

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPTO. DE ENGENHARIA DE MATERIAIS E CONSTRUÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CONSTRUÇÃO CIVIL
MESTRADO EM CONSTRUÇÃO CIVIL

ANÁLISE DA EFICÁCIA DE MÉTODOS
DE REFORÇO DE PONTES RODOVIÁRIAS
EM CONCRETO ARMADO

Caroline Buratto de Lima e Oliveira

Belo Horizonte
2013

Caroline Buratto de Lima e Oliveira

**ANÁLISE DA EFICÁCIA DE MÉTODOS
DE REFORÇO DE PONTES RODOVIÁRIAS
DE CONCRETO ARMADO**

Dissertação apresentada ao programa de Pós-graduação em Construção Civil da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Construção Civil.

Área de concentração: Materiais de Construção Civil.

Linha de Pesquisa: Materiais Cimentícios

Orientador: Prof. Dr. José Márcio Fonseca Calixto

Belo Horizonte

Escola de Engenharia da UFMG

2013

O48a Oliveira, Caroline Buratto de Lima e
Análise da eficácia de métodos de reforço de pontes rodoviárias de
concreto armado [manuscrito] / Caroline Buratto de Lima e Oliveira. – 2013.
222 f., enc.: il.

Orientador: José Márcio Fonseca Calixto.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Escola
de Engenharia.

Anexos: f. 203-222.

Bibliografia: f. 199-202.

1. Construção civil – Teses. 2. Materiais de construção – Teses. 3.
Pontes de concreto - Teses. I. Calixto, José Márcio Fonseca. II. Universidade
Federal de Minas Gerais. Escola de Engenharia. III. Título.

CDU: 624.2/8 (043)

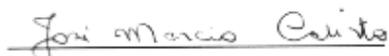
UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
ESCOLA DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CONSTRUÇÃO CIVIL

ANÁLISE DA EFICÁCIA DE MÉTODOS
DE REFORÇO DE PONTES RODOVIÁRIAS
DE CONCRETO ARMADO

Caroline Buratto de Lima e Oliveira

Dissertação apresentada ao programa de Pós-graduação em Construção Civil da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Construção Civil.

Comissão examinadora:



Prof. Dr. José Marcio Fonseca Calixto
DEES / UFMG – (Orientador)



Prof. Dr. Sebastião Salvador Real Pereira
DEES / UFMG



Prof. Dr. Giuseppe Barbosa Guimarães
PUC / RJ

Belo Horizonte, 05 de setembro de 2013

Dedico este trabalho ao grande amor da minha vida, Leonardo, ao nosso maior amor, Helena e para quem está chegando...

Agradecimentos

Ao professor e orientador José Marcio Fonseca Calixto, pelo pleno exercício do educador, pela capacidade de reflexão e análise, contribuindo ao trabalho para além das questões técnicas, despertando em mim o desejo de obter conhecimento para mudança de pensamento e libertação intelectual.

A minha família: ao Leonardo, meu marido, pelo companheirismo e apoio, à minha mãe pelo incentivo incondicional, ao meu pai pela minha formação estudantil e à minha irmã pela amizade. Ao querido Leiviton Renato Constant de Oliveira pelo total apoio e preciosa ajuda a este trabalho.

Às colegas Dra. Janaína Barbosa e a Engenheira Carolina Mucci pela orientação que tornou possível a elaboração deste trabalho. Aos engenheiros Álvaro Campos de Carvalho e José Maria da Cunha pelas autorizações de cursar as disciplinas e do período para dedicação exclusivo a dissertação. Ao colega e engenheiro Altamir Augusto Costa, pelo incentivo e companheirismo durante o curso. Ao Engenheiro Wilton Baptista pelas contribuições com sua experiência e vivência na engenharia rodoviária.

Ao Engenheiro Cláudio Viola, à engenheira Patrícia Suarez e o Engenheiro Cornélio pela prontidão da ajuda com o material deste trabalho.

Ao engenheiro Wagner Antônio Gonçalves da Silva, da Divisão de Pontes e Estruturas do DER/MG, pelo total apoio ao trabalho, ajudando na busca por informações imprescindíveis.

Aos Engenheiros do DNIT, Márcio Gusmão, Vinícius Pires da Silva, José Barros Júnior e Mônica Las-Casas Tavares pelo material cedido para o estudo, pelo companheirismo, apoio e ajuda. Aos engenheiros do Instituto de Pesquisas Rodoviárias, Dra. Prepredigna Delmiro Elga Almeida da Silva e Dr. Jorge Nicolau Pedro.

Em especial a amiga e engenheira Msc. Rosana Maria Rennó Sommer Gambogi, pela amizade, compartilhamento da sua experiência e apoio nas diversas fases deste trabalho.

“When, after several hours reading, I came to myself again, I asked myself what it was that had so fascinated me. The answer is simple. The results were not presented as ready-made, but scientific curiosity was first aroused by presenting contrasting possibilities of conceiving matter. Only then the attempt was made to clarify the issue by thorough argument. The intellectual honesty of the author makes us share the inner struggle in his mind. It is this which is the mark of the born teacher. Knowledge exists in two forms - lifeless, stored in books, and alive, in the consciousness of men. The second form of existence is after all the essential one; the first, indispensable as it may be, occupies only an inferior position”. Einstein, 1954.

RESUMO

A malha rodoviária nacional é constituída em grande parte de pontes construídas anteriormente a 1984, as quais possuem capacidade portante incompatível com o tráfego que se utiliza atualmente nas rodovias federais. Diversas dessas pontes foram objeto de obras de reforço estrutural, mas estatisticamente, este número ainda é pequeno quando comparado ao grande número de pontes existentes. Diversos métodos são empregados para o reforço de pontes de concreto armado. A escolha do método consiste no resultado de diversas variáveis, tais como a análise das características intrínsecas de cada construção, do meio onde está inserida, da sua finalidade, de estudos de viabilidade e finalmente, da análise do custo-benefício. Este trabalho propõe a avaliação da eficiência de métodos de reforço executados em pontes de concreto armado por meio de vistorias posteriores à intervenção. Foram escolhidas quatro pontes para o estudo com intervenções executadas há pelo menos 6 anos. A análise dos resultados colhidos proporcionará o conhecimento da eficácia dos diversos tipos de intervenções realizadas, o que certamente irá contribuir para aumentar a vida útil das pontes da malha rodoviária brasileira.

Palavras-chave: pontes de concreto armado, métodos de reforço, avaliação de procedimentos.

ABSTRACT

The Brazilian highway system consists largely of bridges constructed prior to 1984. These bridges are under strength with respect to today's traffic. Consequently some of them were strengthened, but their number is still statistically small compared to the total amount of existing bridges. Several methods are used for strengthening reinforced concrete bridges. The choice of method is the result of many variables, such as the analysis of the intrinsic characteristics of each bridge, the surrounding environment, and finally the cost-benefit analysis. In this scenario, the object of this dissertation is the analysis of the efficiency of the strengthening procedures executed in reinforced concrete bridges, based on inspections conducted afterwards. Four bridges were chosen for the study, which have been strengthened for at least 6 years. The collected data provide knowledge of how efficient the different strengthening procedures are. This will certainly contribute in the long term to a better selection of the strengthening procedures which in turn will extend the service life of existing bridges.

Keywords: reinforced concrete bridges, strengthening procedures, efficiency evaluation

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Principais elementos de uma ponte rodoviária.....	26
Figura 2.2 – Dimensões da seção transversal de pontes relacionadas na tabela 2.1	27
Figura 2.3 – Execução de estaca tipo raiz	54
Figura 3.1 – Etapas do trabalho de pesquisa	62
Figura 4.1 – (a) Localização do Brasil. (b) Localização da BR-135. (c) Localização da mesorregião Central Mineira. (d) Localização da Ponte sobre o Córrego do Leitão e da Cidade de Curvelo.	64
Figura 4.2 – Detalhes do projeto original da ponte sobre o Córrego do Leitão	66
Figura 4.3 – Registro fotográfico das patologias da ponte do Córrego do Leitão na vistoria especial	69
Figura 4.4 – Detalhes da demolição e da reconstrução da laje do tabuleiro.....	71
Figura 4.5 – Corte da seção transversal das longarinas.....	72
Figura 4.6 - Relatório fotográfico da execução das intervenções realizadas na laje do estrado e nas longarinas.	74
Figura 4.7 – Localização das transversinas do encontro e da região de apoio do encontro.....	74
Figura 4.8 – Detalhes do encontro (a) Nivelamento e recomposição do encontro. (b) Detalhe do novo aparelho de apoio em neoprene fretado.....	75
Figura 4.9 – Registro fotográfico das intervenções realizadas no encontro e na transversina do encontro	75
Figura 4.10 – Registro da execução dos do reforço dos pilares	76
Figura 4.11 – Novo sistema de fundação para reforço da estrutura.	77
Figura 4.12 – Detalhes do novo bloco de fundação	77
Figura 4.13 – Detalhe do chumbador para ancoragem dos pilares no novo bloco de fundação	77
Figura 4.14 - Execução do reforço da infraestrutura.	78

Figura 4.15 – Detalhe da barreira tipo New Jersey	79
Figura 4.16 – Registro fotográfico da execução da sobre-laje.	80
Figura 4.17 – Condições do pavimento, do sistema de drenagem e das barreiras New Jersey	83
Figura 4.18 – Patologias identificadas nas regiões dos encontros.....	86
Figura 4.19 – Situação dos elementos da parte inferior do tabuleiro.	88
Figura 4.20 – Situação dos pilares e blocos de reforço	89
Figura 4.21 – (a) Localização do Brasil. (b) Localização da BR-381. (c) Localização da Mesorregião do Vale do Rio Doce. (d) Localização da Mesorregião Metropolitana de Belo Horizonte. (e) Localização das cidades ao longo do eixo da BR-381/MG e das pontes escolhidas.	95
Figura 4.22 - Projeto original da ponte sobre o Córrego Jaguaraçú	98
Figura 4.23 – Relatório fotográfico da inspeção na ponte sobre o Córrego Jaguaraçú realizada em março de 2005.....	100
Figura 4.24 – Registro fotográfico das patologias da ponte do Córrego Jaguaraçú na vistoria especial	103
Figura 4.25 - Reforço da longarina do lado a montante, no vão central.	105
Figura 4.26 - Detalhes do aumento de seção dos pilares centrais e dos extremos	106
Figura 4.27 – Novo sistema de fundações para reforço da estrutura.....	108
Figura 4.28 – Detalhe típico do ancoramento entre a nova e velha estrutura	109
Figura 4.29 – Registro fotográfico do tratamento das armaduras da ponte.....	111
Figura 4.30 – Registro fotográfico da condição final da obra após os serviços de reforço...	112
Figura 4.31 – Condições do pavimento, do sistema de drenagem e dos guarda-corpos	115
Figura 4.32 – Relatório fotográfico dos encontros e aparelhos de apoio	116
Figura 4.33 – Registro fotográfico dos elementos da parte inferior do tabuleiro.....	118
Figura 4.34 – Registro fotográfico dos pilares e elementos da infraestrutura.....	119
Figura 4.35 – Características geométricas da ponte sobre o rio Piracicaba	125

Figura 4.36 – Detalhes dos pilares e do esquema de fundação do projeto original da ponte sobre o rio Piracicaba	127
Figura 4.37 – Registro fotográfico da situação da ponte sobre o rio Piracicaba na vistoria especial de março de 2005.....	129
Figura 4.38 – Localização do sistema de protensão externa do tabuleiro.	131
Figura 4.39 – Ancoragens e desviadores do sistema de protensão.....	131
Figura 4.40 – Detalhes do sistema de protensão	131
Figura 4.41 – Detalhes da estrutura do vão adicional para prolongamento da ponte.....	133
Figura 4.42 – Detalhe do encontro entre as estruturas da ponte existente e do vão adicional	133
Figura 4.43 – Seção transversal do pilar de concreto do vão adicional.....	134
Figura 4.44 – Registro fotográfico da fase executiva do vão adicional da ponte.....	135
Figura 4.45 – Detalhe genérico da conexão da estrutura existente com a estrutura de reforço dos pilares	136
Figura 4.46 – Projeto do sistema de reforço do pilar P1	137
Figura 4.47 – Pilar P1 e o novo bloco de fundação.....	138
Figura 4.48 – Projeto do sistema de reforço do pilar P2	139
Figura 4.49 – Vista do pilar P2 após o reforço.....	139
Figura 4.50 – Projeto do sistema de reforço do pilar P5	140
Figura 4.51 – Novos consoles para elevação tabuleiro lado da ponte de Governador Valadares	142
Figura 4.52 – Detalhes dos consoles nos pilares P5, P6 e P7 para instalação de macacos hidráulicos para troca dos aparelhos de apoio	142
Figura 4.53 – Detalhe da instalação do aparelho de apoio para o pilar P1.....	143
Figura 4.54 – Procedimento de troca dos aparelhos de apoio para o pilar P2.....	144
Figura 4.55 – Desenho esquemático das posições dos deslocamentos do concreto na laje superior da ponte, da área a ser demolida com respectiva armadura de reforço.....	144

Figura 4.56 – Injeção de resina epoxídica tixotrópica para tratamento de fissuras existentes no pilar P2.....	147
Figura 4.57 – Localização e detalhe da barreira do tipo New Jersey	147
Figura 4.58 – Registro fotográfico do sistema de contenção da encosta do lado da ponte de Belo Horizonte.....	149
Figura 4.59 – Condições da pista, do sistema de drenagem e das barreiras New Jersey da ponte sobre o rio Piracicaba.....	153
Figura 4.60 – Condições dos encontros e dos aparelhos de apoio	156
Figura 4.61 – Registros de armaduras expostas na face inferior do caixão e marcas d’água nas regiões do balanço e na face lateral do caixão.....	158
Figura 4.62 – Registro do estado dos pilares e dos blocos	160
Figura 4.63 – Detalhes do projeto original do viaduto de acesso a Bela Vista de Minas	166
Figura 4.64 – Relatório fotográfico da inspeção no viaduto de acesso a Bela Vista de Minas realizada em março de 2005	168
Figura 4.65 – Relatório fotográfico da inspeção ao viaduto de acesso a Bela Vista de Minas realizada em janeiro de 2007	173
Figura 4.66 – Croquis com a proposta do sistema de escoramento provisório da longarina danificada.....	174
Figura 4.67 – Detalhes do projeto para aumento da seção da longarina e do sistema de elevação do vão	178
Figura 4.68 – Relatório fotográfico das intervenções no vão do extremo Belo Horizonte. Sentido Governador Valadares – Belo Horizonte	179
Figura 4.69 – Detalhe dos bicos de injeção da resina epóxi.....	179
Figura 4.70 – Rebaixamento de pista de acesso à via sob o viaduto.....	180
Figura 4.71 – Viaduto de acesso a Bela Vista de Minas - estado do pavimento e dos guarda-corpos.	181

Figura 4.72 – Registro fotográfico do estado dos elementos inferiores do tabuleiro, pilares e
encontros..... 184

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Características das pontes rodoviárias brasileiras de acordo com a data da construção.....	28
Tabela 2.2 – Tipo dos equipamentos comuns usados em inspeções.	35
Tabela 3.1 – Obras escolhidas para a pesquisa que atenderam ao critério estipulado.	61
Tabela 4.1 – Características do projeto original da Ponte sobre o Córrego do Leitão	65
Tabela 4.2 – Providências necessárias sugeridas pelo relatório da vistoria especial	70
Tabela 4.3 – Características do projeto original da Ponte sobre o Córrego Jaguaraçú	97
Tabela 4.4 – Providências necessárias sugeridas pelo relatório da vistoria especial	104
Tabela 4.5 – Características do projeto original da Ponte sobre o Rio Piracicaba	124
Tabela 4.6 – Providências necessárias sugeridas pelo relatório da vistoria especial	129
Tabela 4.7 – Seqüência executiva dos serviços de reforço da ponte sobre o rio Piracicaba .	149
Tabela 4.8 – Características do projeto original do Viaduto de acesso a Bela Vista de Minas	163

LISTA DE SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

DER/MG – Departamento de Estradas de Rodagem de Minas Gerais

DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura em Transportes

IPR – Instituto de Pesquisas Rodoviárias

SGO – Sistema de Gerenciamento de Obras

TCU – Tribunal de Contas da União

UFMG – Universidade Federal de Minas Gerais

SUMÁRIO

1. Introdução	21
1.1- Justificativa da Pesquisa.....	23
1.2– Objetivos.....	24
1.3– Organização do trabalho	24
2. Revisão Bibliográfica.....	25
2.1 – Pontes rodoviárias	25
2.2 - Inspeções de pontes rodoviárias	30
2.2.1 – Tipos de inspeção	30
2.2.2 – Profissionais, planejamento e particularidades da inspeção.....	32
2.2.3 – Equipamentos de inspeção e práticas de segurança	35
2.3 – Patologias das obras de concreto armado	36
2.4 –Patologias peculiares às pontes rodoviárias de concreto armado	40
2.4.1 – Patologias próprias da superestrutura.....	41
2.4.2 – Patologias próprias da mesoestrutura	43
2.4.3 – Patologias próprias da infraestrutura	44
2.5 – Procedimentos de reforço em pontes de concreto armado	45
2.5.1 - Aumento da seção com acréscimo de armadura	49
2.5.2 - Aumento da capacidade de elementos da superestrutura.....	50
2.5.3 - Aumento da capacidade de elementos da mesoestrutura	52
2.5.4 - Aumento da capacidade de elementos da infraestrutura.....	52
2.6 – Procedimentos de recuperação de estruturas das pontes de concreto armado.....	55
2.6.1 - Remoção e substituição de concreto	55
2.6.2 - Remoção da corrosão	56

2.6.3 - Remoção de manchas.....	57
2.6.4 - Tratamento de vazios, cavidades, ninhos e desagregações.....	57
2.6.5 - Tratamento de trincas e fissuras.....	57
2.6.6 - Aplicação de revestimentos protetores.....	59
3. Metodologia.....	60
3.1 – Procedimento.....	61
4. Apresentação e Análise dos Resultados.....	63
4.1 – Pontes na Rodovia BR 135.....	63
4.1.1 - Ponte sobre o Córrego do Leitão.....	63
4.1.1.1 - Dados do Projeto e da Construção da Ponte.....	64
4.1.1.2 - Vistoria especial.....	66
A) Demolição e substituição da laje do estrado. Reforço das longarinas através do aumento da seção transversal e acréscimo de armaduras.	71
B) Demolição das transversinas dos encontros, recuperação dos encontros e instalação de novos aparelhos de apoio.....	74
C) Reforço dos pilares.....	75
D) Construção de blocos para reforço estrutural.....	76
E) Construção de barreiras tipo New Jersey e execução da sobre laje.....	79
4.1.1.4 - Vistoria realizada em abril de 2013.....	80
A) Condições gerais da pista, sistema de sinalização, sistema de drenagem e das barreiras New Jersey.....	81
B) Encontros e aparelhos de apoio.....	83
C) Elementos da parte inferior do tabuleiro.....	86
D) Pilares e reforço da infraestrutura.....	88
4.1.1.5 - Análise do estado atual da ponte sobre o córrego do Leitão.....	89
4.2 – Pontes na Rodovia BR-381.....	94
4.2.1 – Ponte sobre o Córrego Jaguaraçú.....	96
4.2.1.1 - Dados do Projeto e da Construção da Ponte.....	96
4.2.1.2 - Vistoria realizada em março de 2005.....	99
4.2.1.3 - Vistoria especial realizada em Janeiro de 2007.....	101

4.2.1.4 - Descrição do projeto e da execução dos procedimentos de reforço	104
A) Reforço da longarina do lado montante através do aumento da seção transversal e acréscimo de armaduras no vão central.....	105
B) Reforço dos pilares através do aumento da seção transversal e acréscimo de armaduras.....	106
C) Construção de blocos para reforço das fundações	107
D) Execução da recuperação da estrutura	109
4.2.1.5 – Vistoria realizada em abril de 2013.....	112
A) Condições gerais da pista, sistema de sinalização, sistema de drenagem e dos guarda- corpos.....	113
B) Encontros e aparelhos de apoio	115
C) Elementos da parte inferior do tabuleiro	116
D) Pilares e reforço da infraestrutura	118
4.2.1.7 - Análise do estado atual da ponte sobre o Córrego Jaguaracú	119
4.2.2 – Ponte sobre o Rio Piracicaba.....	123
4.2.2.1 - Dados do Projeto e da Construção da Ponte	123
4.2.2.2 - Vistoria especial realizada em março de 2005.....	127
4.2.2.3 - Descrição do projeto e da execução das obras de reforço.....	130
E) Reforço do tabuleiro existente através de protensão externa	130
F) Prolongamento da ponte do lado de Belo Horizonte	132
G) Reforço dos pilares e da infraestrutura.....	135
D) Construção de consoles para a troca dos aparelhos de apoio.....	141
H) Serviços de recuperação da estrutura de concreto	144
I) Substituição do guarda-corpo pelo sistema de barreiras New Jersey	147
J) Contenção e estabilização da encosta do lado de Belo Horizonte da ponte	148
K) Seqüência executiva dos serviços.....	149
4.2.2.4 – Vistoria realizada em abril de 2013.....	150
A) Condições gerais da pista, sistema de sinalização, sistema de drenagem e das barreiras New Jersey	150
B) Encontros e aparelhos de apoio	153
C) Elementos da parte inferior do tabuleiro	156
D) Pilares e blocos da infraestrutura.....	158
4.2.2.5 - Análise do estado atual da ponte sobre o rio Piracicaba.....	160

4.2.3 – Viaduto de acesso a Bela Vista de Minas.....	163
4.2.3.1 - Dados do Projeto e da Construção do Viaduto.....	163
4.2.3.2 - Vistoria realizada em março de 2005	166
4.2.3.3 - Vistoria especial realizada em Janeiro de 2007	168
4.2.3.4 - Descrição do projeto e da execução das obras de reforço.....	175
A) Reforço da longarina à direita, no extremo Belo Horizonte, sentido Governador Valadares – Belo Horizonte.....	175
B) Especificações gerais dos serviços de reforço	179
C) Rebaixamento do nível das pistas sob o viaduto.....	180
4.2.3.5 – Vistoria realizada em abril de 2013.....	180
A) Condições gerais da pista, sistema de sinalização, sistema de drenagem e dos guarda-corpos.....	180
B) Aparelhos de apoio.....	182
C) Elementos da parte inferior do tabuleiro, pilares, encontros e fundações.....	182
4.2.3.6 –Análise do estado atual do viaduto de acesso a Bela Vista de Minas.....	185
5. Conclusões	187
5.1 – Sugestões para trabalhos futuros	191
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	188
ANEXO A - Fichas de inspeção da ponte sobre o Córrego do Leitão	192
ANEXO B - Fichas de inspeção da ponte sobre o Ribeirão Jaguaraçú	197
ANEXO C - Fichas de inspeção da ponte sobre o Rio Piracicaba.....	202
ANEXO D - Fichas de inspeção da ponte sobre o Viaduto de Acesso a Bela Vista.....	207

1

Introdução

O planejamento rodoviário no Bral teve seu início significativo em 1926, com o governo do Presidente Washington Luís, tendo como marco a construção da rodovia ligando a cidade do Rio de Janeiro a São Paulo. Após o término da 2ª Guerra Mundial, constatou-se a necessidade da integralização do país e foram criados o Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER, 2001), em 1947, e um plano de viação de maior abrangência nacional. Desde então, várias obras rodoviárias foram construídas no país, tendo seu ápice nas décadas de 60 e 70, passando de 8.675 km de rodovias pavimentadas para 47.487 km em 1980 (DNIT, 2011).

A partir da crise sofrida no país na década de 80, chamada comumente de “década perdida” pelos economistas, os investimentos no setor de transportes declinaram de 1,8% do PIB em 1976 para 0,11% em 2003 (IPEA, 2011). Este fato se reflete no pequeno aumento de rodovias pavimentadas: de 47.487 km em 1980 para 56.097 km em 2000 (DNIT, 2011), evidenciando a estagnação durante pouco menos de duas décadas.

Após este período, foram criados o Plano Nacional de Logística e Transportes (PNLT) e o Programa de Aceleração do Crescimento (PAC). Dos investimentos previstos nestes programas, 78,57% foram destinados à recuperação, adequação e duplicação de rodovias (IPEA, 2011). Este

dado mostra a constatação do poder público da necessidade da promoção de obras importantes que não foram realizadas durante o período de estagnação econômica. De 2003 a 2010 os investimentos no setor de transporte cresceram à ordem de 700%, partindo de 1,3 bilhões para 10,3 bilhões de reais (IPEA, 2011). Este crescimento acompanha o desenvolvimento nacional na última década e a necessidade governamental de equalizar os ditos “gargalos” logísticos ainda existentes no país.

O Governo Federal, através do Instituto de Pesquisas Rodoviárias, desenvolveu em 1994 um importante Sistema de Gerenciamento de Obras Especiais (SGO), cujo objeto consistiu de um pioneiro inventário das pontes rodoviárias existentes sob jurisdição federal. No entanto este sistema contemplou apenas 25% das pontes da malha federal e desde 2004 não teve seus dados atualizados (TCU, 2012). Das 139 pontes avaliadas em “estado crítico” pelo SGO em 2004, apenas cinco delas culminaram em obras de restauração até 2012 (TCU 2012). O mesmo sistema de gerenciamento classificou 34% das pontes catalogadas como tendo manutenção “sofrível” e 3% como tendo manutenção “precária” (MENDES, 2009).

Paralelamente a este cenário, o processo de deterioração das estruturas rodoviárias persiste com possíveis evoluções em curso. Além dos riscos de segurança dessas estruturas e dos seus usuários, a procrastinação das obras de adequação se constitui numa ameaça aos cofres públicos, dado ao aumento dos valores das intervenções necessárias, decorrentes da fase da sua utilização (SITTER, 1984 apud HELENE, 2003). A situação é ainda mais grave no caso das pontes rodoviárias antigas, projetadas para carregamentos inferiores àqueles transmitidos pela frota de veículos atual.

Cerca de 78% das pontes de concreto nacionais, com devido registro da data da sua construção, foram construídas antes de 1984 (MENDES, 2009), ano anterior à vigência da norma NBR 7188 (1984). Estas pontes foram projetadas com capacidade de carga inferior a praticada pelos novos caminhões de carga, indicando a necessidade de reforço estrutural emergente. A retração econômica de 1980 a 2000 com redução substancial do investimento no setor rodoviário nacional, aliada à deficiente gestão do Poder Público no monitoramento do estado destas obras e da sua manutenção converge na iminente necessidade de execução de obras de reforço.

Os planos do Governo Federal para a reabilitação e expansão da malha viária nacional estão evidenciados nos programas políticos atuais com vistas ao desenvolvimento do país oriundos dos aportes financeiros adquiridos na última década de crescimento econômico (SERAFIM, 2009). No entanto, o poder executivo necessita de ferramentas gerenciais eficazes para promover as obras necessárias para o cumprimento desses objetivos. A estrutura de recursos humanos do Órgão gestor executivo, especialmente seu corpo técnico, é ainda precária para realizar as devidas inspeções nas pontes rodoviárias da malha federal - elemento fundamental de um programa de gestão eficaz de intervenções em pontes rodoviárias.

1.1 - Justificativa da Pesquisa

Decorrente do período de crescimento econômico nacional, diversas pontes rodoviárias federais foram e estão sendo reforçadas, recuperadas e reabilitadas. Faltam registros de informações técnicas e gerenciais no Órgão Federal relativos ao comportamento estrutural e aos aspectos funcionais das pontes após a realização dessas intervenções.

Urge a necessidade do conhecimento da eficácia desses diversos métodos empregados para reforço estrutural das pontes rodoviárias de concreto armado frente à essencial execução de inúmeras obras desta natureza. Tais fatos mostram a importância da realização de inspeções posteriores a essas intervenções para aferir o êxito dos processos escolhidos, inclusive com possíveis contribuições nessa área do conhecimento. Estas inspeções têm também o intuito de subsidiar a execução de futuros projetos, diminuindo eventuais retrabalhos com conseqüentes custos adicionais, e finalmente, conseguir contribuir para a escolha dos procedimentos mais apropriados.

1.2 – Objetivos

A presente dissertação tem o objetivo de avaliar a eficiência dos processos de reforço estrutural realizados em quatro pontes de concreto armado pertencentes a rodovias federais. O estudo se propõe a descrever a situação dessas obras antes da intervenção, seu diagnóstico, o tipo de medida terapêutica adotada e sua atual situação com base em inspeções visuais realizadas “*in loco*”.

1.3 – Organização do trabalho

Esta dissertação é composta de cinco capítulos, sendo o primeiro esta introdução.

O segundo capítulo traz uma breve revisão bibliográfica sobre as pontes rodoviárias. São apresentados seus principais elementos e características. Prossegue com a descrição dos procedimentos das inspeções de pontes de concreto armado, cita algumas patologias do concreto armado e outras particulares das pontes rodoviárias, finalizando com o relato de alguns procedimentos e materiais utilizados nas obras de reforço estrutural.

O terceiro capítulo apresenta a metodologia utilizada para escolha das pontes do estudo com sua respectiva divisão em etapas.

O quarto capítulo é composto pela pesquisa de campo do estudo realizado. Neste são apresentados os dados e as informações resgatados e são registradas todas as intervenções realizadas em cada ponte escolhida. São relatadas desde as características do projeto original até os resultados colhidos na inspeção após as intervenções de reforço estrutural, objeto deste estudo. Para cada ponte é realizada a devida análise dos resultados obtidos.

O quinto capítulo é destinado às considerações finais do trabalho, bem como às sugestões para trabalhos futuros.

2

Revisão Bibliográfica

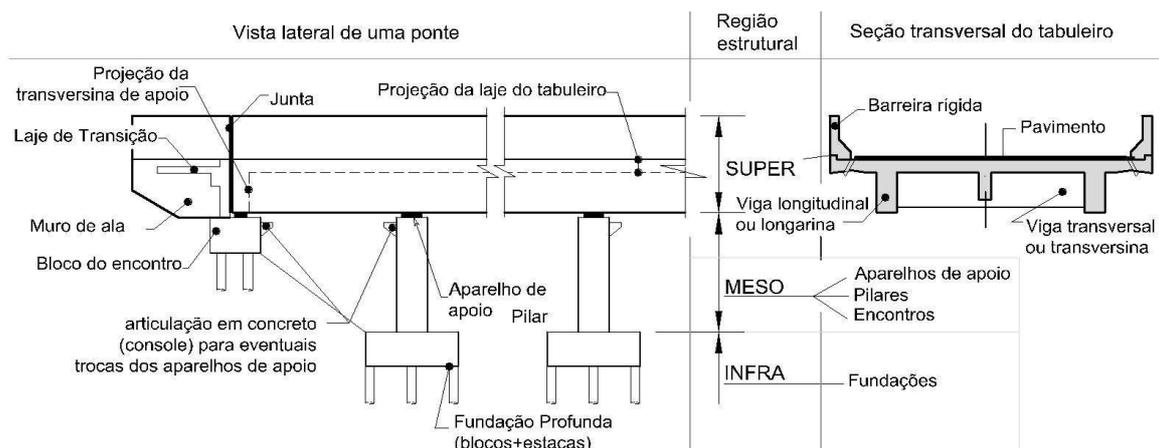
2.1 – Pontes rodoviárias

De acordo com a NBR 7188 (ABNT, 1984), ponte rodoviária é *“toda e qualquer estrutura destinada a permitir a transposição de um obstáculo, natural ou artificial, por veículos rodoviários passíveis de trafegar na via terrestre de que esta ponte faz parte”*. Nessa definição a terminologia “ponte” é generalizada para a transposição de qualquer obstáculo, mas na técnica existe uma distinção entre “pontes” e “viadutos”. A ponte seria a estrutura destinada a transpor cursos de água e os viadutos seriam as estruturas construídas sob via seca, visando transpor vales ou vias de tráfego terrestre, por exemplo.

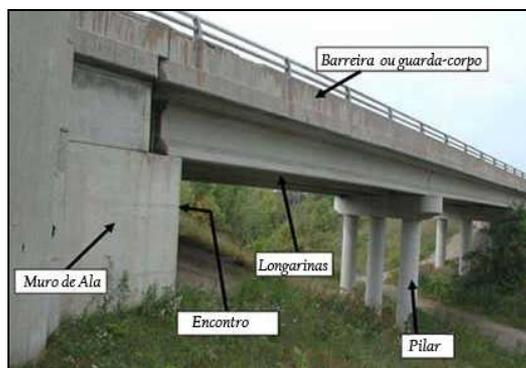
Os elementos das pontes são subdivididos em três regiões estruturais denominadas superestrutura, mesoestrutura e infraestrutura. Os elementos da superestrutura de uma ponte são todos aqueles diretamente ligados ao painel da transposição, podendo ter função estrutural tais como as lajes e as vigas ou função utilitária, tais como a pista de rolamento, passeios, barreiras de proteção, dispositivos de drenagem ou de iluminação, etc. A mesoestrutura diz respeito aos pilares, aos encontros e aos aparelhos de apoio. Como infraestrutura entendem-se os elementos

do sistema de fundações da ponte tais como blocos, sapatas, cintas de ligação, tubulões, estacas, etc.

