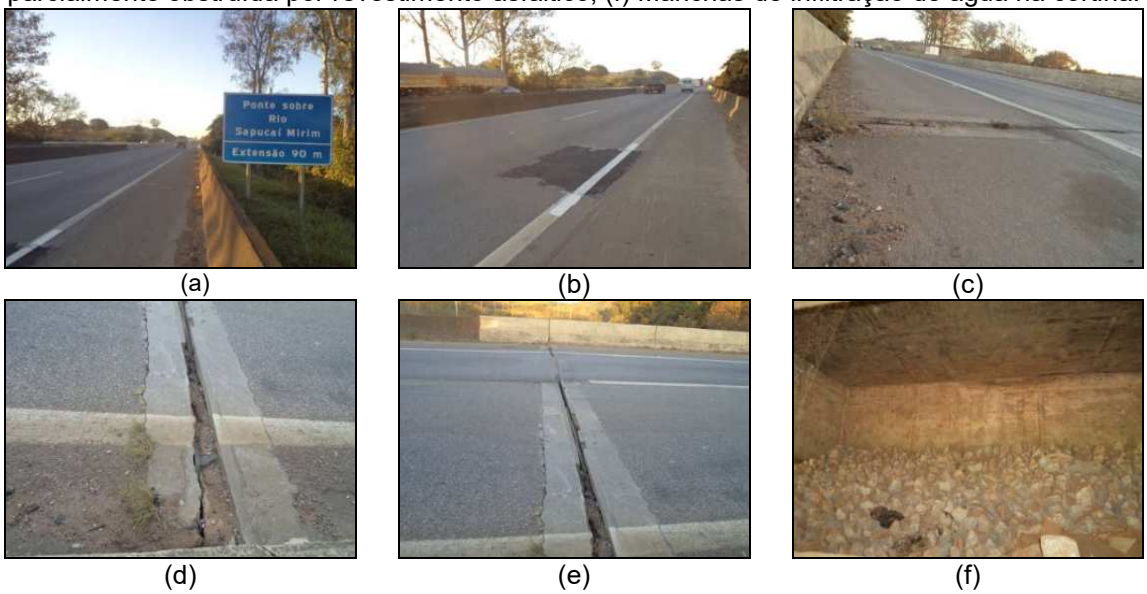
(a) (b)

5.2 Inspeção realizada na ponte nova

5.2.1 Pista de rolamento

O principal dano identificado nesta ponte refere-se a um leve degrau existente no encontro do tabuleiro com o terrapleno, que provoca desconforto ao motorista e acréscimo no impacto da carga acidental. Esse degrau é causado por um leve assentamento do aterro na pista de acesso, provavelmente amenizado pela existência de lajes de transição. Existiam ainda pequenas irregularidades e alguns remendos no pavimento. As juntas de dilatação se encontravam deterioradas, com rompimento parcial do berço, dos lábios poliméricos e do material de vedação, possibilitando a infiltração de água da pista. Existiam detritos e vegetação no acostamento e sobre as juntas de dilatação, que propiciam o acúmulo de umidade, a biodeterioração do concreto e a obstrução de drenos da pista. As barreiras de segurança estavam em bom estado de conservação, apresentando apenas algumas manchas escuras devido ao acúmulo de fuligem atmosférica. As cortinas estavam em boas condições, apresentando apenas algumas manchas de infiltração. A Figura 10 mostra as condições da pista de rolamento, incluindo estrutura de contenção, dispositivos de sinalização e segurança viária.

Figura 10 – Condições da pista de rolamento. (a) Vista geral da pista de rolamento, (b) Remendo no pavimento, (c) Degrau existente entre o tabuleiro e o terrapleno e acúmulo de detritos sobre a junta de dilatação, (d) Junta de dilatação deteriorada, com detritos e vegetação, (e) Junta de dilatação deteriorada e parcialmente obstruída por revestimento asfáltico, (f) Manchas de infiltração de água na cortina.



(a) (b) (c)

(d) (e) (f)

5.2.2 Superestrutura

A superestrutura da ponte nova apresentou somente danos relacionados ao parâmetro da durabilidade. Os principais danos se concentraram nos balanços laterais da laje, onde existem diversos pontos de percolação de água pela face inferior da laje, devido ao mau funcionamento de drenos e pingadeiras. Essa exposição indevida está causando, além de manchas escuras, a deterioração do concreto em alguns pontos da laje. Havia também uma falha de concretagem decorrente de serviços de recuperação executados anteriormente na face inferior da laje. Verificou-se a ocorrência de diversas fissuras de retração na laje e nas faces laterais das longarinas, que já foram recuperadas, mas em alguns locais houve reincidência. Foi observado ainda o surgimento de manchas de eflorescência na face inferior de uma longarina. Nos ensaios de pacometria, verificou-se cobrimento insuficiente nas faces externas e inferiores de uma das longarinas e também nas transversinas. Os principais danos identificados são mostrados na Figura 11.