Existem ainda outras denominações para as estruturas das pontes decorrentes da divisão da superestrutura em duas partes: a estrutura principal e a estrutura secundária. A estrutura principal é composta por elementos com função de vencer o vão livre e a estrutura secundária, também referida como tabuleiro ou estrado é aquela que recebe a ação direta das cargas e a transmite para a estrutura principal. Para as pontes de concreto armado, a superestrutura, o tabuleiro e o estrado são denominações equivalentes, sendo as lajes e as vigas o único sistema responsável por vencer o vão livre, receber e transmitir as cargas incidentes da pista. A figura 2.1 mostra os principais elementos de uma ponte rodoviária e seu enquadramento nas três regiões estruturais.



(a) Vista lateral de uma ponte, seção transversal do tabuleiro e identificação das regiões estruturais e dos elementos



(b) Vista lateral de uma ponte e identificação dos elementos



(c) Vista da pista sobre a ponte e identificação dos elementos.

Figura 2.1 – Principais elementos de uma ponte rodoviária

Fonte: (a) Adaptado de Stucchi, 2006, (b) e (c) Adaptado de Ministério de Transportes de Ontário, 2013.

A diferenciação das pontes rodoviárias da malha federal brasileira é realizada através de classes. As classes são definidas de acordo com o sistema de carregamentos provenientes do tráfego considerado no projeto da ponte, denominado “carga móvel” e também referido como “trem-tipo”.

As pontes da malha rodoviária brasileira se distinguem pela época que foram construídas, na qual variaram normas, veículos e materiais utilizados. A tabela 2.1 mostra as principais características das pontes da malha rodoviária federal brasileira de acordo com o período da sua construção e a figura 2.2 identifica as principais medidas relacionadas na tabela.

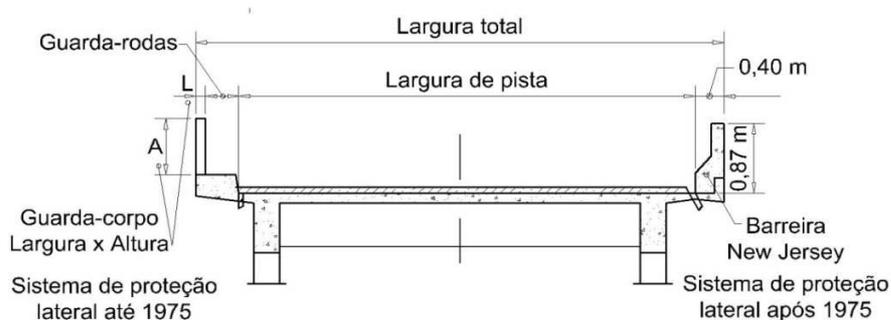


Figura 2.2 – Dimensões da seção transversal de pontes relacionadas na tabela 2.1

As características dos elementos das pontes ao longo dos anos impactam diretamente no desempenho destas estruturas, nos âmbitos da sua utilização, segurança, durabilidade e funcionalidade estrutural. Algumas mudanças relevantes são as larguras adotadas para as pistas, o tipo do dispositivo de proteção lateral da pista (guarda-corpo ou barreira), o tipo do dispositivo usado como aparelho de apoio (chumbo ou neoprene fretado) e o sistema de drenagem, incluindo a existência de pingadeiras nos balanços. É importante frisar que há um regular número de pontes construídas com processos e sistemas estruturais hoje condenados (IPR, 2010).

Até meados do ano de 1975, grande parte das pontes da malha federal não possuía pingadeiras nas extremidades dos balanços da laje, fato que resultava no aparecimento de diversas patologias decorrentes do acesso de água proveniente do tabuleiro aos elementos da sua parte inferior. O sistema de drenagem era realizado através de drenos igualmente espaçados inclusive sobre as saias de aterro, gerando diversas patologias nas regiões dos encontros. Tal especificação foi

alterada após 1975, na qual os drenos passaram a ser instalados de forma a desviar o fluxo de água das saias de aterros, prevenindo erosões desta área bem como infiltrações nos encontros.

Tabela 2.1 – Características das pontes rodoviárias brasileiras de acordo com a data da construção.
(Adaptado IPR, 2004).

Período	Normas Vigentes	Seção Transversal Adotada	Cargas móveis De projeto
Até 1950	NB-1/1946 NB-2/1946 NB-6/1946 <i>CLASSE 24</i>	Largura total de 8,30m. Largura de pista de 7,20m. Dois guarda-rodas de 0,55m. Dois guarda-corpos de 0,15 x 0,60m sobre o guarda-rodas.	Trem-tipo de 240 kN; Caminhões de 90 kN tantas quantas forem as faixas de tráfego menos uma. Carga de multidão variável com o vão teórico, basicamente de 4,5 kN/m ² . Coeficiente de impacto $\phi=1,3$.
De 1950 a 1960	NB-1/1960 NB-2/1960 NPER/1949 <i>CLASSE 24</i>	Largura total de 8,30m. Largura de pista de 7,20m. Dois guarda-rodas de 0,55m. Dois guarda-corpos de 0,15 x 0,60m sobre o guarda-rodas.	Trem-tipo de 240 kN. Tantos caminhões de 120 kN quantas forem as faixas de tráfego menos uma. Carga de multidão conforme a peça e o vão teórico, basicamente de 5,0 kN/m ² . Coeficiente de impacto $\phi=1,3$.
De 1960 a 1975	NB-1/1960 NB-2/1960 NB-6/1960 <i>CLASSE 36</i>	Largura total de 10,00m. Largura de pista de 8,20m. Dois guarda-rodas de 0,90m. Dois guarda-corpos de 0,15 x 0,90m, sobre o guarda-rodas.	Trem-tipo de 360 kN; Carga de multidão de 5 kN/m ² e de 3 kN/m ² . Coeficiente de impacto $\phi=1,4 - 0,007L$.
De 1975 a 1985	NB-1/1978 NB-2/1960 NB-6/1960 <i>CLASSE 36</i>	Largura total $\geq 10,80m$. Largura de pista $\geq 10,00 m$. Duas barreiras tipo New Jersey.	Trem-tipo de 360 kN; Carga de multidão de 5 kN/m ² e de 3 kN/m ² Coeficiente de impacto $\phi=1,4 - 0,007L$

Período	Normas Vigentes	Seção Transversal Adotada	Cargas móveis De projeto
Após 1985	NBR 6118/78 NB-2/1987 NBR 7188/84 <i>CLASSE 45</i>	Largura total de 12,80m. Largura de pista de 12,00m. Duas barreiras tipo New Jersey.	Trem-tipo de 450 kN; Carga de multidão de 5 kN/m ² e de 3 kN/m ² Coeficiente de impacto $\phi=1,4 - 0,007L$.

Ainda neste período, anterior a 1975, o sistema de proteção lateral da pista era realizado através de guarda-rodas. Tratava-se basicamente de um degrau lateral ao longo do comprimento da pista, em ambas as laterais da ponte, com altura de 30 cm da face superior da laje e largura de 55 cm. Após o guarda-rodas era instalado na extremidade do tabuleiro um guarda-corpo chumbado à laje. Este sistema se mostrou ineficaz com o passar dos anos, pois a estrutura era incapaz de absorver esforços de veículos que nela colidiam, tratando-se apenas de um balizador do tráfego. Ademais, a área sobre o guarda-rodas era utilizada como passeio pelos pedestres, gerando um risco adicional à utilização das pontes. Os transeuntes não possuíam proteção contra os veículos que trafegavam na ponte e ainda contavam com um guarda-corpo insuficiente (com altura de 60 cm) para sua proteção contra possíveis quedas da estrutura. Diversos acidentes se sucederam, nos quais veículos destruíam os elementos desse sistema, sendo arremessados para fora da estrutura da ponte, gerando vítimas, tendo risco majorado para os viadutos sobre vias de tráfego. Este item foi equacionado com o surgimento da barreira tipo “New-Jersey”. A barreira é concretada junto com laje do tabuleiro e é capaz de suportar as colisões de veículos contra sua estrutura e de redirecioná-los para centro da pista de rolamento da ponte, devido as suas características geométricas.

Outra mudança significativa para o desempenho das pontes se deu na mudança da espessura necessária para o pavimento sobre a ponte. Devido à necessidade de promover a declividade na pista para a drenagem das suas águas, os pavimentos anteriores a 1975 eram executados com grande espessura, gerando diversas patologias. Posteriormente a 1975 essa declividade era realizada na própria laje, possibilitando pavimentos com espessuras bem menores, desonerando os serviços de manutenção (IPR, 2010).

A norma DNIT 010/2004 – PRO (DNIT, 2004) define as três principais atividades realizadas em pontes existentes quais sejam, a recuperação, o reforço e a reabilitação. Como recuperação entende-se o conjunto de atividades que visam eliminar os defeitos, reduzindo conseqüentemente a velocidade de degradação da ponte impactando positivamente na sua vida útil. O reforço de uma ponte são as atividades realizadas com acréscimo ou substituição de materiais estruturais que visam devolver à ponte as condições próximas das iniciais, ou até melhores, podendo haver acréscimo na capacidade de carga. A eliminação de todos os defeitos que afetam o desempenho da obra faz parte do escopo de serviços de reforço das pontes. Finalmente, a reabilitação das pontes é definida como o conjunto de atividades que além de recuperar e reforçar a ponte modifica suas características, tais como aumento da capacidade de carga, alargamento, passeios laterais e barreiras de segurança. São serviços que impactam sobre o conforto e a segurança dos usuários.

2.2 - Inspeções de pontes rodoviárias

A inspeção ou vistoria de pontes rodoviárias é uma atividade técnica especializada de avaliação das condições gerais da estrutura, dos acessórios e do entorno da obra (IPR, 2007). A heterogeneidade das pontes da malha viária nacional é um fator motivador de inspeções cuidadosas e regulares que objetivem verificar a capacidade de carga, a segurança e o conforto dos usuários que destas obras fazem uso. As vistorias das pontes possuem ainda a finalidade de fornecer dados importantes para a realização de obras de manutenção e de melhoramentos necessários para essas estruturas. As estruturas de concreto armado devem ser inspecionadas periodicamente para que as anomalias sejam identificadas e corrigidas com um adequado tratamento (CÁNOVAS, 1988).

2.2.1 – Tipos de inspeção

Existem três tipos de inspeções: a cadastral, a rotineira e a vistoria especial de acordo com a NBR 9452 (ABNT, 2012). Para as rodovias sob jurisdição federal são incluídos dois outros tipos de vistoria, denominados inspeção extraordinária e inspeção intermediária (DNIT, 2010).

A inspeção cadastral deve ser realizada logo após a conclusão da obra. Por obra entende-se a construção de uma ponte inteiramente nova ou procedimentos de recuperação ou de reforço em pontes já existentes. Deverá constar da inspeção cadastral a completa identificação da ponte, as características dos seus componentes e sistemas, da sua construção e documentação fotográfica. Podem-se registrar ainda outros fatores intervenientes como o acesso à obra, às suas partes, questões de segurança da ponte e da equipe de vistoria. Farão parte da vistoria cadastral todos os documentos e informes construtivos tais como projetos, ensaios, diários de obra e outros.

De acordo com a NBR-9452 (ABNT, 2012) a inspeção rotineira é destinada a manter o cadastro da obra atualizado, devendo ser realizada em intervalos regulares. Este intervalo pode variar de um a dois anos nas rodovias sob administração federal, de acordo com a definição realizada na inspeção cadastral considerando as particularidades de cada ponte. Na inspeção rotineira deverão ser detectadas anomalias em desenvolvimento ou aferir diferenças entre o atual estado com aquele catalogado anteriormente. A vistoria rotineira pode ser realizada sem o auxílio de instrumentos de precisão ou equipamentos especiais, sendo obrigatória a documentação fotográfica.

A inspeção especial é realizada em situações excepcionais, atribuídas ao porte da obra ou pela necessidade da presença de um especialista. As pontes podem ser consideradas excepcionais pelo porte, pelo sistema estrutural ou ainda pelo comportamento diferenciado. Para pontes excepcionais deverá ser realizada a inspeção especial em intervalos de no máximo cinco anos.

A inspeção extraordinária é derivada de danos estruturais abruptos provocados pelo homem ou pelo meio-ambiente. A inspeção extraordinária seria decorrente de fator repentino, sendo necessário o conhecimento da equipe de inspeção para a avaliação da gravidade do dano, podendo tomar possíveis medidas de limitação das cargas de tráfego ou mesmo a sua interrupção ou restabelecimento, conforme o caso (DNIT, 2010). A inspeção extraordinária pode resultar na solicitação de uma inspeção especial. O fato deste tipo de inspeção não ser programado se constitui no seu principal diferencial em relação à inspeção especial. A inspeção especial seria oriunda de um comportamento “problemático” verificado em uma inspeção rotineira, sendo passível de programação enquanto a inspeção extraordinária deve ser realizada prontamente.

A inspeção intermediária é recomendada para monitorar uma anormalidade já detectada ou em fase de diagnóstico (DNIT, 2010). Acompanhamento de recalque de fundação, erosões, estado e comportamento de determinado elemento estrutural seriam exemplos de itens a serem verificados nas inspeções intermediárias. Com o objetivo da inspeção bem definido torna-se dispensável a sua realização por inspetor.

2.2.2 – Profissionais, planejamento e particularidades da inspeção

As inspeções são realizadas, em geral, por inspetores auxiliados por técnicos. O inspetor de pontes deve ser engenheiro diplomado, com requisitos de experiência de acordo com o porte da obra. Para pontes com comprimento igual ou inferior a duzentos metros, o inspetor deverá ter pelo menos cinco anos de experiência em projetos e inspeção de pontes. Para obras consideradas excepcionais ou para um conjunto de obras, o inspetor deverá ter no mínimo dez anos de experiência em inspeção, projetos de execução e projetos de recuperação de pontes (DNIT, 2010). Nos casos específicos das inspeções extraordinárias e especiais, caso necessário, poderá ser solicitada a ajuda de um consultor além da presença do engenheiro inspetor.

Os técnicos necessários para o acompanhamento e suporte ao inspetor deverão ser profissionais de nível médio, com habilidades específicas para este trabalho. O técnico deverá ter condições físicas para acessar as partes da estrutura através de meios improvisados (tais como escadas e cordas), ter habilidades de desenho e de leitura de projetos e ainda perícia na utilização de instrumentos de medição.

É responsabilidade do inspetor o registro minucioso e fiel dos itens que necessitam de reparos ou de serviços de manutenção, zelando pelo patrimônio público, mantendo a segurança e funcionalidade das obras.

A inspeção deve ser precedida de um bom planejamento. O planejamento de uma inspeção inicia pela análise do projeto da obra, dos documentos de “as built”, dos relatórios anteriores de inspeção, da possível existência de reparos e de dados geológicos e geotécnicos.

A inspeção aos elementos da estrutura deve ser planejada seguindo uma orientação lógica ou a seqüência de inspeções anteriores, caso existam. A inspeção resulta em formulários próprios de anotações e documentação fotográfica. Este registro fotográfico deverá ser abrangente e completo com no mínimo seis fotos mostrando vistas da ponte (inferior, superior, laterais), detalhes de apoio, de articulações e de juntas (IPR, 2004). É recomendável fazer a inspeção com tráfego sobre a ponte de modo a aferir vibrações ou deformações excessivas na estrutura e verificar as aberturas de fissuras.

Geralmente a inspeção de pontes se inicia pela vistoria dos elementos do estrado e da superestrutura, evoluindo para os elementos da mesoestrutura, da infraestrutura e terminando com a vistoria de todos os elementos não pertencentes propriamente à estrutura da ponte, mas que possuam influência sobre a mesma. Esta seqüência pode variar de acordo com fatores intrínsecos à obra, tais como o tipo, as condições de tráfego, o nível de deterioração e as dificuldades de acesso à determinadas partes da estrutura.

Na inspeção aos elementos do estrado deverão ser avaliadas a geometria da ponte e as condições viárias. Deverá ser inspecionado o alinhamento da ponte e a existência de possíveis deformações ou vibrações excessivas do tabuleiro. No caso específico de pontes sobre rios navegáveis ou viadutos sobre outras vias de tráfego, deverão ser verificados se os gabaritos são satisfatórios e se existem nos pilares proteção contra eventuais colisões dos veículos ou embarcações que fazem uso da via ou do curso d'água sob a ponte.

Nos acessos à ponte deverá ser observado se existem asperezas ou assentamentos incomuns no pavimento. Deverá ser observado ainda o estado das placas de transição, caso existam, das juntas de dilatação entre os acessos e a ponte, das saias de aterro, da drenagem próxima aos encontros e da continuidade das barreiras entre a rodovia e a ponte.

As barreiras ou guarda-corpos deverão ter registrado o seu alinhamento, o estado do concreto e do cobrimento das suas armaduras. No pavimento da pista de rolamento deverá ser aferida a sua integridade, declividade, drenagem e segurança ao tráfego. Nas juntas de dilatação ao longo do pavimento da ponte deverá ser verificado seu estado, integridade, capacidade de vedação e se

possuem liberdade para a movimentação da estrutura. No caso da medição da sua abertura, esta deverá ser realizada à temperatura ambiente.

Nas vigas e lajes deverá ser verificada a existência de trincas, de deformações ou desalinhamento e de armaduras expostas ou corroídas. Em lajes do tipo caixão deverão ser tomadas as mesmas ações anteriores com o acréscimo da verificação de drenos em número suficiente na laje inferior. No caso destas últimas superestruturas é importante que haja acesso ao interior da estrutura caixão.

Os aparelhos de apoio geralmente sofrem o reflexo de anomalias estruturais; por isso deve ser verificado se eles estão alinhados e posicionados corretamente, se possuem liberdade de movimentação e se estão em bom estado de conservação. Para os apoios elastoméricos deve ser observado se os mesmos não estão muito achatados (faces muito abauladas) ou muito distorcidos.

A vistoria deverá ser realizada preferencialmente no período de águas baixas para a verificação dos elementos da infraestrutura. Deverá ser observada a existência de erosões ou “descalçamentos” nas fundações diretas, superficiais ou nas paredes dos encontros.

No caso de pontes sobre cursos d’água é importante observar se a seção é suficiente para a vazão existente, se os detritos e matérias flutuantes escoam livremente nos períodos de cheia e se existem pontos de erosão ou assoreamento. Deve-se avaliar também a integridade das proteções nas margens e nos apoios intermediários bem como manter um registro atualizado do regime dos cursos d’água.

2.2.3 – Equipamentos de inspeção e práticas de segurança

Os equipamentos para a realização de inspeção em pontes se dividem em comuns e especiais. A tabela 2.2 apresenta o tipo dos equipamentos considerados comuns. Os equipamentos especiais são aqueles usados para levantamento topográfico, para a realização de ensaios não-destrutivos, para a inspeção submersa e para jateamento com ar, água ou areia.

O acesso às diversas áreas de inspeção de uma ponte pode ser realizado através de equipamentos ou de veículos. Exemplos de equipamentos são as escadas, andaimes apoiados ou suspensos, plataformas apoiadas em torres tubulares e barcos ou balsas. Os veículos utilizados nas inspeções proporcionam acesso rápido, seguro e eficaz às diversas áreas da obra. Exemplos relevantes destes veículos são os caminhões “Munck” e “Snoopers”, que com braços articulados e cestas permitem a avaliação das faces laterais, de trechos contíguos da parte inferior da ponte e de parte do estrado.

As inspeções devem ser realizadas obedecendo a critérios mínimos de segurança. O capacete e o colete reflexivo são considerados acessórios obrigatórios de segurança individual. O inspetor e auxiliares deverão vestir-se adequadamente com botas de couro com solado antiderrapante, calças resistentes que permitam livre movimentação, cinto especial para acomodar pequenas ferramentas e blocos de notas, camisas de mangas compridas, com bolsos e resistentes. Eventualmente deverão ser utilizados coletes salva-vidas, cinto de segurança, luvas e máscaras.

Tabela 2.2 – Tipo dos equipamentos comuns usados em inspeções.
Fonte: DNIT, 2010.

Tipo de equipamento comum	Exemplos
Limpeza	Escovas, vassouras, palhas de aço e lixas.
Inspeção	Canivete, facão, martelo, chave de fenda, cinto suporte de ferramentas.
Acurácia visual	Binóculo, luneta, lente com iluminação, espelho de inspeção, lanterna, líquido penetrante.

Tipo de equipamento comum	Exemplos
Medição	Trena, paquímetro, fissurômetro, fio de prumo, nível de pedreiro, termômetro.
Registro	Prancheta, fichas cadastrais, lápis, borracha, esquadros, giz, câmera fotográfica com lente de 35 mm ou digital.
Equipamentos complementares	Estojo de primeiros socorros, repelentes e materiais de higiene pessoal.

2.3 – Patologias das obras de concreto armado

Segundo HELENE (2003), a patologia pode ser definida como a “*parte da engenharia que estuda os sintomas, os mecanismos e as causas das origens dos defeitos das obras civis, ou seja, o estudo das partes que compõem o diagnóstico do problema*”. De forma geral, as patologias encontradas nas obras civis podem ter suas causas qualificadas em falhas nas etapas de projeto, de execução, de operação ou de manutenção.

A patologia do concreto armado está associada à patologia de cada um dos seus componentes devido à heterogeneidade do material. Cada componente do concreto armado, a saber: a água, o cimento, os agregados, os aditivos e o aço e suas interações poderão apresentar diversos tipos de danos. Além das patologias inerentes aos materiais, existem àquelas advindas de agentes exógenos, tais como as especificações equivocadas em projetos, mau emprego dos componentes, execuções deficientes, problemas na sua dosagem, etc. Todos esses fatores repercutirão de forma direta na resistência mecânica, na estabilidade dimensional e especialmente, na durabilidade das estruturas de concreto armado (CÁNOVAS, 1988).

Algumas das ações deletérias de origem física têm sua origem nos efeitos expansivos produzidos por forças internas na microestrutura do material. São ações decorrentes de erros nas especificações de projeto e na execução do concreto. A porosidade, a relação água-cimento, a

granulometria dos seus agregados e a homogeneidade do concreto são algumas das principais características do material que determinarão o seu desempenho ao longo da sua existência (CÁNOVAS, 1988). A insuficiência qualitativa de qualquer uma dessas características no concreto poderá resultar no surgimento de esforços internos não previstos, acarretando diversos sintomas que fatalmente tornarão o material mais fragilizado aos ataques de outras ações degenerativas, influenciando diretamente na sua durabilidade.

MEHTA e MONTEIRO (2008) classificam, de acordo com a sintomatologia, as causas físicas da deterioração do concreto em duas categorias: ações que resultam no desgaste superficial e aquelas que resultam em fissurações. O desgaste superficial decorre das ações de abrasão, erosão ou cavitação. As fissurações podem ter origem em causas físicas tais como: a variação volumétrica, o carregamento estrutural e a exposição dos elementos a extremos de temperatura.

A superfície do concreto poderá perder massa progressivamente através dos processos de abrasão, erosão e cavitação. A abrasão é resultado do atrito seco, presente em pisos e pavimentos de concreto, por exemplo. A erosão é decorrente da ação abrasiva através de partículas sólidas em suspensão em meio fluido. A cavitação está associada à perda de massa pela formação de bolhas de vapor em regiões de mudança abrupta de direção de águas fluindo em alta velocidade.

No processo de erosão, as partículas sólidas em suspensão irão colidir, escorregar ou rolar sobre as superfícies dos elementos de concreto causando seu desgaste. A taxa de erosão dependerá da porosidade e da resistência do concreto e ainda da quantidade, tamanho, forma, densidade, dureza e velocidade das partículas em movimento (MEHTA, 2008). A erosão é bastante verificada em pilares e elementos de fundação mergulhados em água ou sujeitos à ação de correntezas.

A ação de cargas externas superiores àquelas previstas no cálculo acarretam falências localizadas em determinadas regiões dos elementos estruturais, modificando o comportamento estrutural do conjunto da obra, tendo como principal sintomatologia o surgimento de fissuras nas peças. O estudo da localização e a da configuração dessas fissuras pode indicar a origem das solicitações atuantes sobre o elemento. Para HELENE (2008), a experiência mostra que no estudo dessas patologias normalmente estão associadas mais de uma causa para o seu surgimento. Dentre as

causas principais estão os erros de projeto como a falta de consideração de alguma carga, avaliação errônea da ação das cargas, a deficiente combinação das cargas e modelamento estrutural equivocado. Os problemas na fase construtiva geram estruturas com resistência e comportamento aquém do projetado, tornando a estrutura sub-dimensionada para resistir aos esforços impostos sobre ela. E na fase de utilização tem-se o exemplo da aplicação de sobrecargas de ordem superior e natureza divergente daquelas consideradas no projeto.

As colisões sobre a estrutura de concreto são causas físicas de deterioração e terão conseqüências de acordo com as características do objeto da colisão e do choque. Objetos pouco resistentes e em baixas velocidades para estruturas rígidas tenderão a gerar pequenos danos. No entanto, objetos com dimensões maiores, rígidos e em alta velocidade poderão provocar perdas de rigidez do elemento de concreto ou até seu colapso.

Certos danos à estrutura são oriundos dos deslocamentos dos seus elementos de fundação. Os deslocamentos dos elementos das fundações podem ter sua origem em movimentações do solo devido sua falência, erros de projeto tais como as falhas na sua investigação e finalmente, devido a esforços não previstos e atuantes sobre as estruturas. Poderão resultar em recalques, escorregamentos, inclinações, rotações e trincas em diversas áreas da estrutura (MILITITSKY, 2008).

Os vazios de concretagem ou “ninhos” são espaços vazios que podem estar presentes dentro da massa de concreto, sendo oriundos da fase executiva, devido provavelmente à inadequada vibração e adensamento durante a construção, resultando na segregação do agregado graúdo. Esta patologia torna o material da superfície mais poroso e, portanto, mais suscetível a diversos tipos de ataques degradantes.

De acordo com CÁNOVAS (1988), as ações de origem química são as mais danosas ao concreto. A corrosão química do concreto pode ter três causas principais: os gases contidos na atmosfera, as águas (puras, turvas, ácidas, selenitosas e marinhas) e os compostos físicos de natureza orgânica (óleos, gorduras, combustíveis, etc.).

A redução do potencial hidrogeniônico, pH, do concreto pode ocorrer devido ao processo de lixiviação de substâncias alcalinas existentes nos vazios do concreto ou devido ao processo de carbonatação. A carbonatação é o resultado da reação química do hidróxido de cálcio Ca(OH)_2 e outros álcalis como o sódio ou o potássio presente em solução com o dióxido de carbono presente na atmosfera. O resultado desta reação é a formação do carbonato de cálcio (CaCO_3) que se deposita nos poros do concreto. Este processo avança da superfície para o interior do elemento. Em concretos de baixa qualidade esse processo ocorre com maior rapidez, devido principalmente à alta porosidade.

A principal causa da deterioração do aço é a corrosão, que pode provocar uma substancial redução da capacidade resistente dos elementos estruturais ou das conexões (HELENE, 2008). Os processos corrosivos no concreto armado são reações químicas que acontecem na superfície de separação entre o aço que atua como redutor, cedendo elétrons recebidos por uma substância oxidante, existente no meio corrosivo. Os sintomas da corrosão das armaduras são fissuras e desprendimento no elemento de concreto. As fissuras causadas pela corrosão são perpendiculares às direções dos esforços. A delaminação e o desprendimento do recobrimento são fenômenos decorrentes do surgimento de tensões internas adicionais ou a perda da capacidade portante do elemento. Tensões internas adicionais de tração entre o aço e o concreto podem ter sua origem no depósito dos produtos de corrosão que ocupam um volume maior do que o metal de origem. A capacidade portante da estrutura é reduzida devido à diminuição da seção transversal das armaduras, a perda da aderência entre as barras de aço e do substrato e a perda de volume do elemento de concreto decorrente do surgimento de fissuras e deslocamentos. O estabelecimento do processo corrosivo também pode ser verificado através de manchas de oxidação na superfície do concreto.

Os processos de hidrólise e lixiviação têm sua origem na reação química da água pura com o hidróxido de cálcio, constituinte da pasta do cimento Portland. A denominação água pura é entendida como aquela que possui pouco ou nenhum íon de cálcio na sua constituição, por exemplo, a água livre presente na constituição do concreto, águas provenientes de neblina, do vapor d'água e das chuvas. Devido à alta solubilidade do hidróxido de cálcio, o composto sofre hidrólise no contato com a água pura. Este produto é carregado para a superfície do elemento de concreto. Geralmente o produto lixiviado interage com o CO_2 existente na atmosfera, formando

crostas esbranquiçadas de carbonato de cálcio na superfície da peça. Este fenômeno é conhecido como eflorescência. O processo de lixiviação resulta em perda da resistência do concreto além do prejuízo estético à obra devido às manchas características do fenômeno.

2.4 –Patologias peculiares às pontes rodoviárias de concreto armado

As causas da deterioração das pontes de concreto armado são classificadas em objetivas e subjetivas, diferenciando-se de acordo com a existência da intervenção humana. As causas objetivas são independentes da ação humana enquanto as causas subjetivas desta são dependentes. Desses dois grandes grupos decorrem subclassificações quanto à origem, podendo ser decorrentes de fatores intrínsecos ao material, de fatores resultantes do tráfego rodoviário, de fatores ambientais e finalmente, daqueles resultantes do tipo e da intensidade dos serviços de manutenção (RILEM, 1991 apud DNIT, 2010).

Os fatores intrínsecos são aqueles provenientes das características dos materiais constituintes e do desempenho da estrutura. A idade da estrutura é causa objetiva. As especificações dos materiais e dos procedimentos construtivos, a geometria dos elementos constituintes, a característica do comportamento estrutural previsto são fatores intrínsecos subjetivos determinados na fase do projeto. É importante frisar ainda que as características intrínsecas finais da ponte também dependerão da qualidade da sua execução e dos procedimentos adotados frente aos fatores supervenientes ao projeto.

Os fatores resultantes do tráfego são aqueles decorrentes da utilização da ponte e por isso sempre subjetivos. Além do desgaste natural na estrutura, provocado pelo seu uso, há que se considerar a mudança das características do tráfego ao longo do tempo. Alterações significativas ocorreram na capacidade de transporte de carga, na diminuição da distância entre os eixos e no aumento da velocidade dos veículos. Estes fatores aumentam a ordem de grandeza dos esforços e alteram o tipo de esforço dinâmico imposto. A vida útil das pontes e seu desempenho ao longo da sua existência poderão estar comprometidos quando não existem ações de reforço estrutural necessárias para acompanhar as mudanças de uso.

Exemplos de fatores ambientais objetivos seriam as variações sazonais e diárias de temperatura, as naturais variações das águas dos cursos d'água, os efeitos sísmicos, as tempestades, a pressão do vento, entre outros. As ações ambientais subjetivas, decorrentes da atividade humana, se manifestam através da poluição atmosférica e das águas dos rios, as chuvas ácidas e o fogo.

Na maioria das vezes, a manutenção é o fator subjetivo decisivo na durabilidade das pontes (IPR, 2010). A manutenção de rotina prevê a realização de atividades corretivas e preventivas, tais como: a limpeza da pista de rolamento sobre a ponte, a conservação dos sistemas de drenagem e sua desobstrução, a recuperação das barreiras afetadas por colisões, a recuperação de pequenas regiões degradadas e a regularidade das inspeções, entre outras.

As patologias das estruturas de concreto armado são abordadas em vasta bibliografia e algumas delas foram citadas anteriormente. Dada a utilidade da estrutura, ela tenderá a apresentar determinadas patologias em regiões específicas. As pontes, devido a sua particularidade funcional, possuem tendências de incidência de certas patologias em locais específicos da sua estrutura. As patologias pertinentes às pontes rodoviárias de concreto armado estão diretamente associadas às características dos seus elementos constituintes, destacando-se as peculiaridades do material constituinte, da sua função estrutural, do tipo das cargas incidentes e na sua interação com os demais elementos e com o meio que está inserido. A descrição dos danos particulares às pontes rodoviárias de concreto é realizada neste estudo de acordo com as suas regiões estruturais.

2.4.1 – Patologias próprias da superestrutura

O estrado da ponte é submetido de forma direta às cargas e impacto decorrente do trânsito de veículos. Em diversas situações na malha rodoviária nacional, a carga aplicada está acima daquela calculada no projeto estrutural, seja por falta de fiscalização, seja pela necessidade de reforço para atender às novas características do tráfego. O tráfego e o impacto dos veículos causam abrasão e desgaste podendo ser agravados por possíveis vazamentos de óleo ou de produtos tóxicos.

A superfície superior do estrado, dada a sua exposição, recebe ação direta dos agentes ambientais. A incidência de chuvas com maior intensidade e o resfriamento rápido de grandes superfícies poderá provocar o aparecimento de trincas nos seus elementos. As barreiras tipo “New-Jersey” podem apresentar essas trincas na sua superfície caso o projeto ou a execução não tenha contemplado corretamente as juntas necessárias à sua movimentação. A ação das águas de uma chuva intensa pode gerar deterioração do concreto nos dispositivos de drenagem do tabuleiro.

A existência de uma malha muito densa de armadura na estrutura do estrado, visando compensar a limitação de resistência à tração do concreto, aumenta as chances de incidência de corrosão do aço. O estrado comumente apresenta rápida deterioração da sua estrutura, devido à vastidão de agentes causadores de patologias, sendo a corrosão das armaduras a principal causa desta deterioração.

Em alguns casos, utiliza-se uma sobre-laje sobre o estrado visando reduzir o desgaste e abrasão da estrutura. Esta sobre-laje pode ser de concreto ou de pavimento asfáltico, solidária ou não à laje estrutural. Em algumas soluções, esta sobre-laje é executada simultaneamente com a laje estrutural. Caso seja executada em outra etapa, a superfície da laje estrutural deverá ser deixada áspera, irregular e com o aparecimento do agregado graúdo para a posterior execução da sobre-laje. Nesta última solução, caso a laje estrutural não tenha sido corretamente preparada para o recebimento da sobre-laje, é comum o aparecimento de trincas ao longo do encontro desses elementos.

As sobre-lajes em concreto asfáltico são mais utilizadas devido à facilidade de aplicação e de substituição. Nas sobre-lajes em pavimento asfáltico são comuns o surgimento de patologias decorrentes do carreamento de material asfáltico através das trincas ou fissuras na laje estrutural de concreto. Outra patologia recorrente no pavimento asfáltico é o aparecimento de trincas perpendiculares ao estrado, quando ocorre o recapeamento sobre as juntas de dilatação do estrado, principalmente em pontes de pequenos vãos. O aparecimento dessas trincas transversais no pavimento, exatamente sobre as juntas, é a resposta quase imediata da estrutura.

Devido à maior magnitude do momento fletor existente no centro dos vãos da ponte, poderão existir anomalias nestas regiões tais como trincas e fissuras com decorrentes perdas de seção e da corrosão das armaduras.

Alguns caminhões de carga infringem gabaritos de pontes sobre vias terrestres, podendo atingir e danificar seriamente além dos elementos da sua superestrutura, os elementos da sua mesoestrutura, com possíveis repercussões na infraestrutura. Algumas colisões de grande impacto chegam a provocar deslocamentos do estrado das pontes. As colisões oriundas do tráfego sobre a ponte geralmente causam danos das barreiras atuais e destruições parciais ou totais aos guarda-corpos das pontes construídas até 1975.

As juntas de dilatação são utilizadas para permitir a dilatação ou retração da estrutura de concreto devido à variação da temperatura. Permitem dividir o estrado em trechos isostáticos ou ainda definir diferentes sistemas no mesmo, além de ser elemento componente na transição da rodovia para a ponte. Para todos os tipos existentes de junta poderão surgir trincas e fissuras decorrentes de erros de projeto de execução. Os erros de projeto consistem basicamente na incorreta especificação de abertura ou na falta dela. Os problemas advindos de falhas na fase executiva poderão resultar em diferença de nível de dois trechos separados por juntas e na falta de encaixe perfeito do material de cobertura da junta. Este último é devido às falhas na concretagem do vão para seu encaixe.

O sistema de drenagem tem por objetivo coletar e conduzir a água sob a superfície do estrado evitando acidentes e prevenindo a infiltração de água no concreto. A utilização de tubos de drenagem pode acarretar erosões sobre as saias de aterro e caso os mesmos estejam obstruídos, poderão causar vazamentos e manchas no concreto.

2.4.2 – Patologias próprias da mesoestrutura

Atualmente os aparelhos de apoio são executados através de articulações de concreto e neoprene. No entanto, durante longo período os aparelhos de chumbo foram especificados e em diversas

obras da malha rodoviária nacional continuam presentes. Após determinado tempo de uso, o material atingia seu limite de escoamento, se deformando até se transformar em uma lâmina delgada de contorno irregular. A sua funcionalidade rapidamente mostrava-se comprometida. O aparelho consistia em uma placa de chumbo retangular com espessura de 2 cm. Assim sendo, em algumas pontes da malha rodoviária nacional é comum observar-se áreas de esmagamentos e trincas no estrado e no topo dos pilares devido à falência desses materiais. As mesmas patologias costumam ser observadas devido à incidência de esforços cortantes acima de projeto, causadas pela incidência de cargas não previstas ou em função de erros nas especificações dos aparelhos de apoio. A incorreta especificação dos aparelhos de apoio resulta no surgimento de esforços não previstos em outros elementos da estrutura podendo gerar outras patologias.

Os pilares, devido sua função estrutural, podem apresentar fissuras nas suas extremidades de encontro com a superestrutura e com a fundação. Por vezes, surgem fissuras no topo dos pilares devido à deficiente armadura de fretagem. Na inexistência de folga dos aparelhos de apoio em relação às quinas do pilar, podem aparecer fissuras ou quebra do concreto nessas nas regiões. Nos pilares parede poderão surgir fissuras na sua base de encontro com a fundação, normalmente após sua execução. Este fato é devido à possibilidade de restrição imposta pelo bloco às ações de retração.

Nas estruturas dos encontros das extremidades das pontes surgem patologias decorrentes de infiltrações nas juntas de dilatação entre a pista da rodovia e a estrutura da ponte. São observados vazamentos sobre a parede, delaminação do concreto e depósito de detritos no suporte dos apoios. Os assentamentos irregulares das fundações poderão resultar em trincas nas paredes dos encontros.

2.4.3 – Patologias próprias da infraestrutura

As patologias mais freqüentes encontradas nas fundações de pontes são os recalques diferenciais, os deslocamentos, a erosão no concreto e a corrosão da armadura dos seus elementos. As erosões no concreto são decorrentes do desprendimento de fragmentos oriundos da ação contínua da

corrente de água nas pontes sobre cursos d'água e da falta de proteção nas regiões sujeitas a variações constantes de umidade. Os recalques diferenciais podem ter como causa a utilização de tensões equivocadas no cálculo estrutural ou a aplicação de carga indevida nas estruturas oriundas de veículos com carga superior à permitida para tráfego. Os deslocamentos das fundações usualmente têm como principais causas a estimativa errônea ou a não consideração de esforços horizontais de empuxo nos pilares de cabeceira na fase de projeto.

2.5 – Procedimentos de reforço em pontes de concreto armado

As mudanças realizadas nas normas brasileiras rodoviárias ao longo dos anos resultaram, dentre outros itens, no aumento na capacidade portante e nas alterações das configurações geométricas das pontes, conforme citado anteriormente. As reformulações dessas normas objetivaram a adequação das rodovias para o atendimento à nova frota de veículos nacional. Além desse fato, o desgaste e degradação de algumas estruturas de concreto das pontes, com o superveniente surgimento de patologias não acompanhadas de obras regulares para seu restabelecimento, resultaram na diminuição da capacidade portante dessas estruturas, fazendo-se necessário seu reforço para retornar a capacidade estrutural prevista no projeto. Finalmente, o alargamento ou duplicação das pistas de rodovias para o aumento da sua capacidade de tráfego exige o aumento da área da laje das pontes rodoviárias com conseqüente necessidade de reforço. Genericamente, as obras de reforço teriam essas três finalidades básicas: o restabelecimento das condições da ponte, sua adequação às normas vigentes e possíveis alterações geométricas da rodovia da qual faz parte.

Há que se destacar que as obras de reforço de pontes de concreto armado das rodovias federais brasileiras estão estreitamente ligadas à realização de serviços recuperação dessas estruturas. Devido aos fatores da avançada idade e desgaste natural, ao aumento das cargas da frota de veículos, aliados às dificuldades dos órgãos governamentais em realizar obras de recuperação regulares das pontes rodoviárias, diversas pontes apresentam comprometimento do seu comportamento estrutural. Ao realizarem-se os serviços de reforço, por vezes é identificada a

necessidade da execução de serviços de recuperação concomitantes aos de reforço. Em diversos casos, as obras de reforço das pontes rodoviárias nacionais são prescritas após o diagnóstico do comprometimento estrutural das pontes, decorrente da ineficaz ou mesmo ausente realização de programas regulares de manutenção. Dada à natureza dos procedimentos, os serviços de recuperação das pontes de concreto armado serão tratados no item 2.6.

A solução de reforço deverá contemplar aspectos estéticos e limitações funcionais de cada ponte. Para tal se faz necessário o conhecimento dos materiais e das técnicas pelo projetista bem como a sua correta orientação quanto às condicionantes específicas de cada projeto. A solução de reforço poderá variar com o regime do rio à época da intervenção, o acesso às partes da ponte, a estabilidade dos aterros das suas extremidades, a qualidade do solo sob a ponte entre outras. Para as pontes rodoviárias, existem condicionantes relacionadas ao tráfego que faz uso da mesma. Em alguns casos existem rotas alternativas ao tráfego durante a execução dos trabalhos de reforço, no entanto essas rotas comumente geram grandes distâncias adicionais, tornando inviável a sua adoção. Neste tipo de situação deve ser considerado no projeto de reforço o tráfego sobre a obra, com possíveis limitações ou intervenções temporárias.

Outra condicionante importante para obras administradas pelo Governo Federal se refere à disponibilidade de recursos financeiros para a execução destes trabalhos. A Administração Federal realiza a gestão financeira nacional onde são estabelecidas as prioridades e as necessidades emergenciais, variando de acordo com critérios próprios estabelecidos pelos legisladores do Congresso Nacional.

Existem diversos tipos de materiais utilizados para o reforço das estruturas de concreto armado e com frequência surgem novos produtos e tecnologias. Diversos materiais utilizados para as obras de reforço são também empregados nos serviços de recuperação. Os tipos de concreto de cimento Portland e suas possíveis combinações com aditivos atingindo propriedades específicas compõem a primeira grande variedade de opções desses materiais.

Outros materiais utilizados são argamassas poliméricas, orgânicas ou a base de poliéster e o “grout” de cimento. Como “grout” entende-se um material fluido, auto adensável, destinado a

preencher pequenas cavidades devendo, portanto, ser capaz de aderir perfeitamente a elas. Também é indicado seu uso em regiões de difícil acesso e peças de concreto densamente armadas. O “grout” deve ser ainda suficientemente resistente não sendo admitidas retrações deste material no seu estado endurecido. É composto de cimento Portland de alta resistência inicial, agregados de granulometria adequada e aditivos expansores e superplastificantes. É utilizada ainda a terminologia “microconcreto” que pode se referir ao “grout” e aos concretos elaborados com agregados com dimensão máxima de 9,5 mm, também referidos como concreto de pedrisco.

As tintas são amplamente utilizadas nestes serviços, destacando-se as acrílicas com base de água ou solventes. As tintas aderem ao substrato formando uma película sólida e impermeável. Algumas ainda podem proteger quimicamente a superfície do substrato evitando, por exemplo, processos corrosivos. Os principais tipos de tintas são: as oleosas, à base de látex, à base de epóxi e à base de uretanos. As tintas oleosas são pouco utilizadas na atualidade, pois estão sujeitas a degradação por saponificação em áreas úmidas. As tintas à base de látex resistem ao ataque do concreto alcalino, mas são suscetíveis de eflorescência. As tintas à base de epóxi possuem boa resistência a agentes químicos, água e umidade atmosférica. As tintas à base de uretanos são usualmente aplicadas sobre uma camada “primer” de epóxi e possuem boa adesão ao concreto, dureza, flexibilidade e resistência à luz solar, água, agentes químicos e abrasão; são, porém, sensíveis à temperatura e umidade durante a aplicação. Pinturas betuminosas ou a base epóxi são normalmente utilizadas com mais de uma demão. A primeira demão, chamada de “primer” assegura a boa aderência ao substrato sendo as demais demãos aplicadas após sua secagem.

Os selantes são utilizados nas juntas de dilatação das estruturas de concreto para impedir a passagem de líquidos, gases, vapor ou partículas sólidas. Possuem comportamento mecânico elástico se deformando juntamente com a estrutura. São utilizados com base similar às das resinas de pinturas, podendo ser com base acrílica, poliuretana, epóxi, betuminosa, etc. Outras propriedades dos selantes são a resistência às intempéries, aos agentes agressivos e sua boa aderência ao substrato.

Os adesivos e “primers” são materiais usados como ponte de aderência entre outros dois materiais, formando em geral um “elo” entre concretos existentes com novas estruturas

adicionais. O concreto existente também é denominado “concreto velho” ou substrato. São capazes de promover aderência inclusive entre concreto e aço. Os “primers”, além de atuarem como ponte de aderência podem ter função de proteger o substrato, por exemplo, garantindo a proteção das armaduras contra corrosão. Os adesivos e primer mais empregados são os de base epóxi e os chamados látex.

Especificamente para as obras de reforço, visando o acréscimo da resistência da ponte, existem ainda os cabos de protensão e estaiados, os suportes elásticos, as estruturas de perfis de aço, as fibras de carbono e as chapas metálicas.

As obras de reforço exigem um planejamento mais detalhado da sua execução com vistas a garantir a segurança dos procedimentos. Deverá ser analisado o comportamento estrutural da ponte durante os trabalhos de reforço, em cada intervenção, evitando sobrecarregar elementos enfraquecidos ou que ainda não tiveram seu reforço executado (CÁNOVAS, 1988). As interferências não podem danificar elementos sãos. Durante o planejamento há que se considerar que alterações individuais em elementos estruturais modificam o comportamento estrutural global. Cada interferência determina nova distribuição das tensões e diferentes respostas dos elementos componentes da ponte.

Os procedimentos de reforço em pontes são comumente identificados na bibliografia de acordo com a região estrutural da ponte onde são executados. Este fato deve-se ao comportamento estrutural diverso de cada uma dessas regiões, gerando procedimentos de reforço específicos para a superestrutura, mesoestrutura e infraestrutura. O aumento da seção transversal com acréscimo de armadura dos elementos surge como procedimento comum para essas regiões estruturais, sendo então citado separadamente neste estudo e posteriormente é realizada a apresentação dos demais procedimentos de acordo com cada região.

2.5.1 - Aumento da seção com acréscimo de armadura

Diversos elementos podem ter sua resistência elevada através do aumento da seção transversal com conseqüente acréscimo da sua armadura estrutural. Realizado em pilares, vigas, consoles e mesmo no tabuleiro, trata-se de um método com custo normalmente atrativo, dispensando o uso de equipamentos muito sofisticados.

No caso dos pilares este método é o mais vantajoso economicamente (DER/SP, 2006). No entanto, possui o inconveniente de resultar em elementos finais com dimensões muito superiores às originais, podendo se constituir fator limitante de utilização no caso de pontes sobre cursos d'água trafegáveis. A camada mínima para aumento da seção de um pilar está condicionada à sua possibilidade de execução e ao tamanho do agregado máximo utilizado no concreto do reforço. É indicado o mínimo de 10 cm para a camada de reforço em cada face do pilar, podendo atingir até 6 cm com o uso de superplastificantes e agregados de 20 mm de diâmetro. É sugerido que concreto do reforço tenha no mínimo uma resistência superior ao concreto existente de 5 MPa (DER/SP, 2006).

Todos os elementos acrescidos deverão ser incorporados à estrutura existente. O concreto utilizado para o reforço deverá ter propriedades e características compatíveis com aquele existente, garantindo a solidarização entre os elementos. A ligação entre o concreto novo e o existente é feita usualmente através de barras de aço devidamente ancoradas e do preparo desta superfície de interface com devido apicoamento, garantindo rugosidade suficiente para que os elementos passem a trabalhar solidariamente.

De acordo com o manual do DNIT, pelo menos parte das cargas atuantes sobre o elemento que sofrerá aumento de seção deverão ser retiradas, através de escoramentos. Toda a superfície da interface do elemento existente e do seu acréscimo deverá ser apicoada cuidadosamente. Deverão ser realizados furos para a passagem dos novos estribos e das barras de aço para ancoramento. Após o posicionamento das barras de aços nos furos, deverá ser injetada uma resina a base epóxi, visando fornecer a aderência necessária. É realizada a limpeza da superfície com auxílio de jatos de água ou de ar. Com a superfície seca, aplica-se um produto específico, normalmente são

utilizados adesivos à base epóxi com baixa viscosidade, visando garantir a “ponte de aderência” em todas as superfícies da interface do concreto existente e do novo. São instaladas as novas armaduras da nova seção. A concretagem do novo elemento é executada com aditivos próprios para garantir a fluidez necessária, respeitando posteriormente o prazo para a devida cura do concreto. A especificação do concreto do reforço deverá considerar a espessura de acréscimo e a localização e geometria do elemento da ponte que está sendo reforçado. As alternativas para o concreto de reforço são o concreto tradicional, o autoadensável, projetado para evitar retrações, o microconcreto para maior fluidez e algumas argamassas estruturais à base epóxi (HELENE, 2003). No caso dos pilares, este procedimento poderá ser feito em etapas definidas por trechos ao longo da sua altura, observando a correta preparação da superfície no seu topo, região de encontro com vigas ou lajes que deverão ter sua superfície de contato devidamente preparadas.

2.5.2 - Aumento da capacidade de elementos da superestrutura

A protensão dos elementos da superestrutura é um dos métodos de reforço utilizados para esta região. A análise do tipo dos cabos utilizados, do traçado desses cabos e da quantidade e a localização das ancoragens e fixações potencializam a capacidade adicional a ser fornecida para a estrutura através deste método. Outros métodos utilizados para o reforço dos elementos da superestrutura de pontes seria a adição de cabos estaiados, de suportes elásticos, a incorporação de chapas metálicas ou “*steel plates*” e implantação de compósitos, tais como as fibras de carbono.

A adição de protensão objetiva o aumento da resistência e a melhoria do comportamento estrutural em serviço nos esforços gerados na flexão e no cisalhamento. São utilizados cabos adicionais na região externa das vigas, devido à dificuldade da inserção dos cabos através da execução de furos na estrutura da laje existente. Uma opção é o uso de cabos parabólicos envolvidos por novo concreto, devendo este novo elemento estar totalmente ligado ao concreto existente, de forma que as estruturas trabalhem em conjunto.

A otimização do traçado dos cabos para aumento de resistência poderá ser feita através da especificação de cabos parabólicos ou de cabos instalados perpendicularmente à direção dos esforços, por exemplo. Estas possibilidades deverão ser consideradas quando se fizer necessário um aumento da resistência ao cisalhamento. Para todas as possibilidades deste método deverão ser avaliados os efeitos da protensão no conjunto da obra, a dificuldade da inserção dos cabos e finalmente, a viabilidade econômica de cada opção.

De modo semelhante, as inserções de ancoragens adicionais e fixações internas na estrutura existente são em geral realizadas com extrema dificuldade. É prática comum aos projetistas a tentativa de minimizar a quantidade destes materiais bem como facilitar sua inserção optando quando possível pela utilização de cabos retos e contínuos sobre todo o comprimento. Para as pontes com vigas de seção caixão, a adição da protensão por cabos externos tem sido o meio mais utilizado de reforço do tabuleiro dessas estruturas (DER/SP, 2006).

O reforço no tabuleiro poderá ser feito através da instalação de cabos estaiados. Este método requer a instalação de uma torre e de estaios e neste fator se dá sua limitação: a possibilidade da interferência destes novos elementos com a pista de rolamento. Como opção, podem ser executadas vigas transversais na posição de introdução dos estais. A viabilidade econômica deste método se dá principalmente nos casos de pontes com grandes vãos, dado que no caso de pequenos vãos, as vigas transversais necessárias se aproximam em grandeza dimensional das vigas da própria obra.

Os suportes elásticos são especificados quando se deseja eliminar as tensões adicionadas a estrutura devido à rigidez dos suportes originais em conjunto com a previsão de um processo gradual de deformação. Especificamente, este método pode ser utilizado para sustentar a parte inferior do tabuleiro diretamente nos pilares ou em seções caixões com a colocação de protensão, pórticos ou treliças de aço dentro da célula do caixão.

A incorporação de chapas metálicas ou “*steel plates*” é utilizada para aumentar a capacidade portante ou para restabelecer as condições originais de desempenho, fundamentalmente de

suporte de carregamentos móveis. Esta técnica aumenta a rigidez e a capacidade de carregamento reduzindo conseqüentemente as deformações e fissurações.

2.5.3 - Aumento da capacidade de elementos da mesoestrutura

Frequentemente, nas obras para aumento de capacidade de tráfego são realizados, além do alargamento da ponte, a construção de novos pilares e travessas de apoio paralelas às estruturas existentes.

Outros métodos de reforços para pilares utilizam técnicas de confinamento do concreto. O confinamento é realizado através de cintamentos interligando os pilares de forma a gerar pressões transversais ao eixo de cada pilar. Essas pressões de superfície adicionais geram aumento da resistência destes elementos com pequeno aumento das suas dimensões. O método poderá ser ativo ou passivo de acordo com a forma em que é gerado o confinamento. No método ativo é realizada a aplicação de protensão transversal ou a colocação de materiais expansivos confinados. No método passivo são incluídas chapas de aço ou camisas de compósitos coladas ou especificados pequenos espaçamentos dos estribos com o mesmo objetivo: a restrição da expansão lateral do concreto. O pilar poderá ser completamente confinado, como no caso de colagem de fibras de carbono com resina epóxi.

2.5.4 - Aumento da capacidade de elementos da infraestrutura

O reforço permanente da infraestrutura deverá ser realizado quando seus elementos originais estejam com seu desempenho estrutural comprometido ou quando existir um aumento de carga aplicada às fundações. Este aumento poderá ter como causas as modificações das situações de projeto previstas ou a ampliação da estrutura da ponte.

O reforço da infraestrutura poderá ser de caráter provisório, comumente utilizado nos casos de reforços na estrutura de qualquer elemento da ponte ou para atender uma demanda provisória de utilização.

Deverá ser considerada a substituição completa da fundação nos casos de elevados níveis de sua deterioração ou quando o aumento da capacidade de carga do elemento é de custo inviável, considerando a constituição da antiga estrutura. Os elementos novos da fundação poderão ou não ter características semelhantes às originais.

A definição do método de aumento da capacidade dos elementos da infraestrutura deverá considerar a urgência da intervenção, o solo, as fundações existentes, o nível de carregamento requerido e as condições físicas para a sua execução. Há que se atentar que a perda da capacidade do elemento poderá estar associada apenas a deterioração dos materiais da sua constituição. Neste caso, com o tratamento das patologias, o elemento retomará suas características estruturais originais.

Em outros casos, a perda da capacidade do elemento poderá também ter com causa alguns problemas na transferência das cargas para o solo. Para estes casos e para aqueles que visam à ampliação da estrutura, o tratamento das patologias não é suficiente.

Para minimizar os recalques diferenciais a estrutura poderá ser enrijecida através de execução de vigas de rigidez interligando a fundações. No caso de fundações por sapatas ou tubulões, o reforço poderá ser realizado através do aumento da área de apoio do elemento com o solo, uma vez que a transferência dos esforços nestes casos é realizada através da superfície horizontal de contato.

Para todos os tipos de fundações e nos casos onde exista espaço suficiente, poderão ser utilizados diversos tipos de estacas adicionais de reforço, tais como: estacas prensadas ou de reação, estacas injetadas e convencionais de concreto ou metálicas. As estacas prensadas ou de reação são de concreto armado vazado ou de perfis metálicos sendo cravadas através de macaco hidráulico que

reage contra uma "cargueira", contra a estrutura ou mesmo contra uma fundação já existente. O método consiste em instalar pequenos elementos superpostos destas estacas.

As estacas injetadas são denominadas estacas-raiz, microestacas ou presso-ancoragens; elas são concretadas “*in-loco*” após perfuração de fuste com circulação de água. Esta estaca pode ter pequeno diâmetro, entre 10 e 41 cm, possui expressiva capacidade de carga baseada essencialmente na resistência por atrito lateral do terreno. Os equipamentos são pequenos e portáteis, podendo alcançar locais com limitações de área e altura e de difícil acesso. Devido ao processo executivo, a estaca raiz é uma estaca de argamassa armada, com fuste rugoso e armada ao longo do seu comprimento. A figura 2.3 mostra a seqüência executiva das estacas do tipo raiz e fotos da sua execução em obras.

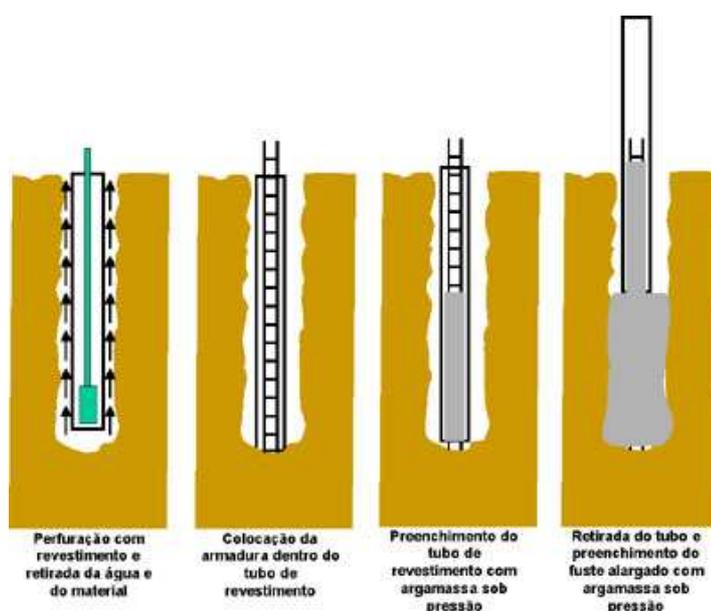


Figura 2.3 – Execução de estaca tipo raiz

Fonte: UEPG, 2011

Para os locais onde não existir altura suficiente para a instalação de bate-estacas poderão ser executadas sapatas e tubulões para aumentar o número de apoios reduzindo o carregamento das estacas originais. Outra solução é a melhoria das características de resistência e compressibilidade dos solos de apoio das fundações através de compactação, injeção de nata de cimento ou gel sob altas pressões tais como o “*Jet grouting*” o “*CCP (cemente Churning Pile)*” ou geogrelhas.

2.6 – Procedimentos de recuperação de estruturas das pontes de concreto armado

HELENE (2003) define “terapia” como o estudo da correção e da solução dos problemas patológicos identificados que não são advindos do envelhecimento natural do material. Ainda segundo HELENE, para o êxito das medidas terapêuticas é necessário não somente um estudo prévio para decidir o diagnóstico em cada questão, mas o conhecimento das vantagens e desvantagens dos materiais, dos sistemas e de cada um dos procedimentos de reabilitação de estruturas de concreto. Para cada situação particular existe uma alternativa ideal de intervenção.

Os materiais utilizados para as obras de recuperação são os mesmos citados para as obras de reforço, a exceção daqueles citados especificamente para o reforço. A seguir são citados os principais procedimentos de recuperação das pontes de concreto armado.

2.6.1 - Remoção e substituição de concreto

A remoção do concreto pode ser superficial, quando não alcança a armadura e profunda, quando atinge essa ou se vai além dela. O método mais utilizado para remoção é o mecânico que pode ser realizado através da utilização de ponteiros ou cinzéis, por rompedores ou por jato de areia/ jato de areia de alta pressão ou hidrodemolição. O concreto também poderá ser removido por meio térmico ou químico. A escolha do método considera a profundidade do material a ser removido, sua extensão e localização na estrutura (IPR, 2010).

Em todos os métodos mecânicos de remoção deve-se controlar barulho, poeira e vibração. Vale ressaltar que a remoção e substituição do concreto provocam cicatrizes, exibindo a área de transição entre o concreto velho e o material do reparo. Caso seja importante zelar pelo aspecto estético de certas estruturas, é usual a adoção de acabamentos que diminuem o contraste gerado.

Antes de qualquer procedimento de remoção de material, deve ser analisada e garantida a estabilidade do elemento e da obra. O concreto danificado deverá ser totalmente removido, bem

como o material solto resultante do processo de remoção, restos de pintura, impurezas ou qualquer outra substância que possa estar na interface do substrato com o material de reparo. Após a retirada do material, a superfície deverá ser tratada, normalmente apicoada, para obter uma rugosidade suficiente visando receber o material de preenchimento. Em seguida deverá ser feita a limpeza da superfície, realizada usualmente com jato de ar comprimido. Finalizando, a superfície deverá ser umedecida para que o concreto antigo não absorva parte da água do material do reparo. O procedimento descrito visa garantir a aderência entre o concreto antigo e o material do reparo.

A escolha do material de reparo dependerá da análise do volume do material a ser substituído, da profundidade do reparo, dos efeitos das cargas sobre o reparo e das condições de acesso e trabalhabilidade do local do reparo. O material utilizado deverá ainda possuir propriedades idênticas ou compatíveis ao concreto existente, garantindo a solidarização de ambos, resultando num único comportamento estrutural.

2.6.2 - Remoção da corrosão

A corrosão nas pontes de concreto pode ser verificada nas armaduras, nos cabos de protensão, ancoragens, aparelhos de apoio metálicos, guarda-corpos metálicos e outros elementos. A remoção normalmente é feita com o uso de escovas de aço, lixas manuais ou mecânicas e jatos de areia. Deverá ser removido todo o material resultante do processo de corrosão, inclusive o concreto atingido.

As armaduras nas áreas de corrosão do concreto deverão ser expostas visando a remoção do material corroído; para isso, deve-se sempre analisar e garantir a estabilidade e resistência do elemento em questão. Após a remoção da corrosão é avaliada a perda da seção das barras. No caso de perdas de seção superior a 10%, deverá ser colocada armadura adicional devidamente ancorada. Para perdas de seção inferiores a 10%, deverá ser realizada uma proteção contra corrosão que pode ser feita envolvendo a armadura com argamassa de alto teor de cimento, grout ou argamassa epoxídica.

2.6.3 - Remoção de manchas

A princípio deverá ser identificada a causa do surgimento desta patologia, de forma a estagnar sua origem. Após cessar os agentes causadores, a superfície poderá ser limpa com escovas de aço, lixas manuais ou mecânicas e jatos de ar ou de água. A escolha do método é função da extensão da mancha e da porosidade do concreto.

2.6.4 - Tratamento de vazios, cavidades, ninhos e desagregações

Para o preenchimento destas áreas são utilizados os materiais: grout de cimento Portland, argamassa de cimento, argamassa epoxídica, argamassa polimérica e o concreto projetado. Para a aplicação destes materiais é fundamental o preparo correto da superfície, da mesma forma prevista para a substituição de concreto.

2.6.5 - Tratamento de trincas e fissuras

O agente causador deste tipo de patologia deverá primeiramente ser detectado e eliminado antes do tratamento das trincas e fissuras, sob o risco da reincidência destas.

Para as fissuras inativas (aquelas que não apresentam alteração das suas dimensões ao longo do tempo) usualmente é especificado o preenchimento das mesmas com argamassas com ou sem aditivos ou resinas epóxi. A superfície deverá ser limpa e poderá ou não necessitar de aumentar suas dimensões para o posterior preenchimento.

O tratamento de fissuras ativas se faz através de preenchimento com materiais com comportamento elástico. Os mais utilizados são aqueles à base de betume, de poliuretana simples e modificada.

As fissuras de pequena abertura são em geral recuperadas por injeção de resina epoxídica através de purgadores. O tratamento das fissuras de grande abertura e das fraturas dependerá basicamente: da dimensão, dos prováveis aumentos da dimensão e da movimentação da fissura ou fratura. Estas patologias são estudadas de forma análoga a uma junta móvel da estrutura. Primeiramente é feita uma cavidade ao longo da fissura que será preenchida com selante elástico. Os selantes mais utilizados são os mastiques, os termoplásticos e os elastômeros.

Os mastiques são produtos à base de polímeros de elevado desempenho ou de outros materiais de construção modificados com estes polímeros. Podem ter na sua composição agentes modificadores de suas propriedades, aditivos, fillers ou fibras. São especificados para movimentações inferiores a 15% da abertura da cavidade. Estes selantes são viscosos e têm sua utilização limitada a aplicação em faces verticais ou a faces livres de tráfego na estrutura.

Os termoplásticos são polímeros sintéticos e possuem como principal propriedade a sua fusão por aquecimento e seu endurecimento ou solidificação por resfriamento. Os denominados “termoplásticos de engenharia” são o policarbonato e as poliamidas, sendo esses últimos utilizados no tratamento das fissuras e fraturas ativas. São exemplos de termoplásticos os asfaltos e asfaltos modificados. São especificados para movimentações até 25% da cavidade.

Os elastômeros possuem diversas composições tais como poliuretanos, silicones e acrílicos e por vezes a composição de mais de um desses materiais. Estes materiais não necessitam ser aquecidos para a aplicação e possuem boa adesão ao concreto e possuem maior capacidade de alongamento quando comparados aos termoplásticos. Possuem ainda a vantagem de não perderem o comportamento elástico sob temperaturas normais.

2.6.6 - Aplicação de revestimentos protetores

A aplicação de revestimentos protetores sobre o concreto reconstituído visa à impermeabilidade do material, impedindo a entrada de água ou de cloretos. São utilizadas tintas e membranas hidrofugantes.