Figura 11 – Principais danos identificados na superestrutura. (a) Vista inferior do tabuleiro, (b) Concreto deteriorado na extremidade lateral da laje, devido à falha na pingadeira, (c) Falha no funcionamento dos drenos, (d) Falha de concretagem na face inferior da laje, (e) Fissuras de retração nas vigas principais, já recuperadas, (f) Manchas de infiltração e eflorescência na face inferior de uma viga principal.



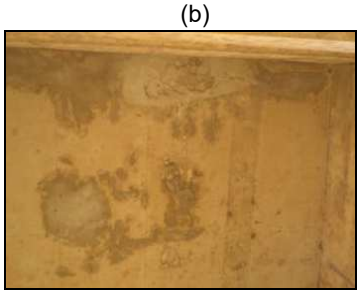
(b)



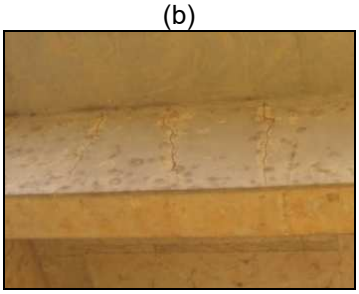
(b)



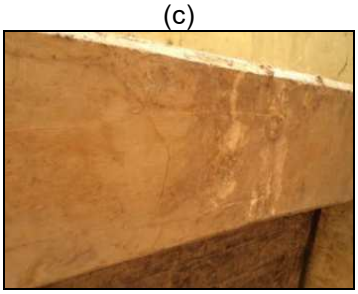
(c)



(d)



(e)



(f)

5.2.3 Mesoestrutura

Os elementos da mesoestrutura estavam em ótimas condições de conservação. Foi identificado apenas um desplacamento pontual com exposição de armadura em uma viga de contraventamento, além de algumas manchas de infiltração nas vigas de contraventamento. Embora não existam problemas patológicos nos pilares relacionados à corrosão de armadura, todos que foram submetidos ao ensaio de pacometria apresentaram baixas espessuras de cobrimento. A Figura 12 mostra a situação da mesoestrutura.

Figura 12 – Situação da mesoestrutura. (a) Vista dos pilares extremos, (b) Vista dos pilares intermediários, com algumas manchas de infiltração, (c) Desplacamento em uma viga de contraventamento.



(b)



(b)

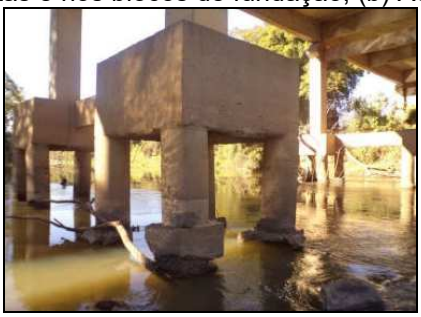


(c)

5.2.4 Infraestrutura

A infraestrutura encontra-se aparentemente em bom estado de conservação, considerando que não há nenhum sinal de recalque ou deslocamento de fundação em toda a ponte. Foi detectado apenas um desgaste superficial do concreto, devido à erosão, nos blocos de fundação e na proteção das estacas aparentes. Foi identificada também a formação de redemoinhos nas proximidades das estacas, que podem provocar o seu solapamento. Recomenda-se uma inspeção subaquática para monitoramento das condições da fundação. Os taludes dos dois encontros possuem proteção superficial em concreto e estão em perfeitas condições. A situação da infraestrutura desta ponte é mostrada na Figura 13.

Figura 13 – Situação da infraestrutura. (a) Desgaste superficial do concreto nos encamisamentos das estacas expostas e nos blocos de fundação, (b) Acúmulo de galhos e detritos nos blocos de fundação.



(b)



(b)

6. CONCLUSÕES

De maneira geral, as duas pontes tiveram um desempenho satisfatório, não existindo nenhum dano significativo que possa afetar a sua integridade estrutural ou a sua funcionalidade. Analisando os dados obtidos durante as inspeções, verifica-se que a ponte reabilitada teve um desempenho ligeiramente superior à ponte nova no que se refere ao nível de deterioração. Portanto, pode-se concluir que neste caso o aproveitamento da estrutura antiga se mostrou viável sob o ponto de vista da durabilidade.