As membranas hidrofugantes formam uma barreira contra a água e cloretos; elas penetram no concreto resultando em forte adesão. Possuem ainda grande resistência à abrasão do tráfego e às intempéries.

No caso da aplicação de tintas, são aplicadas duas camadas: a primeira para preencher os vazios e a segunda para agir como filme de proteção sobre a primeira. No caso de superfícies lisas e bem acabadas pode ser utilizada uma camada, conforme o caso.

3

Metodologia

Para a pesquisa buscou-se selecionar pontes rodoviárias de concreto armado no estado de Minas Gerais que sofreram intervenções de reforço entre cinco anos e dez anos. O prazo mínimo de cinco anos foi determinado para que fosse possível verificar se o procedimento de reforço escolhido foi eficiente na eliminação das causas das patologias. O prazo máximo de dez anos tem por objetivo evitar que a pesquisa indique patologias que são decorrentes do seu desgaste natural da estrutura aliado a sua deficiente manutenção ao longo dos anos, evitando o julgamento incorreto da eficácia do método de reforço utilizado.

Além do prazo da intervenção, outro critério de seleção das obras foi a existência de documentação suficiente e mais detalhada possível que pudesse descrever os dados de construção original da obra, do seu comportamento ao longo dos anos, das condições que levaram a decisão de reforçar e recuperar sua estrutura e finalmente, as informações das obras realizadas.

Decorrentes desses critérios, quatro obras foram selecionadas para a análise. A tabela 3.1 descreve os dados principais das obras escolhidas.

Tabela 3.1 – Obras escolhidas para a pesquisa que atenderam ao critério estipulado.

Estado	Rodovia	Localização		Natureza da transposição	Data da obra de reforço da ponte	Denominação da obra
		Km da rodovia	Município			
Minas Gerais	BR-135	659,0	Curvelo	Ponte	2006	Ponte sobre o Córrego do Leitão
	BR-381	271,5	Jaguaraçú	Ponte	2007	Ponte sobre o Córrego Jaguaraçú
		276,0	Antônio Dias	Ponte	2005	Ponte sobre o Rio Piracicaba
		328,8	Bela Vista de Minas	Viaduto	2007	Viaduto de Acesso a Bela Vista de Minas

3.1 – Procedimento

Primeiramente, buscou-se estudar o histórico de cada obra. Este estudo preliminar consistiu em verificar os projetos e as premissas técnicas que nortearam a construção da ponte e em obter alguns detalhes da sua construção. Verificaram-se ainda os registros de inspeções realizadas ao longo da existência da ponte.

Posteriormente a este histórico, foram estudados os relatórios das inspeções que culminaram na decisão pelo reforço, tendo sido diagnosticadas as patologias existentes na época. Procurou-se identificar as decisões técnicas que nortearam a elaboração dos projetos dessas obras.

Foi realizado em seguida um estudo do projeto executivo do reforço, dos seus procedimentos e materiais especificados. A documentação da execução dos projetos em algumas obras possuía inclusive o registro fotográfico da fase executiva e as planilhas das medições dos serviços.

Após o estudo deste material, verificou-se, por meio de inspeção visual realizada às obras o estado da ponte de estudo atentando para a possível reincidência das patologias outrora motivadoras do reforço, tendo sido em seguida realizada a análise dos resultados obtidos.

A figura 3.1 mostra as etapas do trabalho com os elementos principais utilizados em cada fase.



Figura 3.1 – Etapas do trabalho de pesquisa

Para apresentação dos dados e informações resgatados, optou-se por registrar todas as etapas de cada obra, buscando facilitar a compreensão do material estudado e da sua relação com os resultados colhidos na inspeção final realizada em cada ponte. Todas as informações das inspeções especiais realizadas e dos procedimentos de reforço das pontes foram retiradas e adaptadas dos processos nº 50606.004382/2007-84, nº 50606.067271/2005-17 e nº 50606.011720/2005-72 do DNIT, acessíveis para a consulta pública na Superintendência Regional de Minas Gerais.

4

Apresentação e Análise dos Resultados

4.1 – Pontes na Rodovia BR 135

A Rodovia BR-135 é uma rodovia brasileira que interliga a capital do estado de Minas Gerais a capital do estado do Maranhão, cidades de Belo Horizonte e São Luís, respectivamente. Sua importância econômica dá-se por ser a principal via de escoamento de produtos agrícolas, principal economia desta região e a de realizar a interligação entre diversos municípios em quatro estados brasileiros, ao longo dos seus mais de 2.400 km de extensão. No trecho entre os municípios de Paraopeba até Belo Horizonte a rodovia BR-135/MG é coincidente com a rodovia BR-040/MG.

4.1.1 - Ponte sobre o Córrego do Leitão

A ponte sobre o Córrego do Leitão está localizada no km 659 da Rodovia BR-135, no município de Curvelo, no Estado de Minas Gerais. Tem como sub-trecho o entroncamento com a BR-259(B) (Curvelo) até o entroncamento com a BR-040(A), sob código 135BMG0850 no sistema

nacional de viação (SNV) de 2012. A figura 4.1 mostra a localização da BR-135, da cidade de Curvelo e da Ponte sobre o Córrego do Leitão



Figura 4.1 – (a) Localização do Brasil. (b) Localização da BR-135. (c) Localização da mesorregião Central Mineira. (d) Localização da Ponte sobre o Córrego do Leitão e da Cidade de Curvelo. Fontes: adaptado de (a) Brasil Escola, 2013, (b) BioRio, 2013. (c) Portal Minas Gerais, 2013. (d) DNIT, 2012.

4.1.1.1 - Dados do Projeto e da Construção da Ponte

Esta ponte foi projetada e construída em 1959. O projeto foi elaborado pela equipe técnica do Departamento de Estradas de Rodagem de Minas Gerais (DER/MG) com as principais características descritas na tabela 4.1.

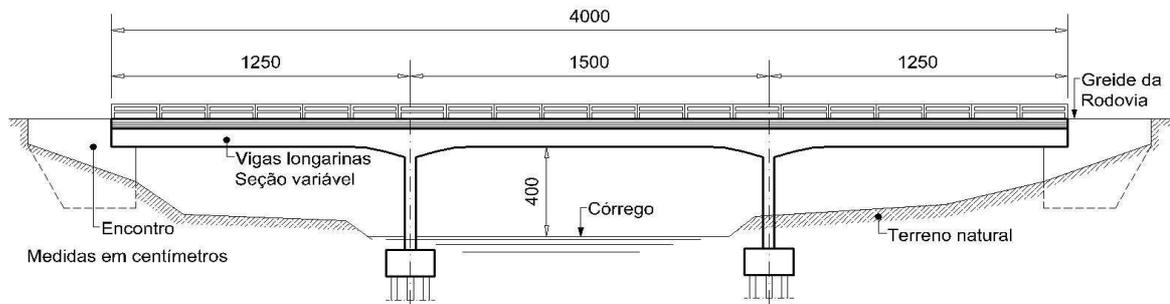
Vale frisar que apenas a partir de 1960 foram elaboradas normas técnicas determinando o trem-tipo, classe, cargas de cálculo e as características geométricas a serem adotadas nas pontes. Sendo esta ponte anterior a este período e não existindo registros do seu enquadramento em algum

procedimento adotado na época, não é possível determinar, com os documentos da sua concepção, a classe da ponte e o trem-tipo adotado.

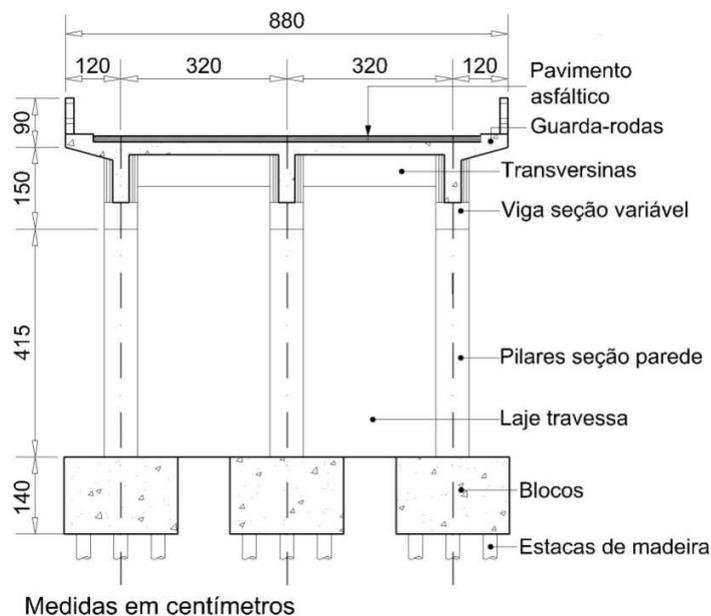
Tabela 4.1 – Características do projeto original da Ponte sobre o Córrego do Leitão

MATERIAIS	
<p>Todos os elementos em concreto armado a exceção das estacas da fundação em madeira.</p> <p>Aparelhos de apoio fixos em chumbo.</p> <p>Revestimento asfáltico da pista com 11 cm de espessura.</p> <p>Sem especificações do sistema de drenagem.</p>	
REGIÃO	
Obra situada em vale de região ondulada (mares de morros).	
DADOS GEOMÉTRICOS	
Ponte ortogonal ao rio e tangente a rodovia.	
Comprimento Total	40,0 m com 3 vãos: 12,5+15,0+12,5 m
Largura total	8,0 m com 2 pistas de 3,50 m
Acostamento	Não possui
Guarda-rodas	Seção transversal de 50 x 15 cm
Guarda-corpo	Em concreto vazado, com 90 cm de altura
Laje	Espessura de 23 cm
Longarinas	Seção transversal variável de 30 a 60 x 110 a 240 cm
Transversinas	Seção transversal de 15 x 60 cm
Pilares	Triplos com seção tipo parede. Seção transversal de 45 x 60 cm ligados por laje travessa de 15 cm de espessura
Fundação	Profunda, com blocos com diâmetro de 2,05 m e altura de 1,20 m
Laje de Transição	Não possui
Balanço nas extremidades	Com 1,0 m ao longo do greide da rodovia
Encontros	Tipo muro de ala, com 3,5 m ao longo do greide da rodovia e 4,0 m de altura.
Cortina	Sim (integrante do muro de ala).

A figura 4.2 mostra a vista longitudinal e o corte transversal com as características geométricas da concepção da ponte.



(a) Vista longitudinal da ponte sobre o Córrego do Leitão



(b) Corte transversal no eixo do vão principal

Figura 4.2 – Detalhes do projeto original da ponte sobre o Córrego do Leitão

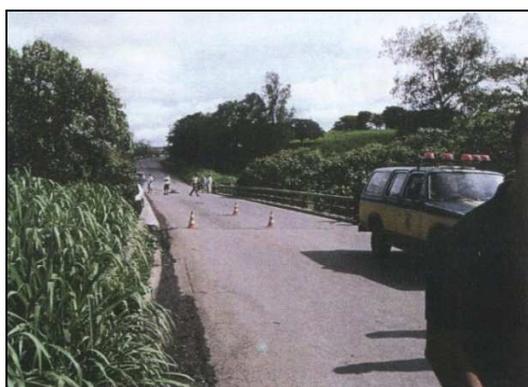
4.1.1.2 - Vistoria especial

Não existem informações ou documentos sobre inspeções realizadas anteriormente àquela que identificou a necessidade do reforço.

Em dezembro de 2005 parte da laje do tabuleiro da ponte rompeu-se, abrindo um buraco com aproximadamente 2,5 m de diâmetro. Em vista deste acontecimento, a ponte foi interditada e foi realizada uma vistoria especial no dia 16/12/2005. A vistoria constou apenas da inspeção visual, resultando em um parecer técnico datado de 18/12/2005. Deste relatório foram retiradas as informações elencadas a seguir que tratam do diagnóstico das patologias, da conjectura das suas prováveis causas e das providências sugeridas para a solução dos problemas encontrados.

O pavimento estava em péssimas condições. As vigas e a face inferior da laje apresentavam marcas de infiltração já com processo de lixiviação e colmatação do concreto. As longarinas e as transversinas possuíam armaduras expostas e especificamente nas longarinas, o processo corrosivo já estava bastante adiantado. Os pilares centrais apresentavam trincas e fissuras. Os pilares das extremidades, as cortinas e muros de ala estavam regularmente conservados. Os encontros sofreram esmagamento localizado devido a ruptura dos aparelhos de apoio. Os taludes estavam estáveis, com a devida cobertura vegetal e leves sinais de erosão. Os guarda-corpos estavam em estado ruim com diversos módulos destruídos. Nesta vistoria não foi realizada a inspeção das fundações devido ao nível d'água do Córrego do Leitão naquele dia.

A figura 4.3 corresponde a documentação fotográfica do relatório da vistoria.



(a) Vista superior da ponte



(b) Vista lateral e inferior da ponte



(c) Vista superior do buraco da laje



(d) Vista inferior do buraco da laje



(e) Guarda-corpos destruídos, sinais de infiltração na longarina.



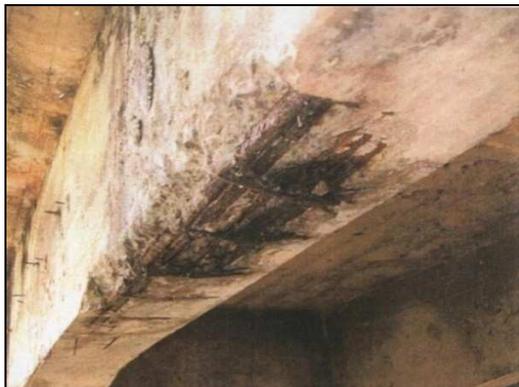
(f) Sinais de infiltração e lixiviação na parte inferior da laje e nas vigas.



(g) Destruição dos aparelhos de apoio e ruptura do apoio do encontro.



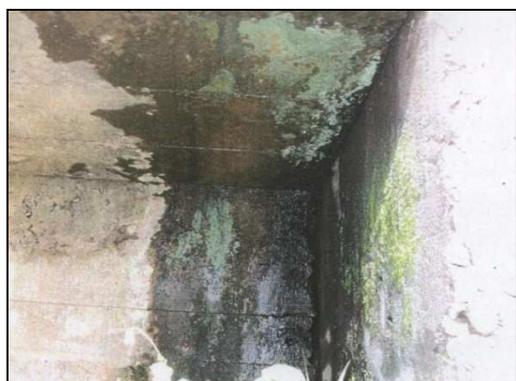
(h) Detalhe da destruição dos aparelhos de apoio e da ruptura do apoio do encontro.



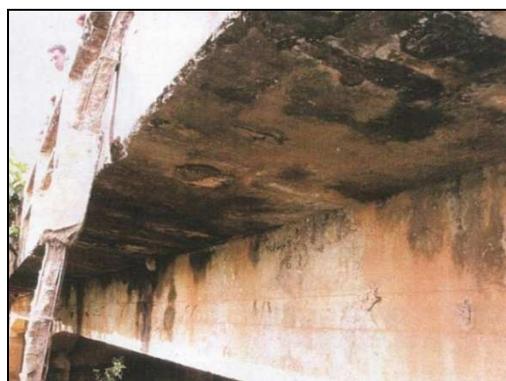
(i) – Armação exposta em longarina.



(j) – Armação exposta em longarina externa com processo corrosivo adiantado e deslocamento do concreto.



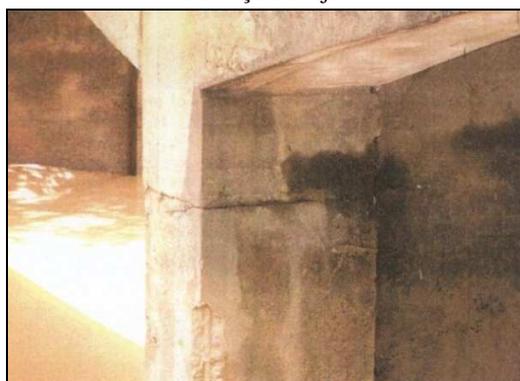
(k) Infiltração e sinais de lixiviação no encontro.



(l) Infiltração e sinais de lixiviação na face inferior do balanço da laje.



(m) Trincas e fissuras nos pilares centrais.



(n) – Esmagamento do aparelho de apoio e danos no pilar central.

Figura 4.3 – Registro fotográfico das patologias da ponte do Córrego do Leitão na vistoria especial

Além do já exposto, o relatório de inspeção relata ainda que o sistema de drenagem era insuficiente, com drenos curtos e ausência de pingadeiras nas extremidades da laje do tabuleiro. Este fato provocava o escoamento da água do tabuleiro para a face inferior da laje em balanço e

para as vigas, causando infiltração e lixiviação do concreto nestes elementos. Devido a ausência de inspeções anteriores com monitoramento das patologias, concluiu-se que as deficiências estruturais verificadas eram resultantes do acúmulo dos danos ocorridos ao longo do tempo que foram potencializados, devido às fortes chuvas incidentes na região naquela época.

Na tabela 4.2 estão relacionadas, por elemento, as providências sugeridas no relatório para o tratamento das patologias.

Tabela 4.2 – Providências necessárias sugeridas pelo relatório da vistoria especial

ELEMENTOS	PROVIDÊNCIAS NECESSÁRIAS
Estrado	Demolir e substituir toda a laje do estrado.
Transversinas	Demolir e reconstruir as transversinas de apoio, com reforço de forma a possibilitar futuras substituições dos aparelhos de apoio.
Longarinas	Reforçar as longarinas principais devido a corrosão de sua armação principal.
Todos os elementos	Recuperar os danos e ferragens expostas nos demais elementos da ponte.

Os reforços descritos nas providências necessárias do relatórios não contemplavam a adequação do trem-tipo ao vigente (aumento da capacidade de carga da ponte).

Foi concluído que as patologias existentes afetavam a segurança da ponte e se fazia necessária seu imediato reforço. A passagem de veículos foi restringida para somente veículos leves (automóveis de passeio) com baixa velocidade. A indicação da velocidade máxima foi sinalizada (placas e redutores de velocidade) e controlada com efetiva fiscalização. Os demais veículos deveriam seguir desvio por outra via rodoviária devidamente sinalizado na ocasião.

4.1.1.3 - Projeto e execução dos procedimentos de reforço da ponte

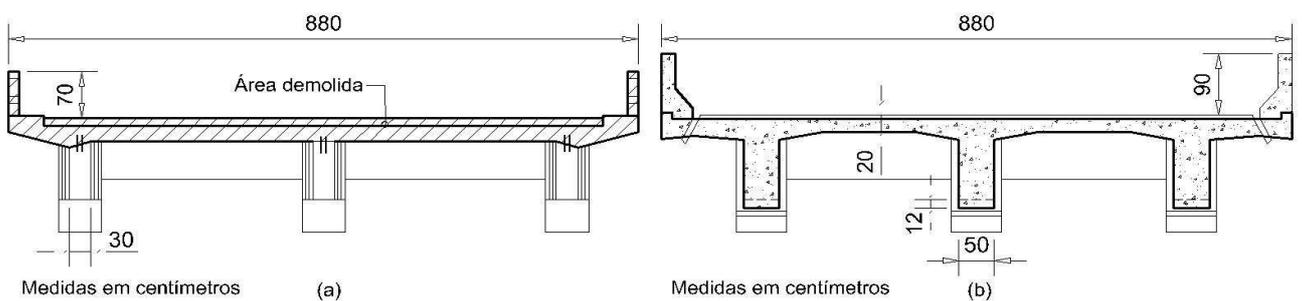
O projeto de reforço da ponte contemplou as sugestões previstas na tabela 4.2 e ainda promoveu duas melhorias: a adequação do trem tipo para o TB-45 e a construção de guarda-corpo lateral do tipo barreira New Jersey.

Além do relatório da inspeção, o projeto de reforço teve como subsídio técnico os resultados de sondagem realizada em dois furos (um em cada extremo da obra).

Apresenta-se a seguir o projeto e a execução do reforço. A descrição está dividida em itens, com desenhos esquemáticos de projeto e documentação fotográfica das intervenções na fase executiva. Quando utilizado o termo “reforço” nas figuras descritivas, está subentendido a adequação do trem-tipo.

A) Demolição e substituição da laje do estrado. Reforço das longarinas através do aumento da seção transversal e acréscimo de armaduras.

A laje do tabuleiro foi demolida, preservando as armaduras existentes e executada nova laje (Figura 4.17). As três longarinas foram reforçadas através do aumento da sua seção transversal com acréscimo de armadura, de acordo com as figuras 4.4 e 4.5.



a) Laje antiga com demarcação da área a ser demolida do tabuleiro

b) Nova laje construída

Figura 4.4 – Detalhes da demolição e da reconstrução da laje do tabuleiro

A nova seção das longarinas consistiu no aumento de 30 para 50 cm na largura e de 12 cm na altura, em toda a sua extensão. A nova armadura positiva das longarinas foi incorporada à viga

por meio do aumento da seção; a nova armadura negativa foi incorporada à armação existente e concretada junto com a nova laje.

Após a demolição da laje, foi realizado o macaqueamento do estrado através de estrutura metálica auxiliar, em duas fases distintas: cada uma contemplando um extremo. Toda a superfície das longarinas foi apicoada, tendo sido removida a camada superficial de concreto até o aparecimento da ferragem. O serviço foi feito com ferramentas manuais para que o restante da estrutura não fosse danificado. Após o apicoamento foi feita

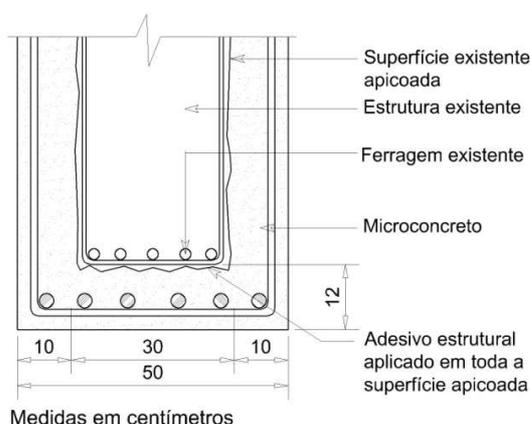


Figura 4.5 – Corte da seção transversal das longarinas

a remoção de detritos e partículas soltas com jatos de água e de ar. Após a limpeza nos locais de apicoamento, o fiscal da Construtora procedia inspeção visual para análise da estrutura e constatação de possíveis outras patologias existentes.

A remoção da corrosão existente nas armaduras das longarinas foi feita com escovas de aço e lixas manuais. Foi removido todo o material resultante do processo de corrosão, inclusive o concreto atingido. Após a remoção do material corroído foi avaliada a perda da seção das barras. De acordo com as prescrições do DNIT, para o caso de perdas de seção superior a 10%, foi realizada cobertura por armadura adicional devidamente ancorada. Para perdas de seção inferiores a 10%, foi apenas preenchido o espaço com argamassa fluida de elevada resistência (grout), utilizando fator água/cimento (a/c) igual a 0,13. Este baixo valor do fator (a/c) do projeto segue as recomendações do fabricante do produto especificado.

As trincas e fissuras foram tratadas com o adesivo estrutural a base de resina epóxi. Basicamente foi realizada a limpeza da fissura e sua abertura com ferramenta de corte para posterior preenchimento com este produto. Em trincas muito abertas ou extensas foram executadas canaletas de 2,5 cm de profundidade para a aplicação da resina. Todas as trincas e fissuras foram tratadas antes da realização dos serviços de reforço estrutural.

Para o preenchimento de vazios de concretagem localizados e de pequenas dimensões foi também utilizado argamassa fluida de elevada resistência (grout) com fator a/c igual a 0,13.

Foi especificado para os procedimentos de reforço um microconcreto com resistência característica à compressão f_{ck} igual a 26 MPa. Este microconcreto foi produzido utilizando sílica ativa, areia natural e agregado britado de diâmetro máximo de 9,5 mm e fator a/c igual a 0,50. Para facilitar o lançamento do mesmo foi empregado aditivo super fluidificante e acelerador do tempo de pega. A figura 4.6 mostra essas intervenções na fase executiva.



(a) Demolição das lajes



(b) Lajes demolidas com as armações existentes preservadas.



(c) Apicoamento das longarinas



(d) Nova armação do reforço e fechamento dos painéis das formas das longarinas



(e) Vista do reforço das longarinas



(f) Concretagem de vão da laje

Figura 4.6 - Relatório fotográfico da execução das intervenções realizadas na laje do estrado e nas longarinas.

B) Demolição das transversinas dos encontros, recuperação dos encontros e instalação de novos aparelhos de apoio.

Após a longarina ser colocada na posição original nas proximidades da região do encontro determinado, as transversinas foram demolidas. A figura 4.7 ilustra a localização da transversina e da região do seu apoio no encontro. Após esta demolição, foi feito o nivelamento e recomposição da superfície do apoio, utilizando argamassa polimérica, conforme mostra a figura 4.8a. Após o nivelamento os novos aparelhos de apoio em neoprene fretado eram posicionados (figura 4.8b) e em seguida era executada a forma e armação da nova transversina.

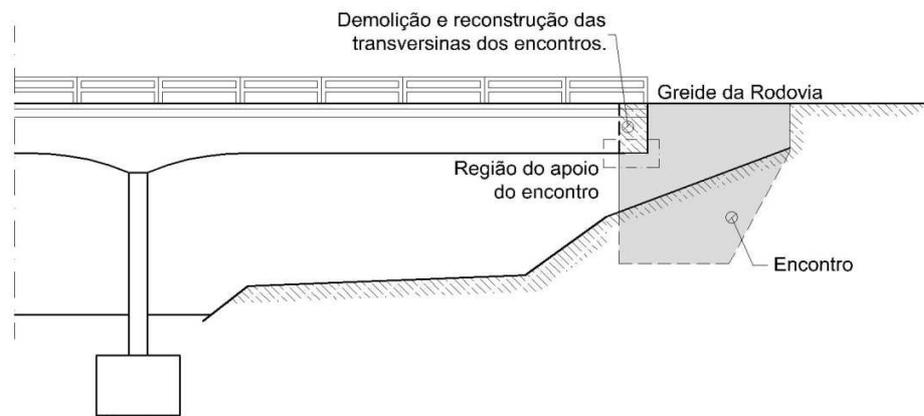


Figura 4.7 – Localização das transversinas do encontro e da região de apoio do encontro.

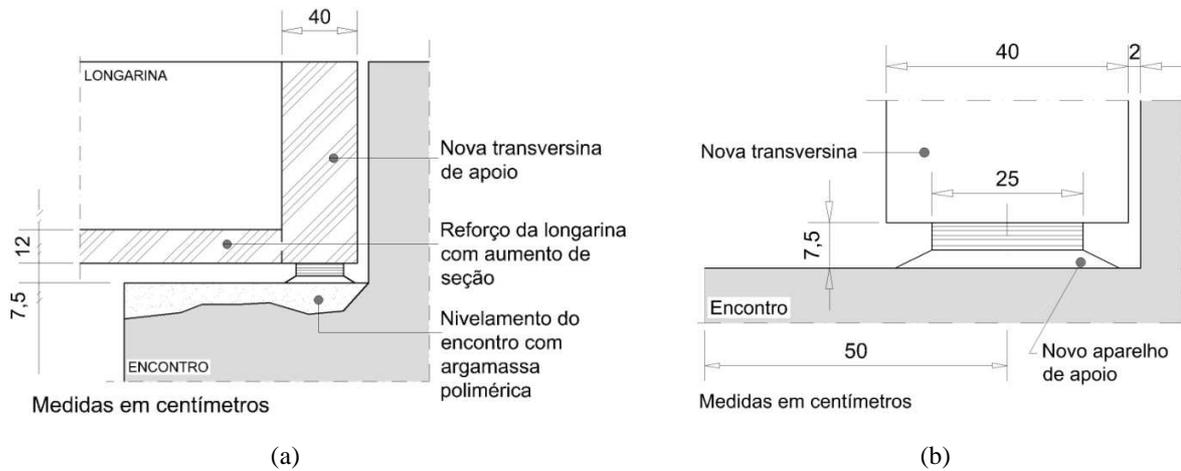


Figura 4.8 – Detalhes do encontro (a) Nivelamento e recomposição do encontro. (b) Detalhe do novo aparelho de apoio em neoprene fretado.

A figura 4.9 mostra os registros das intervenções realizadas no encontro e a preparação para concretagem da nova transversina.



(a) Detalhe da recuperação do encontro.

(b) Forma e armação da nova transversina do encontro

Figura 4.9 – Registro fotográfico das intervenções realizadas no encontro e na transversina do encontro

C) Reforço dos pilares

O reforço dos pilares foi realizado com aumento da seção transversal. O procedimento previu o apicoamento em toda a sua superfície, exceto da laje travessa, com colocação de armadura adicional e concretagem. A seção transversal dos pilares foi aumentada em 10 cm em ambas direções. Os serviços de apicoamento, de tratamento de trincas e fissuras e de vazios de

concretagem e a concretagem com microconcreto seguiram as mesmas instruções do tratamento dado às longarinas. A figura 4.10 a seguir ilustra o serviço executado.



(a) Apicoamento do pilar



(b) Colocação da armadura e da forma do pilar



(c) Forma do pilar preparada para a concretagem

Figura 4.10 – Registro da execução dos do reforço dos pilares

D) Construção de blocos para reforço estrutural

Foram criados dois blocos com função estrutural de reforço. Cada bloco envolvia três pilares de um alinhamento transversal, conforme mostram as figuras 4.11 e 4.12. Cada bloco tinha dimensões de $680 \times 330 \times 100$ cm. Para cada bloco foi previsto um sistema de fundação profunda com seis estacas tipo raiz (com diâmetro de 250 cm). O ancoramento previsto do novo bloco ao pilar existente foi feito através de barras de aço chumbadas ao longo de todo o pilar a cada 50 cm, conforme ilustra a figura 4.13.

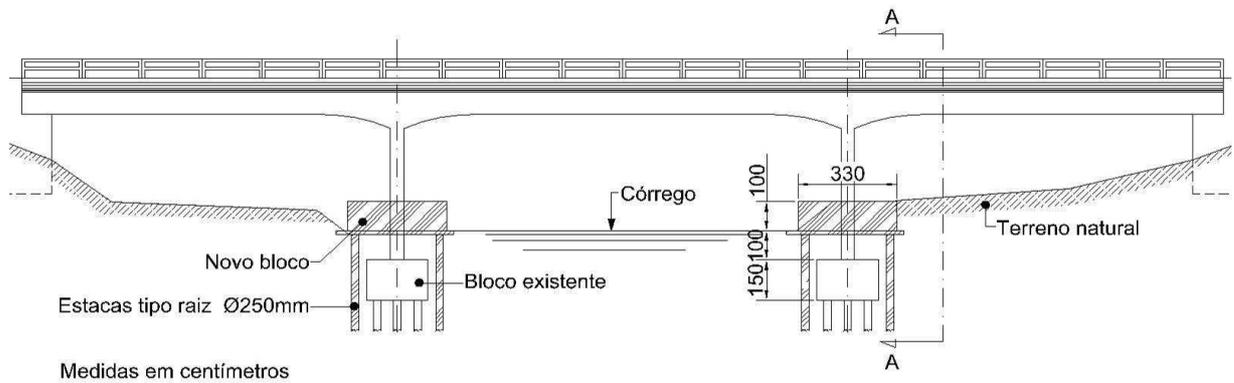
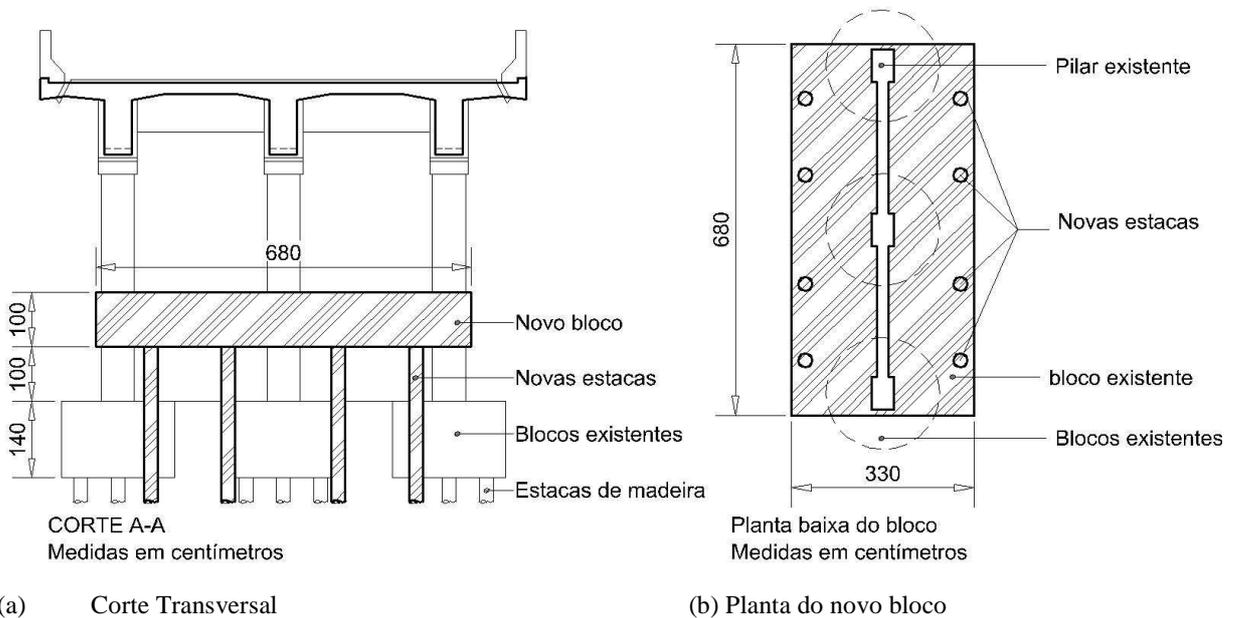


Figura 4.11 – Novo sistema de fundação para reforço da estrutura.



(a) Corte Transversal

(b) Planta do novo bloco

Figura 4.12 – Detalhes do novo bloco de fundação

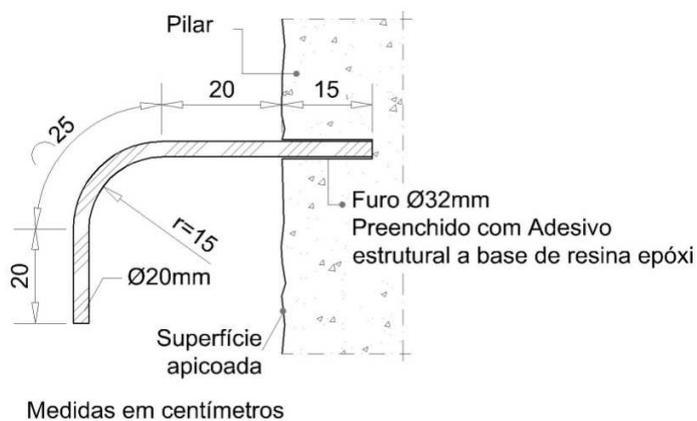


Figura 4.13 – Detalhe do chumbador para ancoragem dos pilares no novo bloco de fundação

A figura 4.14 ilustra a fase executiva da construção da nova infraestrutura de reforço.



(a) Execução de estaca raiz



(b) Injeção de argamassa na estaca raiz



(c) Escavação do bloco



(d) Perfuração para colocação de chumbadores nos pilares e apicoamento da cortina



(e) Chumbadores dos pilares e armação de ancoragem das estacas

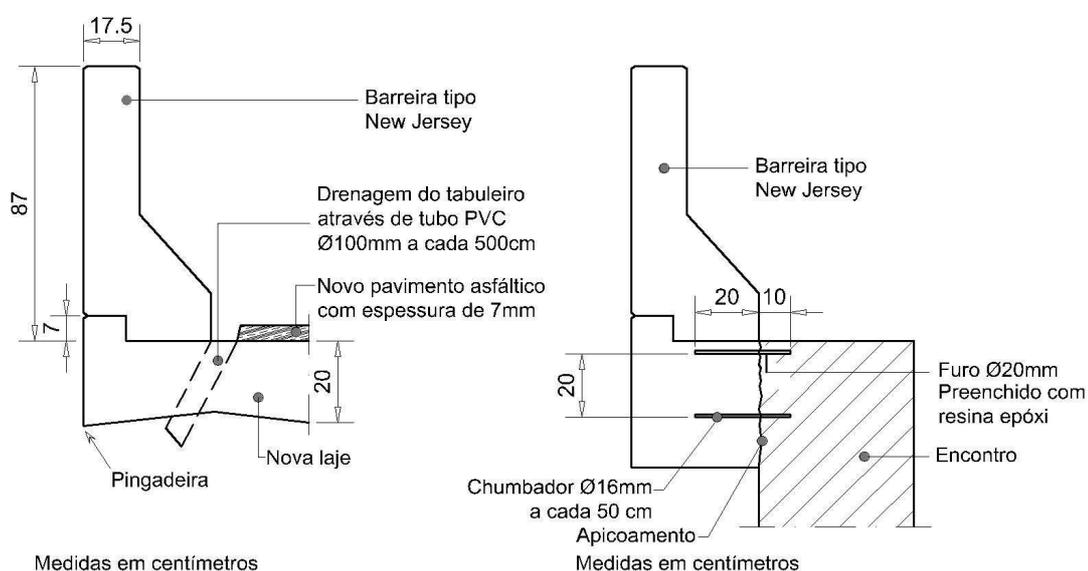


(f) Detalhe da ancoragem dos pilares nos novos blocos de fundação.

Figura 4.14 - Execução do reforço da infraestrutura.

E) *Construção de barreiras tipo New Jersey e execução da sobre-laje.*

Após a concretagem da nova laje do tabuleiro, foram executados a barreira tipo New Jersey e a sobre-laje. Para ancoragem da barreira à estrutura da ponte, foram chumbadas barras de aço com diâmetro de 16 mm em dois furos a cada 50 cm, ao longo do encontro, conforme figura 4.15. No restante da ponte o projeto previu armações concretadas com a nova laje que serviriam de ancoramento para a estrutura da barreira. Toda a região da interface entre o encontro e a barreira foi apicoada, molhada e aplicado o adesivo estrutural à base de resina epóxi. Após esses procedimentos, a barreira era concretada.



(a) Dimensões da barreira.

(b) Detalhe do ancoramento da barreira no encontro.

Figura 4.15 – Detalhe da barreira tipo New Jersey

A figura 4.16 mostra a preparação da superfície superior da laje para a concretagem da sobre-laje e a barreira New Jersey executada.



(a) Preparo da laje para execução de sobre-laje em concreto com a barreira New Jersey executada



(b) Concretagem da sobre-laje

Figura 4.16 – Registro fotográfico da execução da sobre-laje.

4.1.1.4 - Vistoria realizada em abril de 2013

Para avaliação das condições da ponte sobre o Córrego do Leitão após a intervenção de reforço executada em 2005, foi realizada uma inspeção visual em 09 de abril de 2013. A inspeção contou com o auxílio de um operário para abertura de caminhos. Devido a ausência de manutenção do trecho desde outubro de 2012, os acessos à parte inferior da ponte estavam obstruídos por alta vegetação.

Foi possível investigar todos os elementos da superestrutura e mesoestrutura da ponte. Do reforço da infraestrutura foi visualizado apenas um dos dois novos blocos, devido ao segundo estar encoberto pela deposição de material de solo carreado pelo córrego. Em função do nível d'água, não foi possível visualizar as estacas do reforço na sua integridade, bem como a antiga infraestrutura da ponte.

Além da inspeção visual, foi realizada também a inspeção cadastral da ponte, devido a ausência desta vistoria pelo DNIT. Foram preenchidos os devidos formulários pertencentes ao manual de inspeção de pontes rodoviárias do DNIT apresentados no anexo A deste trabalho.

A) Condições gerais da pista, sistema de sinalização, sistema de drenagem e das barreiras New Jersey

O pavimento estava, em geral, em boas condições: sem buracos ou ondulações e com pouca incidência de trincas interligadas do tipo “couro de jacaré”. Na região do encontro da pista de rolamento da rodovia com a extremidade da ponte do lado Belo Horizonte foram observadas trincas no pavimento. Alguns drenos estavam obstruídos por detritos provenientes da pista de rolamento. Em um destes drenos já havia inclusive presença de vegetação, provavelmente devido ao tempo que o depósito esteve naquele local. A barreira New Jersey do lado de Curvelo possuía pequena área destruída, devido a algum acidente, provavelmente. Neste mesmo trecho da barreira, observou-se um desalinhamento entre as estruturas do encontro e da ponte. Não foram verificadas juntas de dilatação na ponte. Não existia sinalização vertical, a despeito da largura e geometria da ponte serem diferentes do restante da rodovia, causando um estreitamento com consequente supressão do acostamento. A figura 4.17 ilustra a condição desses elementos.



(a) Vista geral da ponte – lado de Belo Horizonte



(b) Vista geral da ponte – lado de Curvelo



(c) Dreno obstruído com presença de vegetação



(d) Dreno obstruído



(e) Indicação da trinca transversal no pavimento.
Lado de Belo Horizonte.



(f) Vista trinca transversal ao pavimento no lado esquerdo da ponte. Lado de Belo Horizonte.



(g) Vista da trinca transversal ao pavimento do lado direito da ponte. Lado de Belo Horizonte.



(h) Barreira New Jersey parcialmente destruída. Lado de Curvelo.



(i) Barreira New Jersey com determinada área destruída.
Lado de Curvelo.



(j) Desalinhamento entre as estruturas da ponte e do encontro. Lado de Curvelo

Figura 4.17 – Condições do pavimento, do sistema de drenagem e das barreiras New Jersey

B) Encontros e aparelhos de apoio

Havia fortes marcas de infiltração nos estruturas dos encontros em ambos os lados da ponte. No lado de Curvelo as marcas de infiltração no encontro eram mais fortes nas extremidades, precisamente nas regiões de apoio das longarinas. Na sua parte central as marcas de infiltração eram mais suaves mas já havia presença de lodo na parede do encontro. A concretagem realizada para a regularização da superfície do encontro com os aparelhos de apoio tinha falhas de concretagem. A quina do encontro também tinha falhas de concretagem.

No lado de Belo Horizonte, havia significativa quantidade de água retida e de lodo em toda a superfície de apoio do tabuleiro no encontro. Os aparelhos de apoio estavam totalmente encobertos pelo lodo. A região do encontro com a transversina de apoio desse lado apresentava marcas de infiltração, de lixiviação e trinca com 8 mm de abertura. Havia falhas de concretagem nas quinas do encontro e na sua superfície.

Não foi possível visualizar os aparelhos de apoio, mas aferiu-se a correta distância entre o tabuleiro e o encontro, indicada no projeto de reforço, comprovando a funcionalidade do dispositivo. A figura 4.18 mostra as fotos relativas às patologias citadas nas regiões dos encontros.



(a) Marcas de infiltração no encontro do lado de Curvelo.



(b) Detalhe das marcas de infiltração no encontro do lado de Curvelo.



(c) Detalhe das marcas de infiltração com presença de lodo na parte central do encontro do lado de Curvelo.



(d) Detalhe da regularização do encontro – falhas de concretagem – lado de Curvelo.



(e) Falha de concretagem no encontro do lado de Curvelo.



(f) Vista lateral do encontro do lado de Belo Horizonte.



(g) Marcas de infiltração com lixiviação na interface do encontro com a estrutura da ponte. Fissura com 8 mm de abertura – lado de Belo Horizonte.



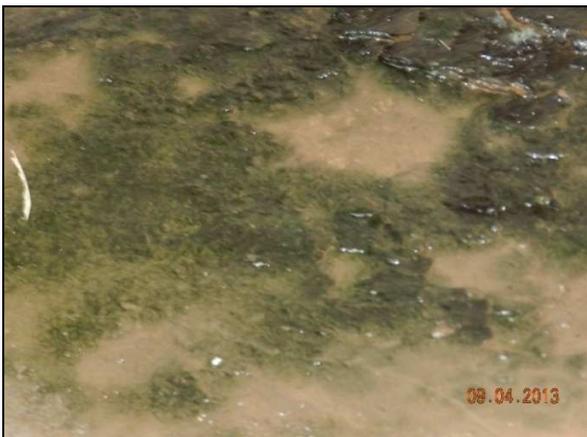
(h) Marcas de infiltração na interface do encontro com a estrutura da ponte. Fissura com 8 mm de abertura – lado de Belo Horizonte.



(i) Visualização da longarina e transversina – lado de Belo Horizonte.



(j) Depósito de água na superfície superior do encontro – lado de Belo Horizonte



(l) Depósito de água com presença de fungos na superfície superior do encontro do lado de Belo Horizonte. Região dos aparelhos de apoio.



(m) Depósito de água com presença de fungos na superfície superior do encontro do lado de Belo Horizonte. Região dos aparelhos de apoio.



(n) Falhas de concretagem no encontro do lado de Belo Horizonte



(o) Falhas de concretagem no encontro do lado de Belo Horizonte

Figura 4.18 – Patologias identificadas nas regiões dos encontros

C) Elementos da parte inferior do tabuleiro

As vigas transversinas e longarinas estavam em bom estado de conservação. Não foram observadas deformações visíveis, fissuras ou trincas nestes elementos. Em diversos pontos dessas vigas existem pequenas falhas de concretagem nas suas quinas. Apesar da nova geometria da ponte contemplar uma pingadeira incluída na estrutura da laje em balanço, marcas d'água sugerem que a água que escorre pela lateral da barreira percola pela parte inferior da laje em balanço e atinge as transversinas dos encontros e as longarinas. Em diversos pontos ao longo da laje do balanço, em ambos lados da ponte, principalmente nas regiões com marcas d'água, também existe um processo erosivo na região da quina da laje. A figura 4.19 ilustra a condição destes elementos.



(a) Vista inferior do tabuleiro – boas condições dos elementos.



(b) Vista inferior do tabuleiro – boas condições dos elementos.



(c) Pequenas falhas de concretagem nas quinas das vigas.



(d) Detalhe da junta de concretagem na laje do tabuleiro com manchas marrons e agregados aparentes.



(e) Vista lateral da ponte



(f) Vista inferior da laje do balanço



(g) Vista inferior da laje do balanço com manchas de infiltração que registram a percolação d'água.



(h) Vista inferior da laje do balanço – Marcas d'água e erosão em pontos da quina da laje ao longo da sua extensão.



(i) Vista inferior da laje do balanço – Erosão em pontos da quina da laje e marca d'água atingindo a longarina.



(j) Marca d'água proveniente da laje do balanço atingindo a longarina.



(k) Marca d'água proveniente da laje do balanço atingindo a longarina e a transversina do encontro.

Figura 4.19 – Situação dos elementos da parte inferior do tabuleiro.

D) Pilares e reforço da infraestrutura

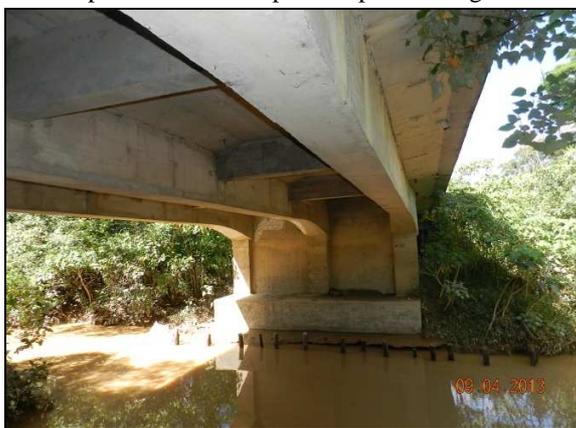
Os pilares estavam em bom estado, sem incidência de trincas, fissuras ou de deformações. O bloco de reforço do lado de Curvelo estava encoberto por material de solo carreado pelo córrego. O bloco de reforço do lado de Belo Horizonte estava em boas condições, no entanto o nível do rio estava abaixo do nível das estacas tipo raiz, o que sugere que as estacas estão expostas ao ar. A figura 4.20 demonstra o relatório fotográfico do estado desses elementos.



(a) Pilares em bom estado com bloco totalmente coberto por material transportado pelo Córrego



(b) Nível da água do Córrego abaixo do nível do bloco. Exposição do sistema de estacas.



(c) Bom estado dos pilares e vigas do tabuleiro



(d) Bom estado dos blocos de concreto

Figura 4.20 – Situação dos pilares e blocos de reforço

4.1.1.5 - Análise do estado atual da ponte sobre o córrego do Leitão

O acúmulo de detritos nas laterais da pista de rolamento, com decorrente obstrução dos drenos é devido aparentemente à precária manutenção da ponte. A deficiência do sistema de drenagem causa represamento da água na pista, principalmente na região próxima às barreiras. Esta região se torna uma bacia de acumulação devido à inclinação da pista e à característica da forma abrupta do encontro com a barreira.

O pavimento, bem como seu revestimento asfáltico não são estruturas estanques, estando mais suscetíveis à infiltração pelo princípio da carga hidráulica, quando a água é represada. Uma vez

rompida a barreira do revestimento asfáltico, a água atingirá a face superior da laje de concreto do tabuleiro da ponte. Sua percolação através da laje dependerá da permeabilidade do concreto, sendo inevitável, tendo em vista que nessa região não existem dispositivos que conduzam o fluxo da água para além da estrutura do tabuleiro. Percolando através da estrutura da laje, a água infiltrada carreará por gravidade os materiais constituintes do concreto, aumentando sua permeabilidade, porosidade e conseqüentemente diminuindo a sua resistência mecânica. As reações químicas entre a água e os componentes do concreto promovem redução do seu pH. Decorrente da mudança do potencial hidrogeniônico em regiões próximas à armadura da laje, o processo de despassivação do aço poderá se estabelecer. A presença de água oriunda do tabuleiro e remanescente da fabricação do concreto, presentes nos vazios do material, juntamente com o ar, são elementos suficientes para o estabelecimento do processo corrosivo.

A água percolante pelo concreto poderá ainda reagir com o hidróxido de cálcio (Ca(OH)_2), culminando nos processos de hidrólise e lixiviação com suas conhecidas conseqüências deletérias à estrutura.

Finalmente, a percolação da água com carreamento de partículas do concreto poderá acarretar no surgimento de microfissuras e fissuras, resultantes de processos erosivos no material, aumentando sua permeabilidade e porosidade, agentes importantes na deflagração de processos físicos e químicos de deterioração do concreto (MEHTA & MONTEIRO, 2008).

As marcas de infiltração na cor marrom, visualizadas na viga longarina e na viga transversina do encontro do lado Curvelo, sugerem uma infiltração advinda do fundo da laje e não somente do escoamento de água pela laje do balanço. Ao longo da ponte, na face externa das longarinas periféricas, existem as mesmas marcas de infiltração, em maior densidade e maior intensidade da sua cor. Tal fato induz a conjecturar que a água advinda da pista poderá já estar percolando pela laje do tabuleiro, causando a corrosão das suas armaduras, visto serem as manchas de cor marrom devido ao carreamento do produto desta oxidação para superfície da estrutura.

Na face inferior dos balanços, em algumas regiões, também são vistas marcas de infiltração associadas às marcas existentes nas longarinas. Assim sendo, nestas regiões, as manchas podem

ser adivindas tanto do escoamento da água pelas barreiras como das extremidades da laje. Ambas situações resultam em riscos de incidência de patologias nos elementos da parte inferior do estrado. Fato é que as características geométricas da pingadeira nas extremidades do balanço não foram suficientes em reorientar as águas para além dos elementos inferiores do tabuleiro.

A ausência da manutenção devida da ponte compromete a eficiência do sistema de reforço adotado, tornando-se per se, um agente de deterioração da estrutura não-natural. A limpeza do tabuleiro e a desobstrução do sistema de drenagem são serviços de simples execução e baixo valor financeiro agregado, mas a sua negligência poderá acarretar custos de grande ordem para a recuperação do material deteriorado.

Os vazios oriundos de erros na execução da concretagem existentes nas quinas das lajes em balanço e nas quinas dos encontros impactam negativamente na permeabilidade do concreto, tornando a estrutura mais suscetível às ações deletérias dos diversos agentes. As falhas encontradas nas quinas da laje em balanço, em especial, podem também ter sido agravadas ou até mesmo originadas pelo escoamento da água nas extremidades da laje, com o carreamento do material, tornando-o poroso em pequenas áreas até sua desagregação e despreendimento da estrutura.

O recebimento criterioso das obras, observando a existência de patologias decorrentes da sua execução, constituiu-se em fator importante para a eficiência da intervenção realizada. A existência de ninhos e falhas de concretagem tornarão a estrutura mais suscetível aos agentes deletérios.

A existência de trincas no pavimento se constitui em outro agravante para a infiltração da água de chuva na laje da ponte. Com o aumento dos vazios do revestimento asfáltico decorrentes da trinca, a água certamente atingirá o substrato com maior facilidade do que se fosse sobre um revestimento isento de defeitos. O represamento da água somado a existência das trincas tornará a estrutura ainda mais frágil sob o aspecto da sua permeabilidade e conseqüente durabilidade.

A trinca verificada no lado Belo Horizonte da ponte é transversal à pista e está localizada exatamente na interface entre a estrutura da rodovia e da ponte. Esta configuração indica como

provável causa a ausência de correto tratamento da junta elastomérica nesta região, onde deveria existir a correta interrupção do revestimento asfáltico com instalação da junta. Na construção da nova laje do tabuleiro não foi detalhada laje de continuidade ou outro recurso técnico que alterasse o comportamento da estrutura de forma que fosse possível a supressão desse dispositivo. O revestimento asfáltico também tem comportamento distinto quando sobre o pavimento daquele sobre a ponte: por isso demanda a existência da junta elastomérica para evitar trincas decorrentes dessas movimentações.

Por vezes a junta de dilatação é ignorada nos serviços de pavimentação asfáltica quando são executados os serviços de recapeamento acima da sua estrutura. Desta forma não existe como permitir as diferentes movimentações do pavimento. Além disso, o cobrimento asfáltico sobre a junta de dilatação impossibilita sua correta manutenção, alterando o seu comportamento. Caso ocorra ressecamento do material elastomérico constituinte da junta, podem surgir pontos de infiltração, possibilitando o acesso de água e umidade aos elementos inferiores da ponte. Possivelmente decorrente deste fato, destaca-se o represamento de água na superfície superior dos encontros, destinada aos aparelhos de apoio. Novamente se observa a ausência de manutenção devida, onde simples inspeções podem identificar o processo deletério e suprimi-lo, antes de suas possíveis conseqüências.

As manchas de infiltração com crescimento de vegetação no centro da cortina do encontro do lado Curvelo e a infiltração na interface do encontro com a nova transversina do lado Belo Horizonte induzem a questionar sobre a eficiência no sistema de drenagem das águas provenientes dos aterros e das regiões de interface da rodovia com a ponte. A ausência na verificação periódica do sistema de drenagem neste caso, poderá resultar em prejuízo na eficácia da obra de reforço, com conseqüente diminuição da vida útil da estrutura.

Os blocos encobertos parcialmente com material de solo carregado pelo Córrego, aferem ao elemento da fundação um estado parcial de saturação. Conforme CIRIA Report (2002) apud Militstiky 2008, o potencial de corrosão da armadura em fundações de concreto imersas no solo é maior na região de solo parcialmente saturado, uma vez que o oxigênio é mais abundante do que em regiões de solo saturado (ou somente com água). O mesmo agente deletério está presente na

região do topo das estacas tipo raiz, pertencentes ao bloco de reforço do lado Belo Horizonte, onde a região das estacas próxima ao bloco está sob ação da variação do nível d'água do Córrego.

A variação do fluxo d'água promove nesses elementos mudanças nas condições de saturação e da sua exposição ao oxigênio. Esta região possui as especificações de cobrimento, armadura e tipo de concreto similares àqueles previstos na norma para fundações totalmente protegidas por solo ou água. É patente que a agressividade do ambiente nesta região é maior do que àquela imposta para elementos totalmente submersas.

Soluções específicas e diferenciadas para as estruturas sob zona de variação do nível d'água do rio poderão agir sobre a durabilidade da estrutura, aumentando sua vida útil. A especificação de cobrimentos maiores para as armaduras ou de volumes extras de concreto sem função estrutural com a finalidade de servirem de “sacrifício” aos agentes deletérios podem adiar a deterioração desses elementos da ponte. A intensificação de alguns dos serviços manutenção, tais como a retirada do solo depositado sobre as estruturas, constituem medidas capazes de diminuir os efeitos das ações danosas ao concreto pelo meio ambiente.

A construção do novo sistema de fundação para o reforço diminuiu a seção de vazão do córrego, resultando no aumento da velocidade da água e conseqüentes alterações das características de regime do rio. Expostos à ação da água do córrego, os elementos de fundação poderão sofrer processos erosivos e ter sua durabilidade abreviada. O volume do obstáculo decorrente da construção do bloco de reforço do lado Curvelo tornou-se ainda um local de depósito de material de solo carregado pelo córrego, como citado anteriormente, se constituindo ainda em mais um fator de redução da área de vazão do curso d'água.

Para o caso específico de rios com grande quantidade de material carregado pelo curso d'água ou de reduções expressivas da seção de vazão em função do aumento da seção transversal dos blocos em função do reforço, deve-se analisar a possibilidade de dispositivos que inibam a deposição desse material sobre estas estruturas. No entanto, faz-se mister a identificação do regime do rio e as conseqüências da diminuição da sua seção de vazão, conforme preconizado no manual de projetos de obras-de-arte especiais do IPR.

4.2 – Pontes na Rodovia BR-381

A Rodovia BR-381 é uma rodovia brasileira que interliga a capital do estado de São Paulo até a cidade de São Mateus, no Estado do Espírito Santo, conforme figura 4.21. Esta rodovia integra um dos principais corredores rodoviários de escoamento de produtos do sul do país até o porto marítimo de Vitória, no Espírito Santo, com aproximadamente 1.300 km de extensão. Possui ainda a função de ligar as capitais dos estados de São Paulo e Minas Gerais, as cidades de São Paulo e Belo Horizonte. Estes estados representam a primeira e a terceira maiores economias do país.

A pesquisa analisou três pontes pertencentes a esta rodovia, a saber: ponte sobre o Córrego Jaguaraçú, ponte sobre o Rio Piracicaba e o viaduto de Acesso a Bela Vista de Minas. A figura 4.21 localiza a BR-381, as cidades do seu eixo Belo Horizonte – Governador Valadares e as pontes selecionadas.

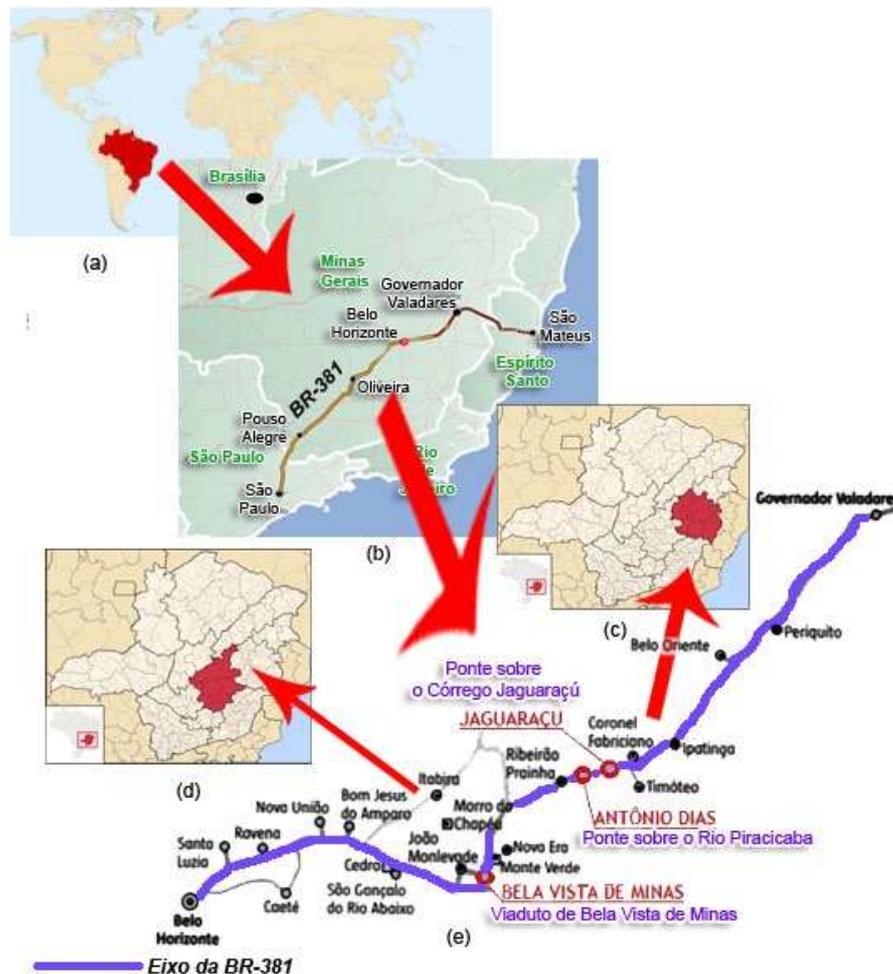


Figura 4.21 – (a) Localização do Brasil. (b) Localização da BR-381. (c) Localização da Mesorregião do Vale do Rio Doce. (d) Localização da Mesorregião Metropolitana de Belo Horizonte. (e) Localização das cidades ao longo do eixo da BR-381/MG e das pontes escolhidas.

Fontes: adaptado de (a) Brasil Escola, 2013, (b) Ministério dos Transportes, 2011. (c) Portal Minas Gerais, 2013. (d) Portal Minas Gerais, 2013. (e) DNIT, 2008.

A Rodovia BR-381 atravessa parte da serra do Espinhaço, no seu subtrecho Belo Horizonte até entorno da cidade de João Monlevade. Este fator conduziu o projeto original da rodovia a um traçado com grande número de curvas com pequenos ângulos de curvatura e com inclinações da pista bastante superiores daquelas previstas nas normas vigentes. Em função desta geometria, este subtrecho da rodovia detém elevados índices de acidentes e vítimas fatais. O Governo Federal procura desde 2004 elaborar um projeto que contemple a adequação da capacidade da rodovia e sua necessária modernização. O primeiro contrato realizado com este objetivo foi o do plano funcional, com contrato iniciado em 2004 que consistiu em realizar estudos de capacidade de

tráfego, sugestões de novos traçados, análise das possíveis desapropriações e estudos ambientais. Estes estudos possuíam como objetivo final a análise da viabilidade econômico-financeira da obra que contemplaria o aumento de capacidade e melhorias na rodovia da cidade de Belo Horizonte até a cidade de Governador Valadares. Após a finalização destes estudos, em 2010 o Governo Federal contratou os anteprojetos e os projetos básico e executivo para a realização da obra. Destes dois contratos celebrados, com objetos de elaboração do plano funcional (2004) e do projeto executivo (2010) resultaram nas únicas inspeções com registros no DNIT das três obras escolhidas para este trabalho. Vale ressaltar que a primeira vistoria antecede à vistoria especial que deflagaria a intervenção de reforço na obra e que a realizada em 2010 já possuirá registros posteriores a intervenção e neste trabalho serão citadas na ordem cronológica dos acontecimentos.

4.2.1 – Ponte sobre o Córrego Jaguaraçú

A ponte sobre o córrego Jaguaraçú está localizada na rodovia BR-381 no km 271,5, no município de Jaguaraçú, no Estado de Minas Gerais. Tem como sub-trecho o entroncamento com a MG-425 (Coronel Fabriciano) até o entroncamento com a MG-320 (para Jaguaraçú), sob código 381BMG0230 no Sistema Nacional de Viação (SNV) de 2012.

4.2.1.1 - Dados do Projeto e da Construção da Ponte

Esta ponte foi projetada e construída em 1959. O projeto foi elaborado pela equipe técnica do Departamento de Estradas de Rodagem de Minas Gerais (DER/MG) com as principais características descritas na tabela 4.3.

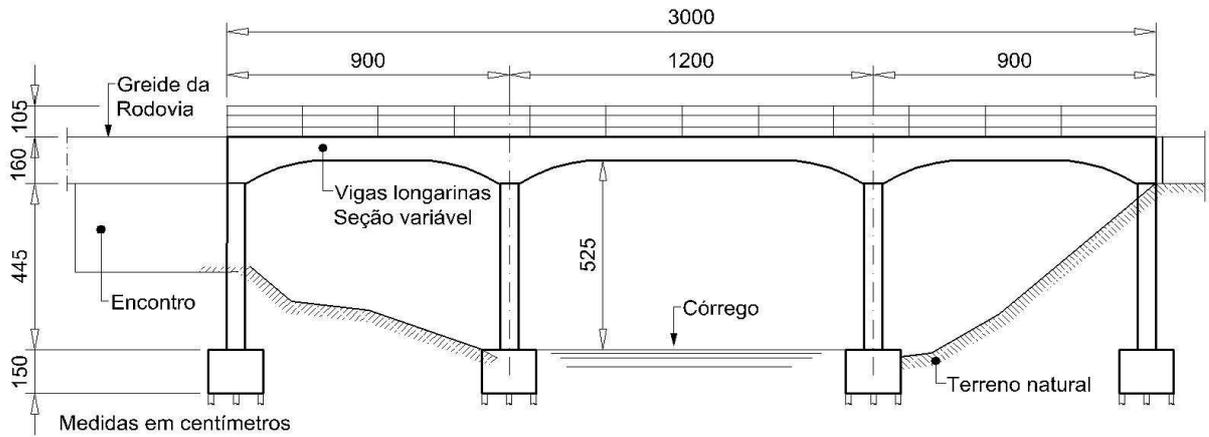
Não existem registros no projeto original das normas ou instruções que nortearam a sua elaboração. E como apenas a partir de 1960 foram elaboradas normas técnicas determinando o trem-tipo, classe, cargas de cálculo e as características geométricas a serem adotadas nas pontes,

não é possível determinar, com os documentos da sua concepção, a classe da ponte e o trem-tipo adotado.