Verificou-se a ocorrência de danos comuns às duas pontes. Os sistemas de drenagem se mostraram ineficientes, não conseguindo atingir o objetivo de coletar a água pluvial da pista e proteger a superestrutura das pontes. Segundo Mehta e Monteiro (2008), a água é o fator central para a maioria dos problemas de durabilidade do concreto, podendo causar a sua degradação por processos físicos e/ou químicos, além da corrosão da armadura. Esse mau funcionamento de pingadeiras e drenos vem causando a deterioração do concreto na face inferior da laje nos balanços laterais. Além disso, as juntas de dilatação de ambas as pontes apresentam danos que comprometem a durabilidade da estrutura e causam desconforto aos motoristas. Esses danos já haviam sido detectados desde as inspeções ocorridas em 2013, apesar de terem sido substituídas no ano anterior, o que demonstra a necessidade de um controle de qualidade mais rigoroso durante a execução dos serviços de reparo.

As atividades de manutenção exercem um papel fundamental para a durabilidade da estrutura de concreto (DNIT, 2010). O estudo mostrou a importância das atividades de manutenção das pontes, que além de garantir a segurança e o conforto dos usuários da rodovia através da execução de serviços de limpeza de pista, devem incluir também pequenos serviços corretivos, com baixo custo e grande impacto na durabilidade da estrutura. O bom desempenho dessa ponte pode ser atribuído, além do sucesso das intervenções de reabilitação, à manutenção satisfatória que vem sendo realizada pela concessionária responsável por este segmento da rodovia desde 2008. Analisando as informações extraídas das fichas de inspeções anteriores, verifica-se que alguns danos surgiram e foram sanados ao longo dos anos, contribuindo para o aumento da vida útil de ambas as pontes.

As intervenções alargamento do tabuleiro com protensão transversal da laje foram satisfatórias, visto que não houve nenhum tipo de dano na superestrutura em função deste alargamento. O reforço também pode

ser considerado bem-sucedido, tendo em vista a ponte não apresentou nenhum dano de natureza estrutural e os elementos de reforço (blocos, vigas e cabos de protensão) encontram-se em perfeito estado de conservação. A solução adotada para reforço da superestrutura com protensão externa das longarinas e protensão transversal da laje contribuiu ainda para o aumento da sua vida útil, pois ao aplicar a força de compressão nesses elementos, as fissuras existentes foram eliminadas e evitou-se o surgimento de novas fissuras no concreto. Além disso, o aumento da seção transversal dos pilares extremos contribuiu para o tratamento dos danos existentes e também para o aumento sua vida útil ao incorporar novas armaduras e camadas de cobrimento com espessuras adequadas.

Considerando que as intervenções de alargamento e reforço estrutural foram bem-sucedidas, somados ao bom desempenho geral da ponte, pode concluir que a reabilitação foi eficaz. No entanto, a ponte reabilitada poderia ter apresentado resultados ainda melhores se todos os procedimentos de recuperação tivessem sido executados em conformidade com o projeto, sobretudo a aplicação de camada de argamassa na face inferior das longarinas. O projeto de recuperação também deveria ter sido mais abrangente, com previsão de intervenções em todos os elementos que não receberam reforço estrutural. Um tratamento adequado de todos os elementos garantiria um acréscimo da vida útil da ponte como um todo e, consequentemente, um resultado similar a uma ponte nova em relação ao parâmetro da durabilidade.

7. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 7180: Carga móvel em ponte rodoviária e passarela de pedestre**. Rio de Janeiro, 1984.

___. **NBR 9452: Inspeção de pontes, viadutos e passarelas de concreto**. Rio de Janeiro, 2016.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES – DNIT. **Manual de Inspeção de Pontes rodoviárias**. Rio de Janeiro, 2004a.

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

___. **Norma DNIT 010/2004 – PRO – Inspeções em pontes e viadutos de concreto armado e protendido - Procedimento**. Rio de Janeiro, 2004b.

HELENE, Paulo (ed.). **Manual de Reabilitação de Estruturas de Concreto: Reparo, Reforço e Proteção**. Red Rehabilitar, São Paulo, 2003.

MEHTA, P. Kumar; MONTEIRO, Paulo.J.M. **Concreto, microestrutura, propriedades e materiais**. Tradução: Paulo Helene et al. 3.Ed. São Paulo: IBRACON, 2008.

OLIVEIRA, C.B.L. **Análise da eficácia de métodos de reforço de pontes rodoviárias de concreto armado**. Dissertação – Curso de Pós-Graduação em Construção Civil, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, 2013.

TRIBUNAL DE CONTAS DA UNIÃO – TCU. **Acordão 725/2012– Plenário**. Brasília, 2012.

VITÓRIO, J.A.P.; BARROS, R.M.M.C. **Métodos Mais Utilizados para Alargamentos e Reforço de Obras de Arte Especiais no Brasil**. Encontro Nacional Betão Estrutural. Porto, Portugal, 2012.

VITÓRIO, J.A.P.; BARROS, R.M.M.C. **A utilização do Eurocódigo em Projetos de Alargamento e Reforço de Pontes Rodoviárias de Concreto**. VII Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas. Rio de Janeiro, RJ, 2014.