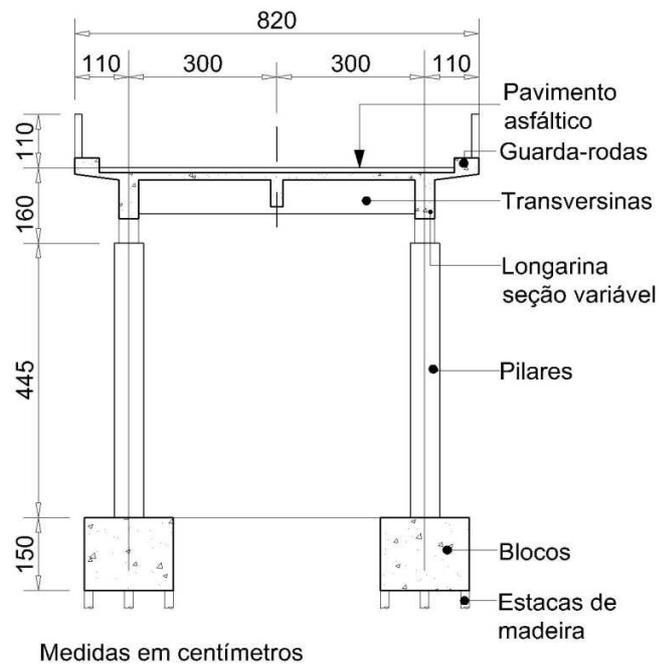
Tabela 4.3 – Características do projeto original da Ponte sobre o Córrego Jaguaracú

MATERIAIS	
<p>Todos os elementos em concreto armado a exceção das estacas da fundação em madeira.</p> <p>Aparelhos de apoio fixos em chumbo.</p> <p>Revestimento asfáltico da pista com 15 cm de espessura no eixo da pista e 10 cm nas extremidades.</p> <p>Sem especificações do sistema de drenagem.</p>	
REGIÃO	
<p>Obra situada em vale de região ondulada (mares de morros).</p>	
DADOS GEOMÉTRICOS	
<p>Ponte esconsa ao rio e tangente a rodovia.</p>	
Comprimento Total	30,0 m com 3 vãos: 9,0+12,0+9,0 m
Largura total	8,2m com 2 pistas de 3,00 m
Acostamento	Não possui
Guarda-rodas	Seção transversal de 50 x 25 cm
Guarda-corpo	Em concreto vazado, com 80 cm de altura
Laje	Espessura de 15 cm
Longarinas	Seção transversal variável de 40 x 80 a 160 cm
Transversinas	Seção transversal de 25 x 70 cm
Pilares	Centrais com seção transversal de 40 x 60 cm e dos extremos com 60 x 50 cm.
Fundação	Profunda, com blocos com diâmetro de 1,80 m e altura de 1,50 m e estacas de madeira ϕ 25 cm.
Laje de Transição	Não possui
Balanço nas extremidades	Com 90 cm ao longo do greide da rodovia
Encontros	Tipo muro de ala, com 5,0 m ao longo do greide da rodovia e 3,0m de altura.
Cortina	Sim (integrante do muro de ala).

A figura 4.22 mostra a vista longitudinal e o corte transversal com as características geométricas da concepção da ponte.



(a) Vista longitudinal da ponte sobre o Córrego Jaguaçu.



(b) Corte transversal no eixo do vão principal.

Figura 4.22 - Projeto original da ponte sobre o Córrego Jaguaçu

4.2.1.2 - Vistoria realizada em março de 2005

A primeira vistoria com registros, realizada na ponte sobre o Córrego Jaguaracú foi realizada para subsidiar os estudos do plano funcional para adequação da capacidade e modernização da rodovia BR-381 no subtrecho Belo Horizonte até Governador Valadares. A vistoria foi realizada em março de 2005 e resultou em uma planilha que resumia as informações dos diagnósticos do estrado e da estrutura, dos serviços necessários para o reforço e da possibilidade da ponte ser alargada para duplicação daquele segmento da rodovia.

De acordo com a planilha da vistoria, a drenagem da ponte contemplava drenos curtos e obstruídos, sem pingadeiras no balanço da laje, o que provocava escorrimento na face das vigas e na face inferior da laje. As juntas entre a estrutura e o terreno estavam obstruídas pelo revestimento asfáltico. Os guarda-corpos estavam em estado regular de conservação apresentando alguns módulos destruídos. Os passeios estavam em bom estado e não existia sinalização adequada da ponte.

Os encontros estavam em mau estado de conservação com sinais de danos e infiltrações. Os taludes estavam instáveis sob a OAE com sua proteção de cobertura vegetal e rip rap já destruída e com sinais graves de erosão. Os pilares estavam em bom estado de prumo.

A inspeção às fundações não foi realizada mas observou-se que não existiam sinais recalques. O tabuleiro estava em péssimo estado, com as longarinas apresentando armadura exposta com grau avançado de corrosão, estribos já rompidos e a seção de armadura longitudinal seriamente comprometida. As lajes estavam em mau estado, com infiltração leve e presença de trincas. Os aparelhos de apoio estavam em aparente bom estado.

Os serviços sugeridos foram: recuperação de infiltrações, substituição dos drenos, execução de pingadeiras na laje do tabuleiro, execução da proteção dos taludes sob a ponte e a recuperação de drenagem externa.

A figura 4.23 contempla o registro fotográfico resultante da vistoria.



(a) - Vista geral da chegada na ponte.



(b) - Marcas de água na laje em balanço e na longarina, proveniente do pavimento.



(c) - Longarina com armadura exposta já com processo corrosivo.



(d) - Visão lateral da ponte.



e) - Armadura da longarina exposta com estribos rompidos.



(f) - Armadura da longarina exposta em processo corrosivo.

Figura 4.23 – Relatório fotográfico da inspeção na ponte sobre o Córrego Jaguaraçu realizada em março de 2005.

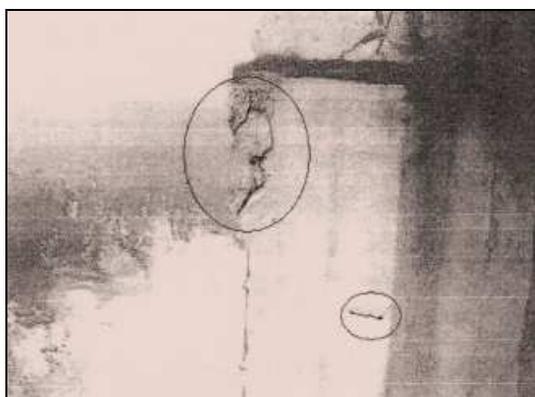
4.2.1.3 - Vistoria especial realizada em Janeiro de 2007

Em janeiro de 2007 realizou-se uma inspeção à ponte dado o avanço do processo de corrosão das armaduras dos elementos do tabuleiro, visando verificar o comprometimento estrutural da obra e a necessidade de intervenção com obras de reforço. Além disso, por estar no final de uma curva e apresentar escondade em relação ao eixo da pista e ter sua largura estreita, a obra provocava elevada taxa de acidentes, a despeito da sinalização existente.

A parte inferior da laje do tabuleiro possuía manchas, eflorescência e armaduras expostas. As superfícies nas regiões do balanço e das descidas d'água eram as mais atingidas. Os drenos do tabuleiro não possuíam comprimento adequado e o sistema de drenagem estava obstruído. Devido a furos já existentes na laje, a água através dela percolava, mantendo-a constantemente úmida. A longarina esquerda (sentido Ipatinga – Belo Horizonte) apresentava elevado estágio de corrosão das armaduras da sua camada inferior, com perda significativa da seção resistente do aço.

Os encontros estavam em bom estado, no entanto, foram verificados alguns ninhos de concretagem. Não foi realizada a inspeção aos elementos da infraestrutura devido a vistoria ter sido realizada na época de cheia do córrego Jaguaçu. Os pilares apresentavam alguns pontos de corrosão na região do apoio das vigas.

A figura 4.24 ilustra o registro fotográfico da inspeção especial realizada.



(a) - Desplacamento da camada de cobrimento do concreto do pilar e corrosão do estribo rompidos.



(b) – Laje em balanço com marcas de escoamento de água e eflorescências.



(c) – Corrosão das armaduras na face interna da longarina esquerda.
Sentido Governador Valadares – Belo Horizonte



(d) – Eflorescência e armadura exposta na face inferior da laje.



(e) – Escorrimento indevido da água e corrosão da armadura no topo do pilar. Guarda-corpos destruídos parcialmente.



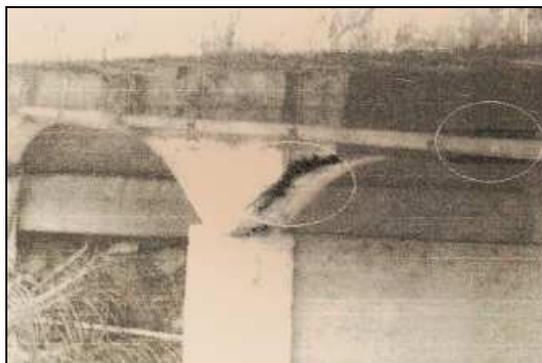
(f) – Corrosão em estribos na longarina a direita.
Sentido governador Valadares – Belo Horizonte



(g) - Corrosão em estribos na longarina a direita.
Sentido governador Valadares – Belo Horizonte



(h) – Exposição das armaduras dos estribos em processo corrosivo.



(i) – Manchas decorrentes do escoamento da água até a face das vigas e corrosão das armaduras na longarina esquerda.

Sentido Governador Valadares – Belo Horizonte



(j) – Corrosão da armadura da longarina esquerda.
Sentido Governador Valadares – Belo Horizonte

Figura 4.24 – Registro fotográfico das patologias da ponte do Córrego Jaguaracú na vistoria especial

O relatório descreve ainda que o cobrimento utilizado para todos os elementos era reduzido, fato que aliado ao constante ataque das águas provenientes do pavimento aos elementos do estrado, culminavam nas regiões observadas de exposição das barras de aço com conseqüente corrosão da armadura e deslocamento do concreto. A obstrução do sistema de drenagem pelos sucessivos capeamentos sem fresagem, praticamente nivelaram o pavimento à altura do guarda-rodas, provocando o escoamento de águas para as longarinas e pilares, acelerando o processo corrosivo e comprometendo a estabilidade estrutural da ponte. A ausência de programas de manutenção era visível em função do “péssimo estado de conservação” da ponte verificado na vistoria. Além da geometria da ponte e seu estreito gabarito, o nivelamento do guarda rodas com a pista de rolamento foi arrolado como mais um fator gerador de acidentes. As colisões de veículos provocavam a destruição de alguns módulos dos guardacorpos que não tendo a reposição necessária, geravam insegurança aos usuários que trafegavam pela ponte, elevando ainda mais o risco da ocorrência de outros acidentes.

A conclusão do relatório de vistoria indica comprometimento estrutural da obra de arte, podendo levar ao seu colapso a médio prazo. O avanço do processo corrosivo da armadura da longarina esquerda do tabuleiro (sentido Governador Valadares – Belo Horizonte), com a perda de parte da área da seção das barras de aço, aliado ao volume e característica do tráfego que faz uso da ponte foram os fatores principais que levaram a essa conclusão.

Providências de reforço da estrutura deveriam ser tomadas para mitigar os efeitos das patologias detectadas e evitar consequências como a ruptura da viga e provável colapso do tabuleiro a médio prazo. O trem tipo de cálculo estrutural da ponte e seu gabarito não eram adequados a frota que dela se utilizava, devendo estes serviços serem priorizados.

Na tabela 4.4 estão relacionadas, por patologia verificada, as providências sugeridas no relatório.

Tabela 4.4 – Providências necessárias sugeridas pelo relatório da vistoria especial

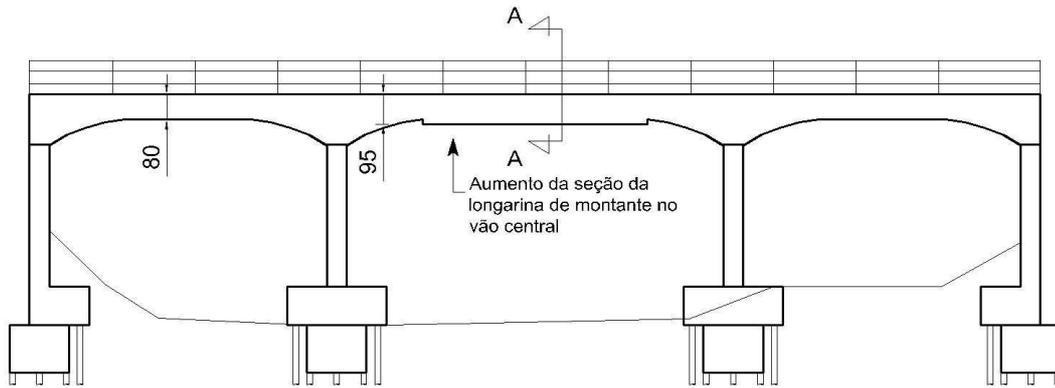
PATOLOGIAS	PROVIDÊNCIAS NECESSÁRIAS
Corrosão das armaduras	Realizar o reforço nos locais onde existirem consideráveis perdas da seção transversal das barras de aço, com preenchimento com material cimentício capaz de promover a repassivação das armaduras.
Buracos e ninhos de concretagem	Executar o preenchimento dos buracos e ninhos de concretagem em toda a estrutura.
Drenagem obstruída	Desobstruir o sistema de drenagem e realizar sua complementação com adequação do diâmetro das suas tubulações para conduzir as águas do pavimento para além das lajes e vigas.
Acidentes	Realizar o alargamento da seção transversal da ponte com reforço (adotar trem tipo das nomas vigentes para a classe da rodovia). Instalar novo sistema de proteção de rodas na ocasião do alargamento.

4.2.1.4 - Descrição do projeto e da execução dos procedimentos de reforço

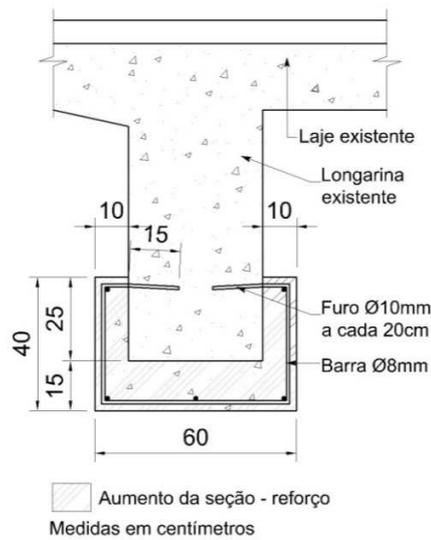
O projeto de reforço da ponte contemplou a adequação para o TB-45 e a recuperação das estruturas de concreto danificadas. O projeto de reforço foi elaborado em fevereiro de 2007 e a execução da obra de reforço foi realizada durante os meses de março a junho de 2007, em caráter emergencial.

A) *Reforço da longarina do lado montante através do aumento da seção transversal e acréscimo de armaduras no vão central.*

Foi realizado aumento da seção da longarina do lado montante conforme figura 4.25.



(a) Vista lateral da ponte



(b) Corte A-A

Figura 4.25 - Reforço da longarina do lado a montante, no vão central.

B) Reforço dos pilares através do aumento da seção transversal e acréscimo de armaduras.

Os pilares tiveram seção aumentada de 40 x 60 cm para 70 x 90 cm e acréscimo de armadura conforme mostra a figura 4.26.

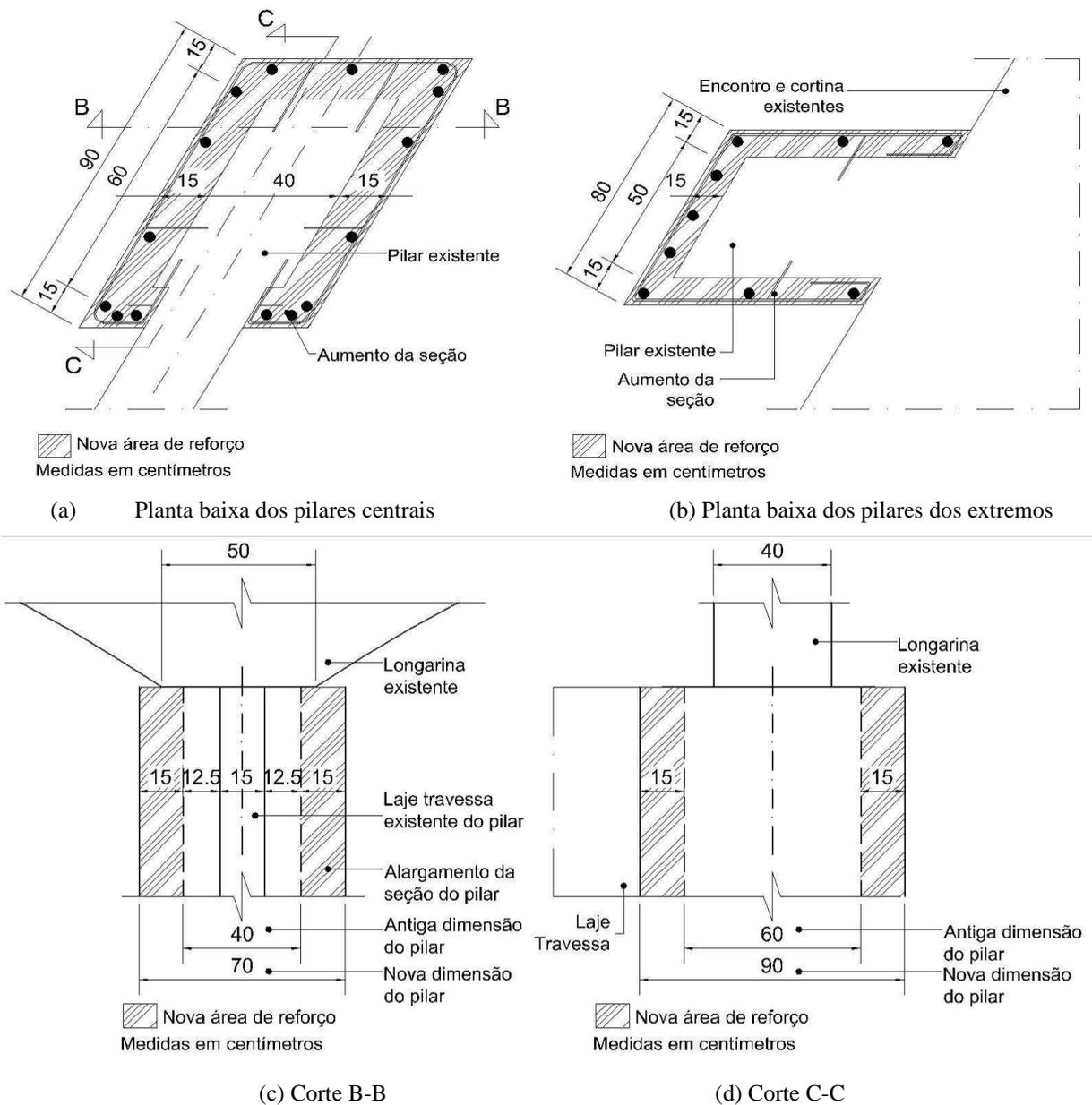
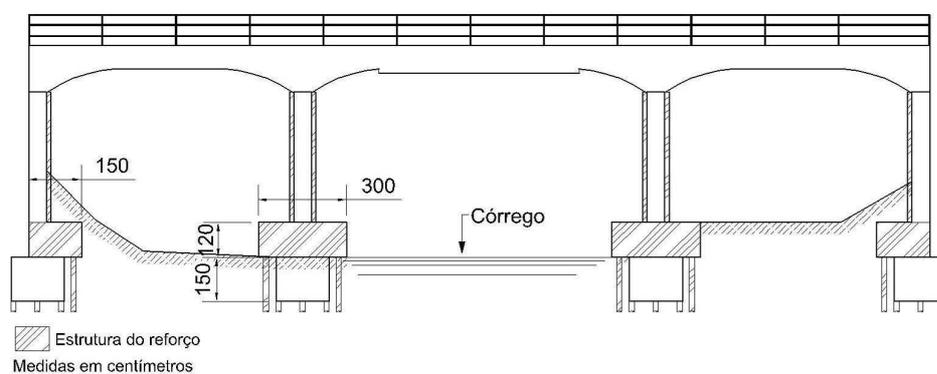


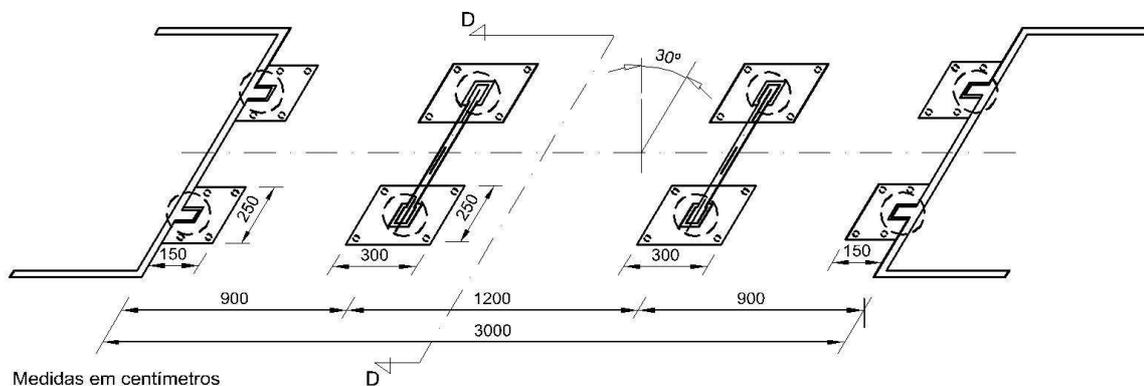
Figura 4.26 - Detalhes do aumento de seção dos pilares centrais e dos extremos

C) *Construção de blocos para reforço das fundações*

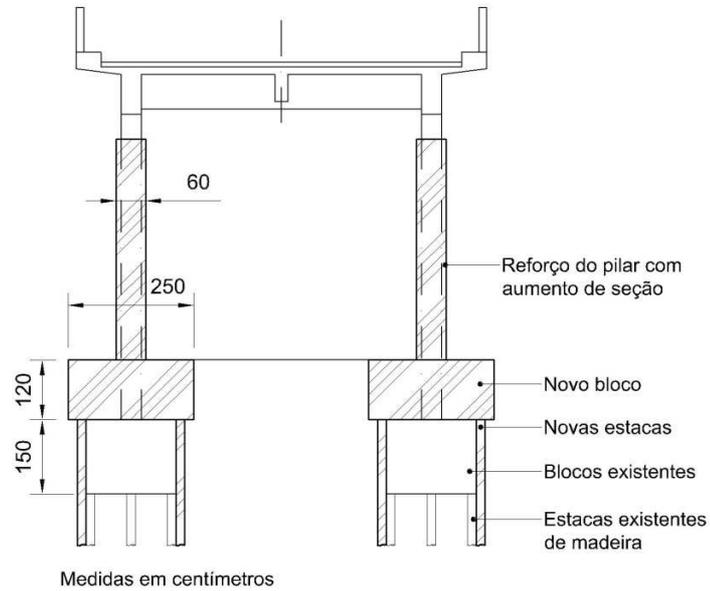
Foram criados oito novos blocos prismáticos em nível superior aquele dos blocos existentes circulares existentes. O novo sistema de fundação contemplou estacas do tipo raiz, com capacidade unitária de 250 kN, camisa metálica de 20 cm e comprimento médio de 18 m. A figura 4.27 ilustra o novo sistema de fundação para o reforço.



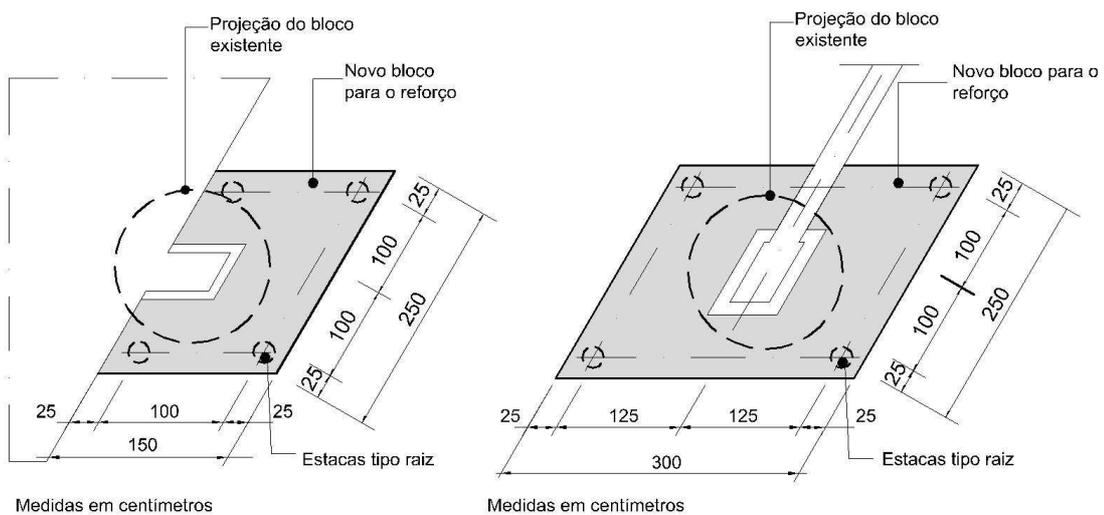
(a) Vista lateral do novo sistema de fundação



(b) Planta baixa com locação do novo sistema de fundação



(c) Corte D-D



(d) Detalhe da geometria dos novos blocos

Figura 4.27 – Novo sistema de fundações para reforço da estrutura

As regiões entre as novas estruturas e as antigas tiveram um detalhe geral para a sua conectividade, conforme figura 4.28. Para todos os novos volumes de concreto foi previsto cobrimento de 3 cm para as armaduras.

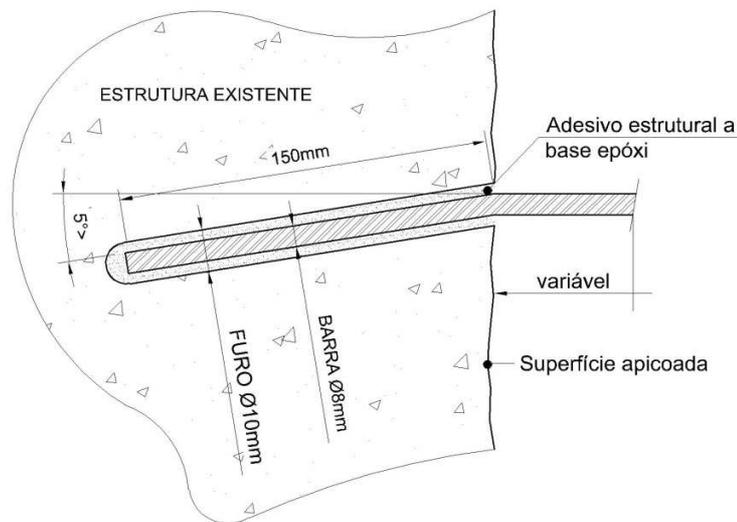


Figura 4.28 – Detalhe típico do ancoramento entre a nova e velha estrutura

Todos os serviços de aumento de seção dos elementos de concreto contemplaram o seguinte procedimento: a superfície do concreto antigo era apicoada com ferramentas manuais. Em seguida era realizada a limpeza da superfície através de jatos de ar ou água. Para a transferência de tensões entre o concreto antigo e o novo foram realizados furos de 10 mm de diâmetro em malha com espaçamento de 20 cm, em toda a superfície da interface. A fixação das barras de aço com diâmetro de 8 mm foi realizada com adesivo estrutural a base epóxi, observando o tempo de cura. O concreto dos elementos de reforço foi especificado com resistência característica à compressão f_{ck} igual ou maior que 25 MPa.

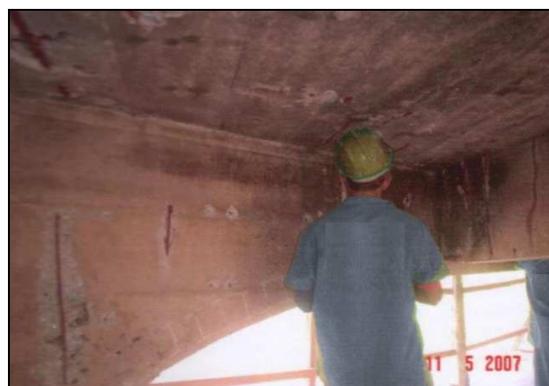
D) Execução da recuperação da estrutura

Na especificação dos serviços de reforço foi prevista a limpeza de toda a estrutura com o auxílio de jato de água de alta pressão. Após a limpeza, as áreas a serem recuperadas eram demarcadas com giz de cera em áreas de formato geométrico (ângulos internos iguais ou maiores que 90°). A demarcação deveria envolver além da área afetada, pelo menos 5 cm dentro da região com armaduras e concretos sãos. Ao longo da linha dessa demarcação foi feito um rasgo por meio de uma serra com disco de corte diamantado na espessura de 10 mm, evitando-se atingir as armaduras. O concreto solto ou deteriorado dentro do rasgo demarcado era então retirado até atingir as armaduras e o concreto são, utilizando-se martete mecânico, talhadeira e ponteira.

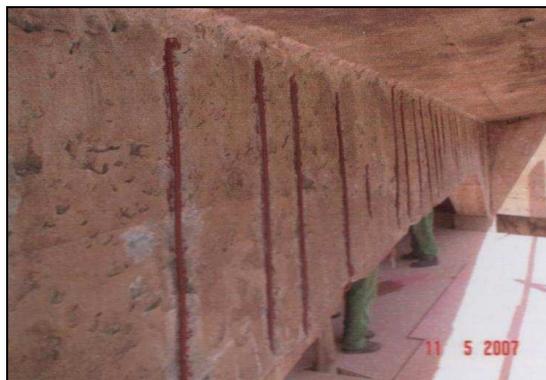
Os produtos de corrosão das armaduras expostas eram removidos por meio de escovação mecânica, com escova circular acoplada a furadeira e ou escova de aço normal. Após a limpeza das armaduras, foi especificado para sua proteção a aplicação de um “primer anticorrosivo”, à base de resina sintética rica em cromato de zinco. Após a aplicação do primer, a região era limpa com jato de água de alta pressão visando preparo do substrato para aplicação de resina acrílica como ponte de aderência. A resina acrílica era aplicada utilizando trincha ou rolo. Imediatamente após a aplicação da resina, em regiões com profundidade inferior a 5 cm, o espaço deixado era preenchido com argamassa estrutural a base de cimento e polímeros, impermeável, de alta resistência e isenta de retração. Esta aplicação deveria restabelecer a seção original do elemento de concreto. Nos locais com profundidade superior a 5 centímetros, a recomposição do concreto era realizada com “microconcreto de grout”. As barras de armadura com perda da seção transversal superior a 10% eram substituídas por barras de igual diâmetro emendadas por traspasse. A figura 4.29 registra a condição das armaduras após a retirada do concreto e o “primer anticorrosivo” aplicado nas barras dos estribos da viga.



(a) Vista das armaduras da longarina mais afetada localizada a montante.



(b) Vista das armaduras sendo tratadas com aplicação de primer anticorrosivo



(c) Vista das armaduras sendo tratadas com aplicação de primer anticorrosivo e da superfície da longarina após os serviços de apicoamento

Figura 4.29 – Registro fotográfico do tratamento das armaduras da ponte.

Na figura 4.29a as armaduras expostas para tratamento apontam para a falha executiva no posicionamento das armaduras positivas da longarina mais afetada. Os espaçamentos entre as barras que impossibilitaram a passagem do agregado durante a concretagem original desta longarina. Apesar do tratamento das barras de aço, a adequação do posicionamento das barras de aço não foi objeto do projeto ou de qualquer procedimento executivo especificado, podendo resultar em falhas durante a execução da nova concretagem deste elemento.

O tratamento das fissuras e trincas existentes na estrutura da ponte iniciou-se pela remoção de todo o material solto. Após essa remoção, foram executados furos a cada 15 cm tendo cada um 1,25 cm de diâmetro e 5 cm de profundidade. Procedia-se a limpeza com jato de ar e água em alta pressão. Fixava-se então a mangueira do tipo cristal com 1 cm de diâmetro e 25 cm de comprimento para injeção ao longo das fissuras ou trincas do adesivo estrutural de colmatação dessas. Outra limpeza era realizada com jato de água e ar em alta pressão através dessas mangueiras. O adesivo estrutural especificado era de resina epóxi e poliamina de média fluidez e baixa viscosidade. A aplicação deste se deu sempre no sentido de baixo para cima, até a complementação dos furos, utilizando-se bombas manuais e/ou de ar comprimido adaptadas para este fim. Após o término da injeção e do tempo de pega especificado pelo fabricante do epóxi, os bicos de injeção eram removidos no nível da superfície do concreto.

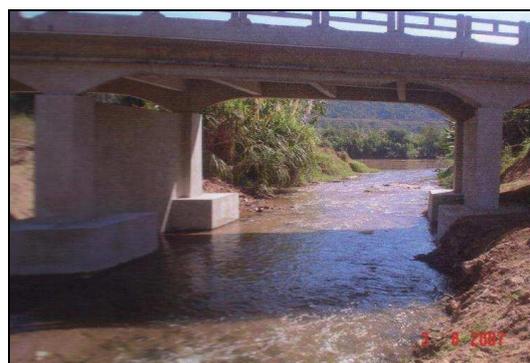
Nos beirais foram instaladas de cantoneiras de alumínio fixadas com buchas de plástico e parafusos metálicos. A função desta cantoneira era servir como pingadeira, evitando que a água proveniente do tabuleiro atingisse os elementos inferiores do tabuleiro. Entre a cantoneira e o concreto foi aplicado um selante à base de silicone.

A última providência descrita nas instruções de serviço da recuperação da estrutura era a pintura de toda a superfície de concreto da ponte. O procedimento iniciava-se com o preparo da superfície de concreto, seu correto nivelamento empregando-se para tal uma mistura de gesso, água e cal (estruque). Posteriormente eram realizados o lixamento e a limpeza. Finalmente deveria ser executada a aplicação de tinta à base acrílica na cor cinza, similar a do concreto.

A figura 4.30 registra a finalização dos serviços de reforço da ponte sobre o Córrego Jaguaraçú.



(a) Vista lateral da obra após os serviços de reforço



(b) Vista lateral da obra após os serviços de reforço

Figura 4.30 – Registro fotográfico da condição final da obra após os serviços de reforço.

4.2.1.5 – Vistoria realizada em abril de 2013

Para avaliação das condições da ponte sobre o Córrego Jaguaraçú após a intervenção de reforço executada em 2007, foram realizadas duas inspeções visuais, a primeira em 19 de fevereiro de 2013 e a segunda 23 de abril de 2013. A segunda inspeção se fez necessária devido a obstrução por vegetação dos acesso à parte inferior da ponte quando da primeira inspeção. O registro da primeira inspeção neste trabalho se deve pelas melhores condições de visibilidade lateral da ponte, frente a altura da vegetação estar menor naquela oportunidade. Somente na segunda

inspeção contou-se com o auxílio de um engenheiro do DNIT para identificar os caminhos de acesso abertos para a realização da citada vistoria.

Além da inspeção visual, foi realizada também a inspeção cadastral da ponte na primeira inspeção, devido a ausência desta vistoria pelo DNIT. Foram preenchidos os devidos formulários pertencentes ao manual de inspeção de pontes rodoviárias do DNIT apresentados no anexo B deste trabalho.

A) Condições gerais da pista, sistema de sinalização, sistema de drenagem e dos guarda-corpos

O pavimento estava em boas condições, com algumas ondulações na pista direita no sentido Belo Horizonte – Governador Valadares. Na região de encontro da pista de rolamento com o guarda-rodas, em ambos os lados da ponte, havia acúmulo de material com presença de vegetação. Este material era oriundo da pista de rolamento tendo sido carreado para as suas laterais, provavelmente pelas águas de chuva. As quedas d'água do sistema de drenagem do pavimento estavam desobstruídas. Os guarda-corpos existentes estavam bastantes deteriorados, desalinhados entre si e desaprumados. Havia suportes de amarração entre os módulos, provavelmente provenientes de obras de reinstalação das peças do guarda corpo. Não foram verificadas juntas de dilatação na ponte. O trilho de segurança da rodovia (“guard-rail) do lado direiro no sentido Belo Hroziente-Governador Valadares apresentava trecho danificado, provavelmente por algum veículo. No sentido Belo Horizonte – Governador Valadares, a 100 metros da extremidade da ponte, existia um radar de controle de velocidade e no sentido oposto, a 100 metros da outra extremidade da ponte, havia um quebra-molas. Ambos dispositivos foram instalados visando diminuir a velocidade de tráfego da ponte devido ao histórico de acidentes de trânsito no local. A figura 4.31 ilustra a condição desses elementos.



(a) Vista geral da ponte



(b) Ondulações no pavimento – pista do lado direito no sentido Belo Horizonte – Governador Valadares



(c) Desalinhamento e desaprumo dos guarda-corpos



(d) Depósito de material e presença de vegetação no encontro da pista com o guarda-rodas



(e) Degradação do concreto no encontro das colunas dos guarda-corpos com a laje do estrado



(f) Degradação do concreto com exposição de armadura no encontro das colunas dos guarda-corpos com a laje do estrado.



(g) Vista da proximidade da ponte lado Belo Horizonte



(h) Queda do trilho de segurança (“guard-rail”).

Figura 4.31 – Condições do pavimento, do sistema de drenagem e dos guarda-corpos

B) Encontros e aparelhos de apoio

A região dos encontros limitada entre os pilares estava em bom estado. No entanto, nas regiões dos encontros além do alinhamento da ponte, em ambos os lados, havia marcas de infiltração. No encontro do lado Belo Horizonte foi encontrado um ninho de inseto não identificado.

Não existia espaçamento entre as longarinas e a os pilares de apoio, embora haja a especificação dos aparelhos de apoio de chumbo realizada no projeto original da ponte. Contudo, não foram verificados esmagamentos da estrutura de concreto nas regiões de apoio do tabuleiro nos pilares. A figura 4.32 mostra o estado dos desses elementos.



(a) Marcas de infiltração, ninho de praga e vegetação densa no encontro lado Belo Horizonte



(b) Marcas de infiltração, vegetação densa com parte do encontro rompido no lado Governador Valadares



(c) Vista da face lateral da longarina a montante. Depósito de material pulverulento e ninhos de aranhas.



(d) Ausente espaçamento entre as longarinas e os pilares

Figura 4.32 – Relatório fotográfico dos encontros e aparelhos de apoio

C) Elementos da parte inferior do tabuleiro

Os elementos da parte inferior do tabuleiro, transversinas, longarinas e superfície inferior da laje estavam em bom estado. Em um dos apoios da longarina a jusante, no pilar do lado de Governador Valadares, havia uma espécie de ninho de certo inseto. Este ninho envolvia a região do apoio e se projetava para além dela na parte interna do estrado da ponte, apoiando-se na seção parede do pilar. Ao longo de toda a longarina foi observado um “caminho” deste “ninho”. Neste mesmo apoio, verificou-se o deslocamento da estrutura da longarina em relação ao pilar em cerca de 6 cm. Devido a presença do ninho não foi possível realizar uma medida mais precisa. O mesmo deslocamento não foi observado no apoio vizinho da mesma longarina, mas no apoio vizinho da longarina oposta havia também um deslocamento, de menor ordem. A figura 4.33 mostra as fotos relativas a estes elementos inspecionados.



(a) Vista inferior do tabuleiro. Manchas brancas na superfície e fungos localizados nas juntas das antigas formas de concretagem.



(b) Manchas brancas em diversos pontos nos elementos da parte inferior do tabuleiro



(c) Bom estado dos elementos apesar das manchas de sujeira e ninhos de aranhas – vista lateral da longarina e do reforço realizado na sua região central



(d) Apoio com infestação e vista do deslocamento da longarina em relação ao pilar.



(e) Deslocamento da longarina em relação ao pilar.



(f) Apoio com pequeno deslocamento da longarina em relação ao pilar



(g) Ninho de inseto avançando na região interna da ponte.



(h) Vista da face inferior da laje em balanço

Figura 4.33 – Registro fotográfico dos elementos da parte inferior do tabuleiro

D) Pilares e reforço da infraestrutura

Os pilares estavam em bom estado, sem incidência de trincas, fissuras ou de deformações. Os blocos de reforço estavam em boas condições, apresentando na sua base pequenos sinais de processo erosivo. As estacas tipo raiz do reforço possuíam parte exposta devido ao nível do Córrego Jaguaraçú. Não foi possível visualizar o sistema original de fundação da ponte. A figura 4.34 demonstra o relatório fotográfico do estado desses elementos.



(a) Vista do pilar central em boas condições



(b) Vista dos blocos e das estacas do reforço da ponte



(c) Vista do sistema de fundação de reforço



(d) Detalhe do processo erosivo na parte inferior do bloco de reforço e topo de estaca raiz exposta com marcas de oxidação.

Figura 4.34 – Registro fotográfico dos pilares e elementos da infraestrutura

4.2.1.7 - Análise do estado atual da ponte sobre o Córrego Jaguaraçú

Verifica-se a obstrução do sistema de drenagem nas extremidades da pista de rolamento da ponte causada pelo acúmulo de material na região do encontro com o guarda-rodas. Tal fato resulta em perigo eminente de infiltração da água oriunda da pista através da laje do tabuleiro e do seu escoamento para além das bordas da laje, atingindo os elementos inferiores da ponte. Pode ser atribuída como uma das causas da obstrução do sistema de drenagem a insuficiente manutenção da obra. Por outro lado, o sistema de drenagem da ponte não foi objeto de revisão na oportunidade do seu projeto de reforço, permanecendo as quedas d'água nos moldes antigos, e a permanência da tubulação de escoamento da água da pista com dimensões aquém daquelas preconizadas pelas normas atuais. A adequação dos diâmetros das tubulações de drenagem das águas do pavimento foi inclusive um dos objetos de sugestão para o reforço, conforme relatório de inspeção de 2007. A face inferior da laje do tabuleiro já mostra sinais de infiltração na sua superfície, com manchas brancas em diversos pontos, sugerindo a instalação do processo de lixiviação. No encontro entre a laje e as vigas do tabuleiro também é possível observar a presença dessas manchas já começando a atingir as faces laterais das longarinas e transversinas.

No relatório da inspeção da ponte, consta como problema a ser resolvido a falta de segurança da obra sob o ponto de vista da sua funcionalidade. A permanência dos guarda-corpos antigos não melhorou a condição dessa segurança, sendo a sua existência um mero balizador de tráfego. Ademais, a degradação desses elementos principalmente na região do encontro com a laje do tabuleiro, torna essas estruturas ainda mais frágeis. Na região da base dos guarda-corpos observa-se inclusive a deterioração do concreto da laje da ponte, provavelmente devida aos contínuos serviços de apicoamento do concreto dessa região, executados alheios às boas técnicas, resultando em ninhos de concretagem com exposição dos agregados. O fluxo de água advindo da pista durante as chuvas, que passa por essa região devido a insuficiência do sistema de drenagem, potencializa a degradação das estruturas desse encontro. Uma vez estando a superfície degradada exposta ao fluxo de água, pode haver erosão do concreto com desgregação, aumentando a porosidade, diminuindo o volume do elemento e resultando na perda de capacidade portante bem da durabilidade da estrutura da laje. A existência dos vazios de concretagem somada ao fluxo permitido da água nestas regiões propiciaram em alguns pontos o início do processo corrosivo das armações de ancoramento dos guarda-corpos, inseridas na laje. Supõe-se que da mesma forma as armaduras pertencentes da laje estão vulneráveis ao mesmo tipo de ataque, dada a condição estabelecida nessas regiões.

Mostram-se constantes os serviços de recomposição dos guarda-corpos, necessários devido ao número de colisões de veículos, principalmente os de carga, contra esses dispositivos. Apesar do controle de velocidade imposto pelo radar implantado no local e quebra-molas, a configuração geométrica da ponte não é adequada para a característica do tráfego que dela faz uso. Durante a vistoria realizada, em alguns momentos, caminhões que transitam na rodovia tendem a parar abruptamente antes de ingressar na ponte quando visualizam outro caminhão em sentido contrário no mesmo local, com receio da largura da pista de rolamento não ser suficiente: por isso um veículo de grande porte atravessa a ponte de cada vez. De acordo com informações da engenharia do DNIT, existem circunstâncias que os motoristas de grandes caminhões não verificam a tempo esta limitação, se chocando contra os guarda-corpos da ponte, destruindo parte da sua estrutura desses dispositivos e em alguns casos causando acidentes no local. Podemos conjecturar que o dano causado no trilho de segurança de acesso a ponte (“guard-rail”) pode ter sua origem devido a choque de veículo possivelmente envolvido em uma situação similar a essa.

A curva da rodovia com início na extremidade da ponte do lado Governador Valadares é mais um fator de insegurança. Essa região está registrada na figura 31 a. Supondo dois caminhões trafegando em faixas opostas na rodovia, um verá o outro de forma inesperada, e dada a largura precária das pistas sobre a ponte, os condutores poderão tentar desviar com movimentos abruptos devido à surpresa, comprometendo a segurança do tráfego na região. Podemos ainda visualizar na foto 4.31 c que a distância existente para esses possíveis desvios dos veículos de carga sobre a ponte é muito restrita, causando insegurança e perigo aos usuários da rodovia. A funcionalidade, sob este ponto de vista, pode ser configurada como causa direta das patologias observadas na ponte, nos guarda-corpos e no encontro desses dispositivos com a laje.

Há que se ressaltar a necessidade do projeto de reforço abranger as diversas interferências realizadas nas pontes, aferindo o potencial deletério desses sistemas para a estrutura. Fatores específicos de funcionalidade, sistema de drenagem, geometria da obra e sinalização, por exemplo, poderão ser capazes de contribuir negativamente para a durabilidade da ponte, prejudicando a eficácia da obra de reforço.

A inexistência de espaço no local de instalação dos aparelhos de apoio sugere que esses dispositivos estão subtraídos da sua função estrutural, tendo possivelmente atingido o seu limite de resistência. Os aparelhos de apoio tem função de absorver a movimentação decorrente dos esforços horizontais e de rotações próprios do tráfego sobre a ponte, transmitindo ao pilares apenas os esforços verticais resultantes. Na sua ausência, os esforços oriundos da pista incidem diretamente sobre os pilares, sendo que eles não foram muito provavelmente dimensionados para resistir a este tipo de solicitação. Além dos riscos de deslocamento e de comprometimento estrutural eminente, resultantes dos esforços não previstos, existe ainda a probabilidade da ocorrência de fissuras e trincas nos pilares que poderão reduzir a capacidade portante da ponte e a sua durabilidade. O deslocamento do tabuleiro em relação aos pilares, visualizada no encontro entre as longarinas e os pilares próximos à extremidade Governador Valadares, ilustrado na figura 4.33, pode ser decorrente da ausência destes dispositivos ou de movimentações com cargas não previstas do cálculo estrutural. Tal verificação de deslocamento da longarina revela comportamento estrutural diferente daquele previsto na obra reforço e do seu projeto de concepção. Neste caso, a manutenção e a vistoria rotineira se tornam eficazes meios de

prevenção de riscos à obra e ao tráfego que dela se utiliza. A verificação tardia de comprometimentos como este retardam as ações para sua solução, podendo acarretar em maiores custos para a sua correção, obras mais complexas além de oferecer risco aos seus usuários e aos moradores lindeiros.

As estruturas dos encontros possuem marcas de infiltração, sugerindo a percolação da água advinda dos aterros. Tal incidência sugere a deficiência do sistema de drenagem dos aterros e ainda a precariedade dos serviços de manutenção do entorno da ponte, onde podem estar ocorrendo obstruções aos dispositivos de drenagem nessas regiões. A vegetação presente no entorno da obra e particularmente no contorno das estruturas dos encontros é um indicativo da carência dos serviços de manutenção.

Além do estabelecimento do ninho de inseto não identificado em diversos setores da ponte, existe em toda a superfície da obra a retenção de sujeiras e presença de ninhos de outros insetos, principalmente de aranhas. A verificação das eventuais patologias decorrentes da presença desses organismos depende de estudos dos possíveis ataques biológicos deles decorrentes. A ausência desta aparência dos elementos e da presença de ninhos nas inspeções realizadas até 2005 sugere que possivelmente algum produto utilizado no reforço, como a tinta acrílica por exemplo que foi utilizada em toda a estrutura, pode possuir na sua composição algum componente favorável ao estabelecimento destes organismos. No entanto tal afirmação carece de estudos específicos por profissionais de outras áreas do conhecimento científico. Entretanto pode-se considerar que essa situação encontrada na ponte resulta em prejuízo estético à obra.

A erosão verificada na estrutura dos blocos de reforço da fundação é decorrente da ação da água do córrego e pode ter sua taxa de deterioração aumentada devido à instalação do sistema de reforço com aumento da velocidade do curso d'água nesta região, dado a diminuição da seção de vazão do córrego. Outro fator contribuinte para a diminuição da seção de vazão com consequente alteração das características do regime do rio pode ser atribuído à deficiente conservação da ponte, que possui densa vegetação às margens do curso d'água. A presença de vegetação além de ser por si um obstáculo natural restritivo da seção de vazão, ainda aumenta a rugosidade das superfícies laterais do canal. Esse aumento na rugosidade de superfície gera acréscimo do

coeficiente de atrito da água com as laterais do canal, diminuindo a capacidade de escoamento, a seção original e conseqüentemente a retenção de volume a jusante com alteração das propriedades do fluxo.

As estacas do tipo “raiz” utilizadas na infraestrutura da obra de reforço já possuem processo corrosivo instalado na região de encontro com o bloco. Esta patologia pode ter como origem a deficiente condição imposta ao elemento dada a variação do nível do curso d’água.

Novamente, a adoção de medidas específicas relativas aos elementos submetidos à variação do nível d’água poderão aumentar a durabilidade da estrutura.

A instalação da cantoneira para redirecionamento das águas advindas do tabuleiro se mostrou eficiente não existindo marcas de infiltração na face externa das longarinas.

4.2.2 – Ponte sobre o Rio Piracicaba

A ponte sobre o rio Piracicaba está localizada na rodovia BR-381 no km 276, no município de Antônio Dias, no Estado de Minas Gerais. Tem como sub-trecho o entroncamento com a MG-425 (Coronel Fabriciano) até o entroncamento com a MG-320 (para Jaguaráçú), sob código 381BMG0230 no Sistema Nacional de Viação (SNV) de 2012.

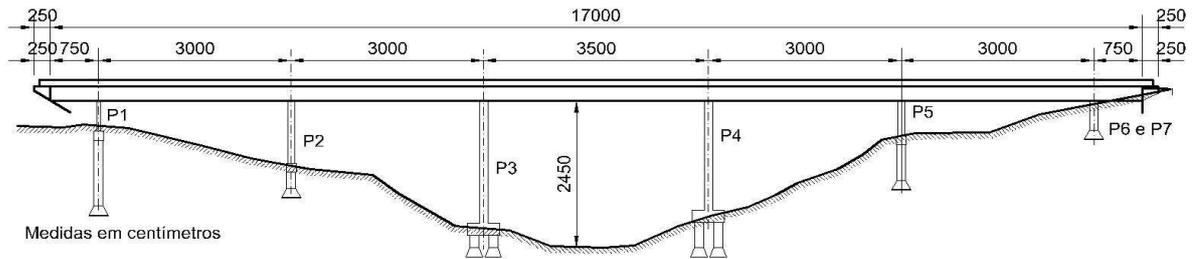
4.2.2.1 - Dados do Projeto e da Construção da Ponte

Esta ponte foi projetada e construída em 1971. A ponte foi projetada para atender a classe 36, com trem tipo, TB-36 (360 kN/ eixo). As configurações geométricas, o cálculo de estruturas de concreto e a distribuição das cargas atenderam às normas NB-1 (1960), NB-2 (1960) e NB-6 (1960). O projeto foi elaborado pela equipe técnica do Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (extinto DNER) com as principais características descritas na tabela 4.5.

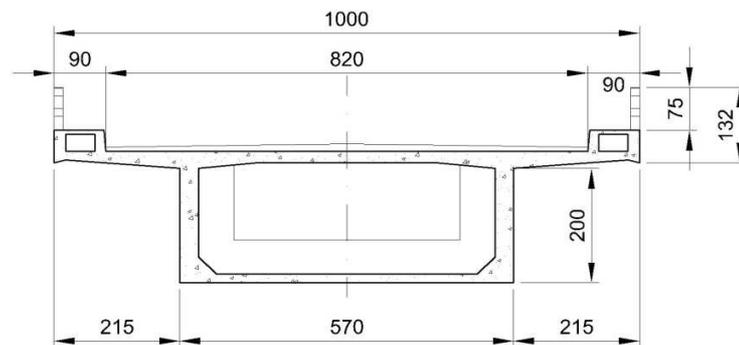
Tabela 4.5 – Características do projeto original da Ponte sobre o Rio Piracicaba

MATERIAIS	
<p>Todos os elementos em concreto armado.</p> <p>Aparelhos de apoio em neoprene.</p> <p>Revestimento asfáltico da pista com 15 cm de espessura no eixo e caimento de 2%.</p> <p>Drenagem do pavimento por meio de tubos de dreno com 7,5 cm de diâmetro, instalados a cada 5 m ao longo das extremidades da pista de rolamento.</p> <p>Geometria do tabuleiro contemplando pingadeira nas extremidades das lajes em balanço.</p>	
REGIÃO	
<p>Obra situada em vale de região ondulada (mares de morros).</p>	
DADOS GEOMÉTRICOS	
<p>Ponte ortogonal ao rio e tangente a rodovia com trecho em curva.</p>	
Comprimento Total	170 m com 7 vãos: 5 centrais com 30 + 30 + 35 + 30 + 30m e balanços em ambas extremidades com 7,5 m cada.
Largura total	10 m com 2 pistas de 3,20 m
DADOS GEOMÉTRICOS	
Acostamento	Não possui
Guarda-rodas	Seção transversal de 90 x 37 cm
Guarda-corpo	Em concreto vazado, com 75 cm de altura acima do guarda-rodas.
Laje	Tipo caixão fechado com 5,70 x 2,0 m e balanços de 2,15 m nas extremidades. A seção caixão possui duas vigas principais. Ver corte transversal figura 4.33.
Longarinas	Não possui
Transversinas	Não possui
Pilares	Ver figura 4.34
Fundação	Ver figura 4.34
Laje de Transição	Não possui
Balanço nas extremidades	Com 7,50 m ao longo do greide da rodovia
Encontros	Tipo muro de ala, com 2,5 m ao longo do greide da rodovia e 2,30 m de altura.
Cortina	Não

A figura 4.35 mostra a vista longitudinal e o corte transversal com as características geométricas da concepção da ponte. Os pilares foram numerados para melhor identificação da estrutura nos diversos sub-itens descritos a seguir. A figura 4.36 apresenta dimensões e detalhes das seções dos pilares de acordo com a numeração mostrada na figura 4.35 e o sistema de fundação.

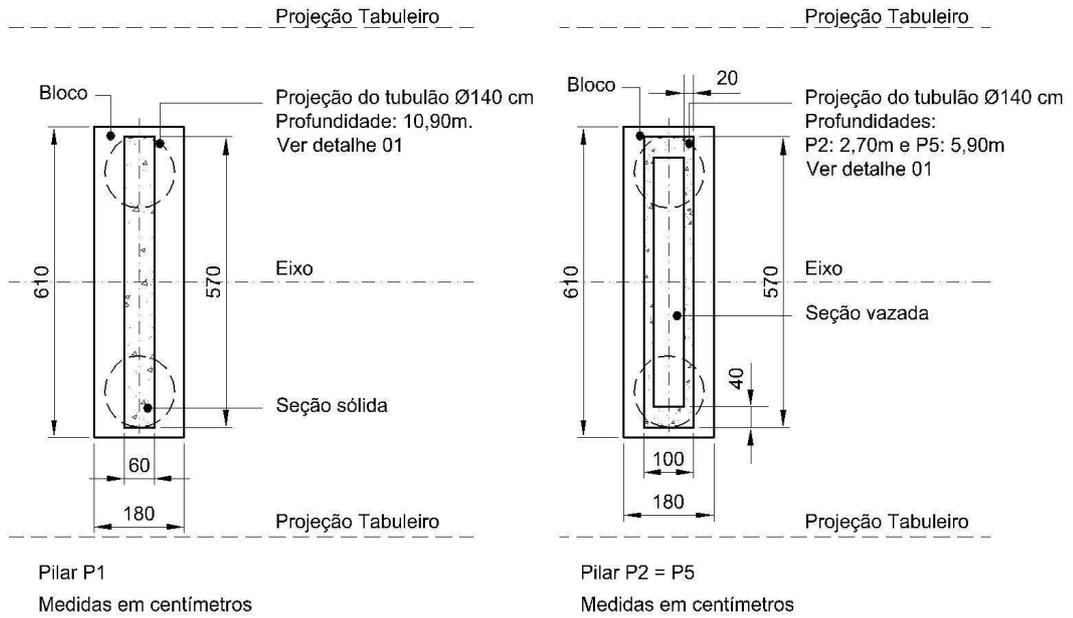


(a) Vista lateral com indicação dos pilares

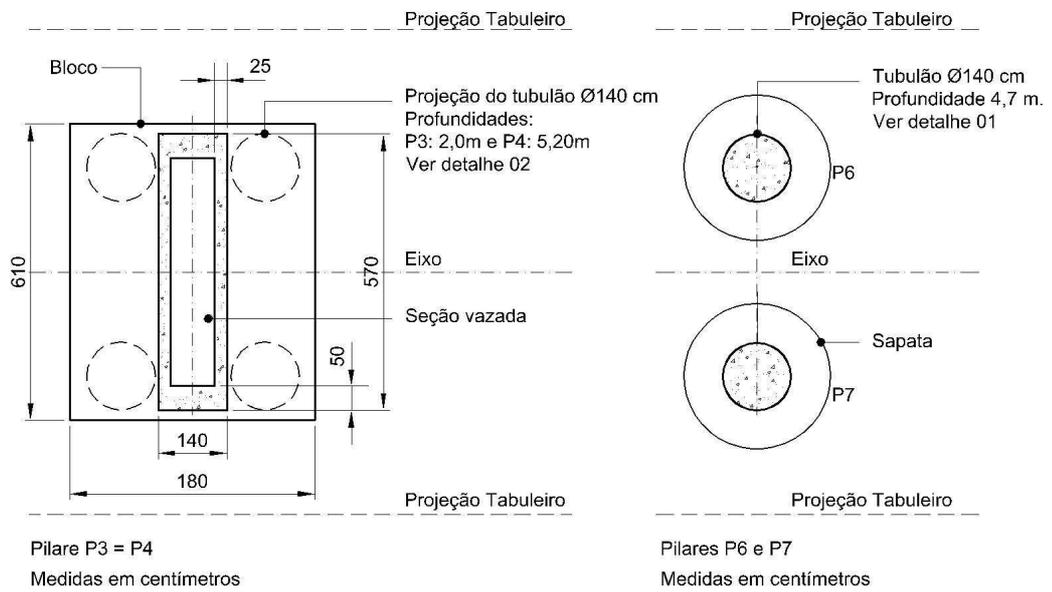


(b) Corte Transversal no meio do vão

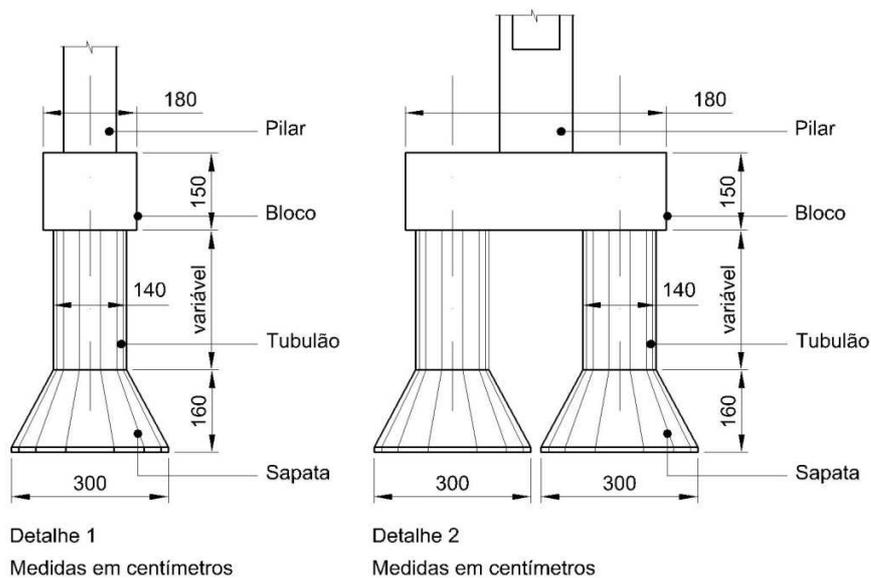
Figura 4.35 – Características geométricas da ponte sobre o rio Piracicaba



(a) Pilares P1, P2 e P5.



(b) Pilares P3, P4, P6 e P7



(c) Esquema da fundação

Figura 4.36 – Detalhes dos pilares e do esquema de fundação do projeto original da ponte sobre o rio Piracicaba

4.2.2.2 - Vistoria especial realizada em março de 2005

Não existem informações ou documentos sobre inspeções realizadas anteriormente àquela que identificou a necessidade do reforço.

Em março de 2005 ocorreu um movimento do aterro de acesso da ponte, no lado de Belo Horizonte. Foi possível observar um deslocamento no tabuleiro e forte inclinação no pilar P1. Em vista deste acontecimento, a ponte foi interditada e foi realizada uma vistoria especial visual no dia 30 de março de 2005, cujos resultados são descritos a seguir.

Foi verificado que o tabuleiro sofreu deslocamento de 20 cm. O deslocamento no tabuleiro e a inclinação do pilar (P1) foram consequências de um empuxo ocorrido no tubulão de apoio deste pilar. Este empuxo deslocou o conjunto pilar-tubulão provocando uma inclinação de 15% na estrutura do pilar. O pilar P2 também sofreu o mesmo tipo de movimento com menor intensidade resultando em uma inclinação de aproximadamente 7%. Os pilares centrais tiveram rotação de

aproximadamente 1% e no último pilar (lado Governador Valadares), houve rompimento do aparelho de apoio. Devido a estes deslocamentos, surgiram fissuras de flexão e de cisalhamento nas vigas principais da seção caixão fechado.

Além das deformações provocadas na estrutura da ponte, foi observado um abatimento da pista de rolamento da estrada ao longo de 40 m na rodovia a partir do lado de Belo Horizonte. A conclusão da inspeção foi que a instabilidade do aterro de acesso era a única causa dos deslocamentos da estrutura da ponte, tendo em vista o abatimento da pista e o fato de não haver histórico de quaisquer problemas estruturais ou patologias graves na ponte que pudessem culminar naquela situação.

A figura 4.37 apresenta o relatório fotográfico dessa inspeção.



(a) Vista geral da ponte com identificação do local do abatimento do maciço



(b) Deslocamento e rotação do pilar 1.
Sentido Belo Horizonte - Ipatinga



(c) Fissura entre o pilar 2 e o bloco. Sentido Belo Horizonte - Ipatinga



(d) Inclinação no pilar central devido a deslocamento do tabuleiro



(e) Deslocamento de 30 cm do pilar 5 em relação ao tabuleiro. Lado Ipatinga da ponte.



(f) Deslocamento de 20 cm no pilar 6 em relação ao tabuleiro. Lado Ipatinga da ponte.

Figura 4.37 – Registro fotográfico da situação da ponte sobre o rio Piracicaba na vistoria especial de março de 2005

Na tabela 4.6 estão relacionadas, por elemento, as providências sugeridas no relatório de inspeção para o reforço dessa ponte .

Logo após a inspeção de março de 2005, o tráfego na ponte foi limitado a uma carga máxima de 23 toneladas por eixo e velocidade máxima de 25 km/h. Para a fiscalização da limitação da carga foi instalada próxima a ponte uma balança móvel. A indicação da velocidade máxima foi sinalizada e controlada através de placas e redutores de velocidade. Os demais veículos deveriam seguir desvio devidamente sinalizado por outra via rodoviária. Foi executado um sistema de escoramento metálico provisório para o pilar P1 (lado Belo Horizonte da ponte) e instalados inclinômetros e piezômetros para controle de possíveis novos deslocamentos ou de possíveis alterações da pressão d'água submersa dos aterros.

Tabela 4.6 – Providências necessárias sugeridas pelo relatório da vistoria especial

ELEMENTOS	PROVIDÊNCIAS NECESSÁRIAS
Tabuleiro	<p>Reforçar o tabuleiro através de protensão externa.</p> <p>Restaurar a laje superior e construir barreiras de segurança.</p> <p>Prolongar a ponte com vigas metálicas para restabelecer o tráfego no menor prazo possível.</p>
Aparelhos de apoio	Substituir os aparelhos de apoio.

ELEMENTOS	PROVIDÊNCIAS NECESSÁRIAS
Pilares	Substituir inteiramente o conjunto pilar P1-tubulão e reforçar os demais pilares.
Aterros	Executar a contenção do aterro de acesso do extremo Belo Horizonte por meio de cortinas atirantadas.

4.2.2.3 - Descrição do projeto e da execução das obras de reforço

O projeto de reforço da ponte contemplou a adequação da ponte para o trem tipo TB-45 (450 kN/eixo) bem como as providências sugeridas (tabela 4.6) porém com duas exceções. A primeira foi a preservação da estrutura do pilar P1 com devida intervenção de reforço. A segunda exceção foi a substituição da cortina atirantada de contenção do aterro pela colocação de placas pré-moldadas de concreto. Este fato foi devido a necessidade de acelerar a execução da obra.

O projeto do reforço da ponte foi elaborado durante o mês de abril de 2005, simultaneamente com algumas intervenções executivas por se tratar de obra executada em caráter emergencial. A obra de execução do reforço da ponte foi realizada durante seis meses: de abril a setembro de 2005.

E) Reforço do tabuleiro existente através de protensão externa

O reforço do tabuleiro foi realizado através de protensão externa, com cordoalhas de 7 fios estabilizados com diâmetro de 12,7 mm dispostos em quatro colunas e seis linhas. Foi realizado um envolvimento das cordoalhas por meio de caixa de concreto medindo 16 x 35 cm. Para a protensão foram previstas ancoragens nos dois extremos da ponte e desviadores ao longo do seu comprimento. A figura 4.38 mostra o local da instalação da protensão no tabuleiro e a figura 4.39 os detalhes das ancoragens e desviadores do sistema de protensão. O concreto utilizado no envolvimento das cordoalhas e das peças metálicas tinha resistência característica à compressão f_{ck} igual ou maior que 30 MPa e deveria ser fabricado com aditivo tipo cola a base de resina sintética para proporcionar maior aderência.

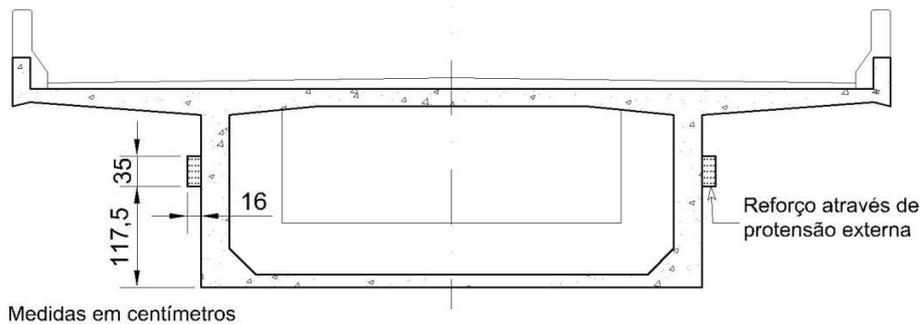


Figura 4.38 – Localização do sistema de protensão externa do tabuleiro.

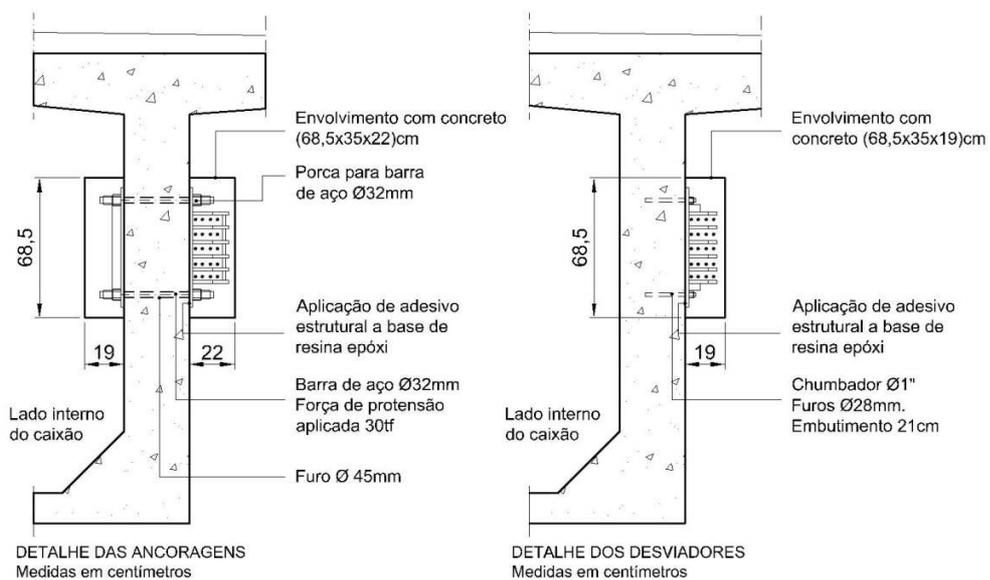


Figura 4.39 – Ancoragens e desviadores do sistema de protensão

A figura 4.40 ilustra a fase executiva do sistema de protensão e seu aspecto final com a caixa envoltória de concreto na fase de utilização da ponte.



(a) Ancoragem do sistema de protensão



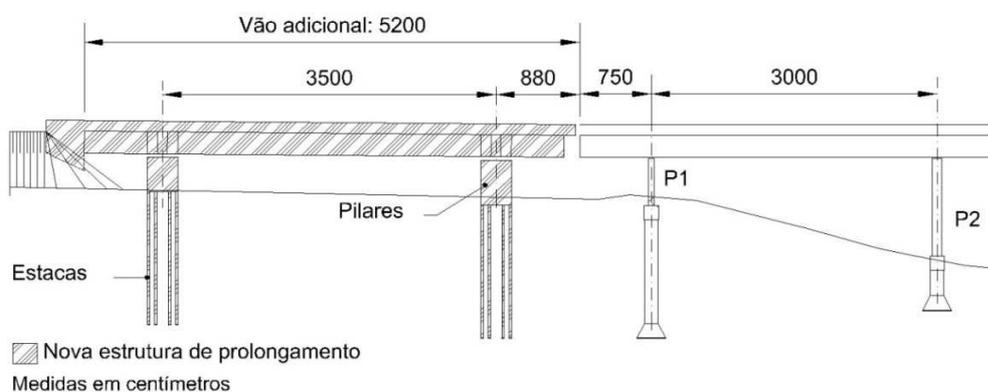
(b) Aspecto final com a caixa envoltória de concreto

Figura 4.40 – Detalhes do sistema de protensão

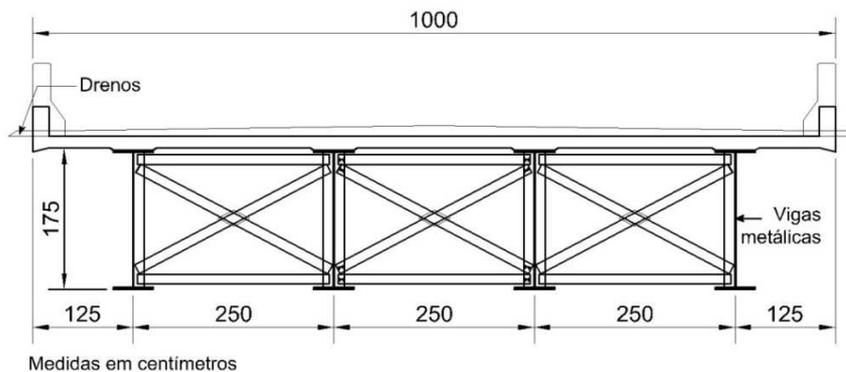
F) *Prolongamento da ponte do lado de Belo Horizonte*

Conforme sugerido no relatório da inspeção especial, foi criado na ponte um vão adicional de 52 m visando o prolongamento desta e a transposição da região do talude com problemas de instabilidade. A estrutura especificada, do tipo mista, previu quatro longarinas de aço com pilares e laje em concreto. Essas longarinas em perfil “I” eram apoiadas em dois alinhamentos de pilares, distantes entre si de 35 m, com dois balanços de 8,8 m e 8,2 m nos extremos. A pista de rolamento prevista era de concreto com espessura média de 25 cm armada com treliças de aço CA60. A figura 4.41 mostra detalhes da estrutura do vão adicional da ponte.

Na região do encontro entre a nova estrutura do vão adicional e a ponte existente foram especificadas peças de aço para travamento da movimentação vertical. Na superfície superior do tabuleiro, o encontro recebeu uma junta polimérica, tipo Jeene, com berços de concreto para seu assentamento. A figura 4.42 mostra detalhes desse encontro.



(a) Vista lateral



(b) Corte transversal no eixo do vão

Figura 4.41 – Detalhes da estrutura do vão adicional para prolongamento da ponte

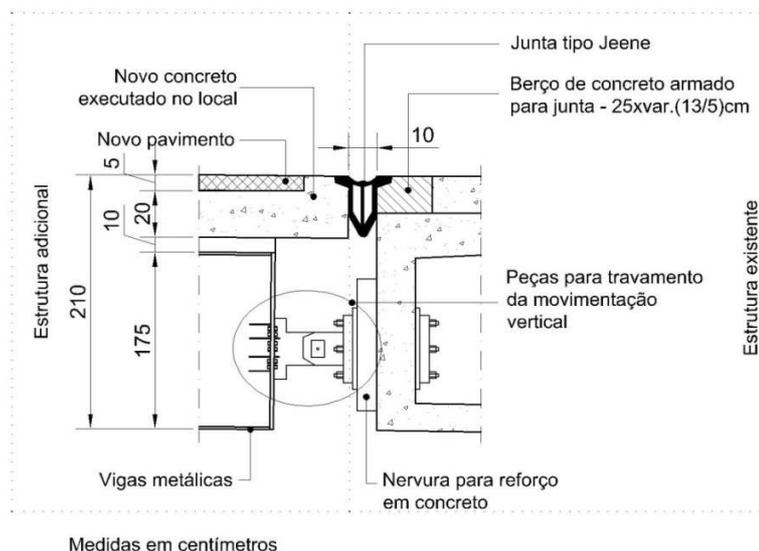


Figura 4.42 – Detalhe do encontro entre as estruturas da ponte existente e do vão adicional

Os pilares previstos para a estrutura do vão adicional possuíam seção circular vazada com 250 cm de diâmetro externo e 125 cm de diâmetro interno. Para cada pilar foram previstas 6 estacas tipo raiz com diâmetro de 41 cm, capacidade de 900 kN e profundidade média de 30 m. A figura 4.43 mostra a seção transversal dos pilares com seção vazada.

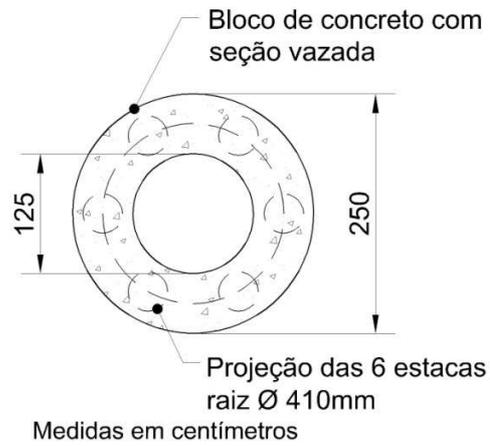


Figura 4.43 – Seção transversal do pilar de concreto do vão adicional

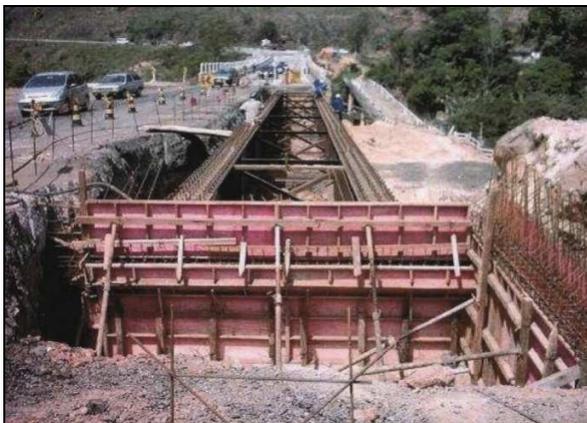
A figura 4.44 mostra detalhes da execução do vão adicional da ponte.



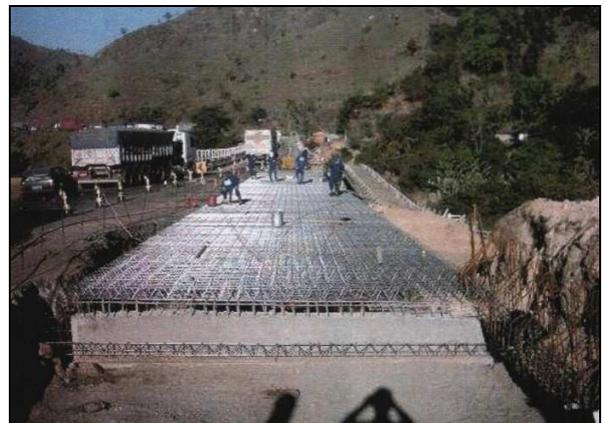
(a) Execução dos blocos



(b) Instalação das longarinas metálicas



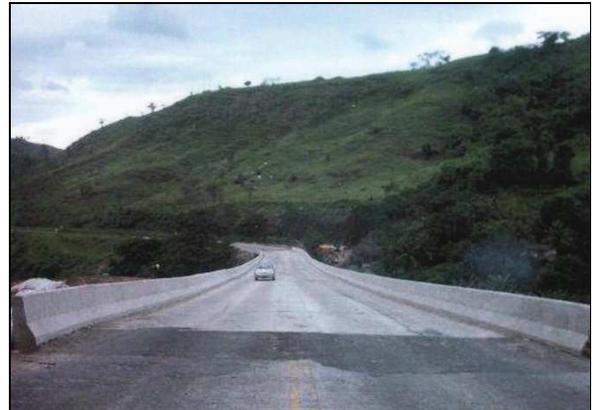
(c) Execução da forma do encontro com a rodovia



(d) Armação da laje



(e) Concretagem de meia pista e armação da barreira
New Jersey



(f) Vista da pista do novo vão, obra concluída

Figura 4.44 – Registro fotográfico da fase executiva do vão adicional da ponte

G) Reforço dos pilares e da infraestrutura

Todos os novos elementos especificados no reforço dos pilares foram ligados a estrutura existente por meio de conectores constituídos de vergalhões de aço com 12,5mm de diâmetro e 30 cm de comprimento. Para sua inserção, foram feitos furos de 16 mm de diâmetro e 10 cm de profundidade espaçados em malha de 25 cm nas superfícies de encontro da estrutura existente com a nova estrutura de reforço. Após a furação era realizada a limpeza do furo com uma escova de arame. Posteriormente, era executado o jateamento com ar comprimido, inserindo o soprador até o fundo do furo. O adesivo a base de resina epóxi era então injetado preenchendo-se metade do comprimento do furo (5 cm). Em seguida o vergalhão era inserido, devendo-se girá-lo durante sua instalação. Qualquer ajuste de posição do vergalhão era realizado somente após 15 minutos de sua colocação correspondente ao ao “tempo de gel” do adesivo. O vergalhão deveria permanecer sem solicitações durante o 4 horas correspondente a duração da cura do adesivo. As superfícies do concreto antigo dos pilares e dos blocos que entrariam em contato como concreto novo foram apicoadas e limpas com jateamento de água sob alta pressão. Foi previsto um cobrimento de 3,5 cm para a armadura de todos os novos elementos. Para os novos blocos foi executada uma camada inferior de regularização empregando-se concreto magro. A figura 4.45 contém o detalhe da instalação do vergalhão na estrutura existente.

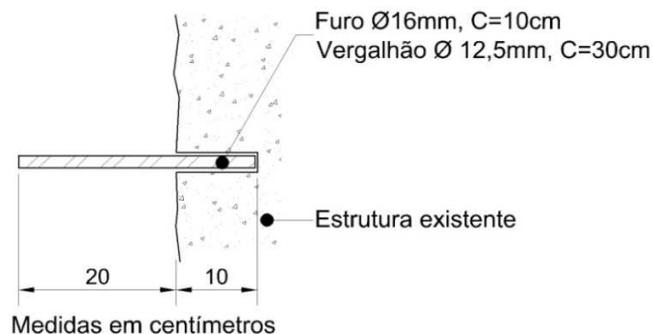
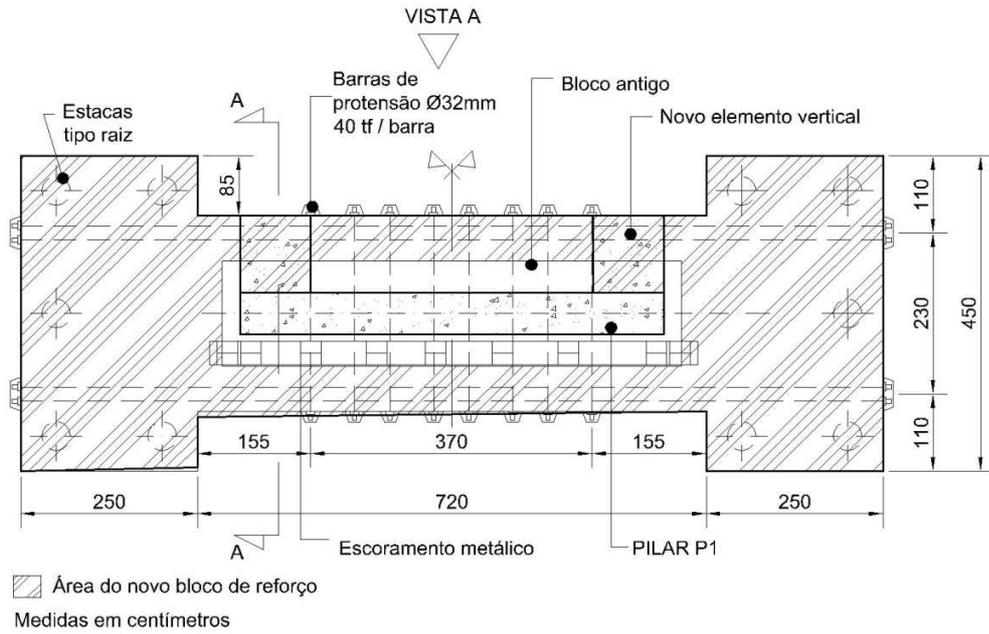


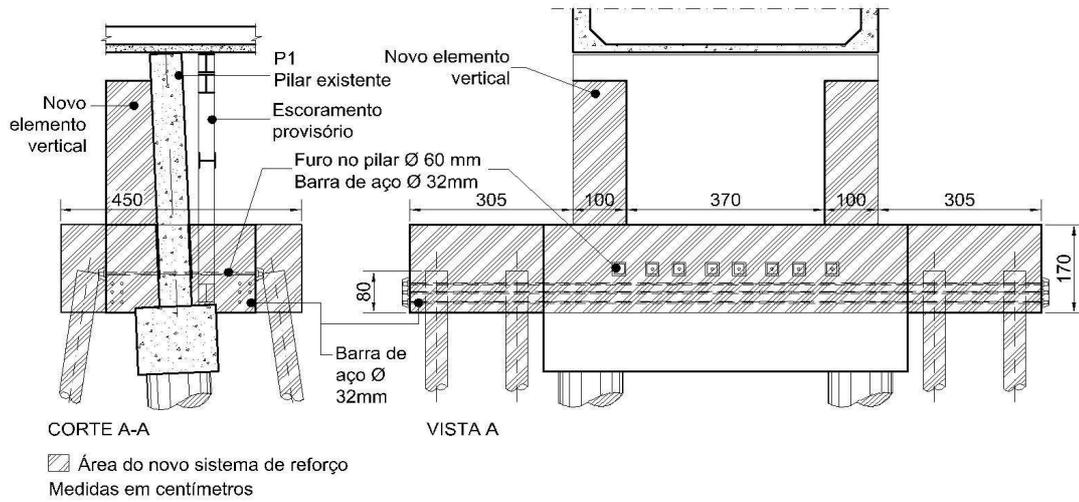
Figura 4.45 – Detalhe genérico da conexão da estrutura existente com a estrutura de reforço dos pilares

O pilar P1 e sua fundação não foram integralmente substituídos como sugerido no relatório de inspeção. Após a análise do projetista, foi detalhado um outro sistema de reforço para essa estrutura. O sistema consistiu na criação de um novo bloco com estacas raiz e no aumento da sua capacidade de carga com protensão de barras de aço. Também foram criados dois novos pilares ligados ao pilar existente visando aumento da sua seção transversal e conseqüente aumento de sua capacidade portante.

O novo bloco para o pilar P1 tinha dimensões de 12,2 m x 4,5 m x 1,7 m. Esse bloco era apoiado em 10 estacas raiz com diâmetro de 41 cm, capacidade de 900 kN e comprimento médio de 17 a 24 m, considerando uma penetração mínima de 5,0 m na rocha alterada, com diâmetro de 31 cm nestas regiões. A protensão do conjunto foi feito utilizando barras de aço com 32 mm de diâmetro. A força de protensão em cada barra foi de 400 kN. A figura 4.46 apresenta detalhes deste novo bloco, as estacas raiz e a locação das barras do sistema de protensão do conjunto.



(a) Planta do conjunto de reforço do pilar P1



(b) Corte A-A e Vista A

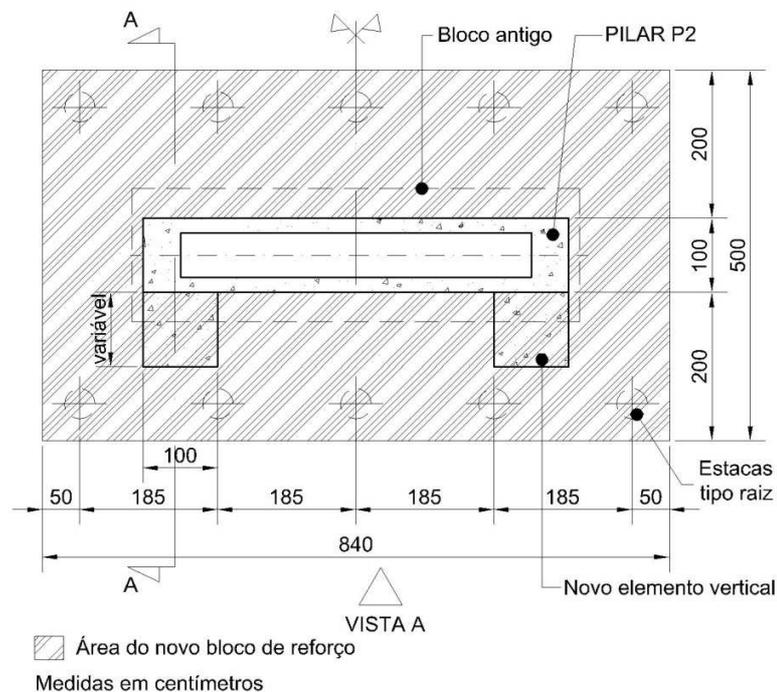
Figura 4.46 – Projeto do sistema de reforço do pilar P1

A figura 4.47 mostra o pilar P1 com o respectivo bloco de fundação após a execução do reforço.

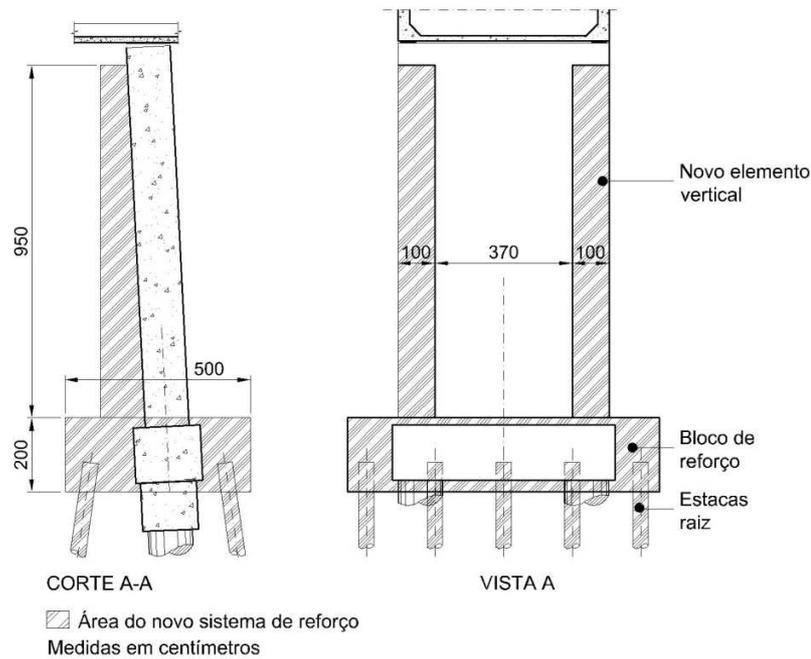


Figura 4.47 – Pilar P1 e o novo bloco de fundação

O reforço do pilar P2 consistiu de aumento de sua seção transversal bem como do bloco de fundação existente. O novo bloco de fundação com dimensões de 840 x 500 cm e dez estacas tipo raiz foi executado no entorno do bloco existente. A figura 4.48 mostra detalhes do reforço deste pilar; a figura 4.49 apresenta o pilar após a execução do reforço.



(a) Planta do conjunto de reforço do pilar P2



(b) Corte A-A e Vista A

Figura 4.48 – Projeto do sistema de reforço do pilar P2

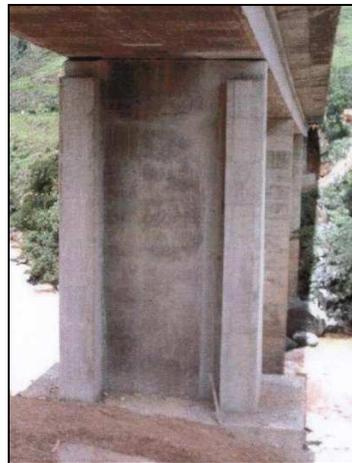
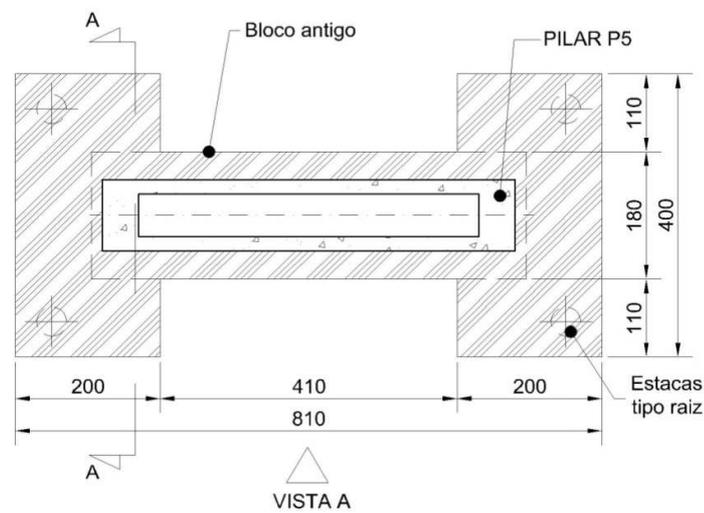


Figura 4.49 – Vista do pilar P2 após o reforço

Devido a necessidade da troca dos aparelhos de apoio da ponte, foi necessário promover à estrutura os recursos suficientes para a elevação do seu tabuleiro. Neste extremo da ponte, lado Belo Horizonte, foi determinado um distanciamento entre a o topo dos pilares de reforço de P1 e P2 a face inferior da viga caixão, para a instalação de macacos hidráulicos. Desta forma, os novos pilares, além da sua função de reforço, tiveram no seu cálculo a previsão dos esforços decorrentes

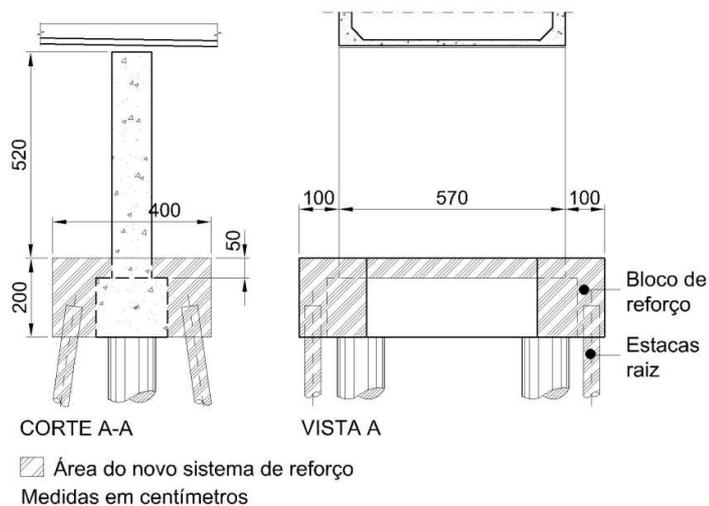
da elevação da estrutura do tabuleiro, trabalhando em conjunto com os consoles criados no outro extremo da ponte, como veremos em tópico específico a seguir.

O reforço do pilar P5 consistiu na construção de um bloco com dimensões de 4,0 m x 8,10 m envolvendo o bloco existente. O bloco era suportado por conjunto de 4 estacas raiz com diâmetro de 41 cm, capacidade de 900 kN e profundidade média de 17 m. A figura 4.50 mostra a intervenção de reforço realizada neste pilar.



 Área do novo bloco de reforço
 Medidas em centímetros

(a) Planta do conjunto de reforço do pilar P5



 Área do novo sistema de reforço
 Medidas em centímetros

(b) Corte A-A e Vista A

Figura 4.50 – Projeto do sistema de reforço do pilar P5

Como os pilares P6 e P7 não tiveram danos estruturais, foi realizado no seu entorno apenas um reaterro compactado visando garantir a estabilidade da estrutura.

Para as estacas raiz foi utilizada argamassa com resistência à compressão igual ou maior que 20 MPa. O concreto utilizado para a regularização e lastro sob os blocos de coroamento das estacas tinha resistência característica á compressão f_{ck} igual ou maior que 15 MPa. Para os blocos de cororamento das estacas e o reforço dos pilares foi utilizado concreto com f_{ck} igual ou maior que 30 MPa.

D) Construção de consoles para a troca dos aparelhos de apoio

Para a troca dos aparelhos de apoio da ponte, foi necessário construir estruturas de consoles para a suspensão do tabuleiro. Como citado anteriormente, no lado da ponte de Belo Horizonte, os pilares de reforço foram detalhados de forma que sua superfície superior servisse de apoio para os macacos hidráulicos de suspensão.

O projeto de reforço para os pilares P5, P6 e P7 incluiu a construção de consoles de apoio para a elevação do estrado deste lado ponte, de Governador Valadares. Para o pilar P5 foi prevista a furação do pilar para a protensão das novas estruturas dos consoles. A figura 4.51 mostra a geometria dos novos consoles e a figura 4.52 mostra a finalização da etapa executiva destes elementos.

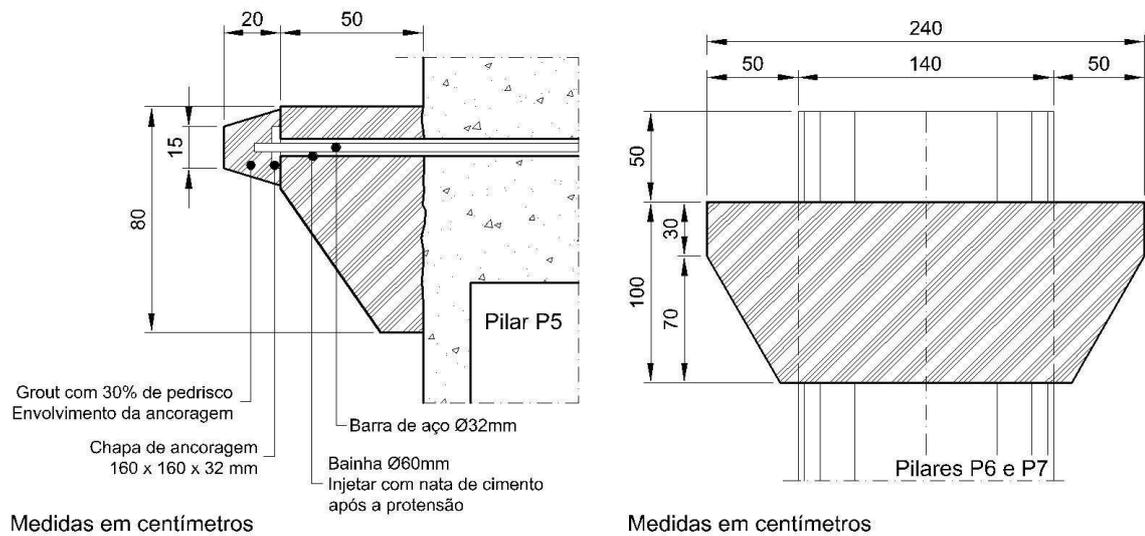


Figura 4.51 – Novos consoles para elevação tabuleiro lado da ponte de Governador Valadares



Figura 4.52 – Detalhes dos consoles nos pilares P5, P6 e P7 para instalação de macacos hidráulicos para troca dos aparelhos de apoio

Os novos aparelhos de apoio foram especificados do tipo neoprene fretado. Para os pilares que sofreram rotação, foram especificadas cunhas de madeira dura, moldadas na obra, para nivelamento da superfície destinada ao aparelho de apoio. A figura 4.53 mostra detalhes do aparelho de apoio para o pilar P1, onde se pode ver também a inclinação do pilar. Para os demais pilares o detalhamento da instalação dos aparelhos de apoio foi similar.

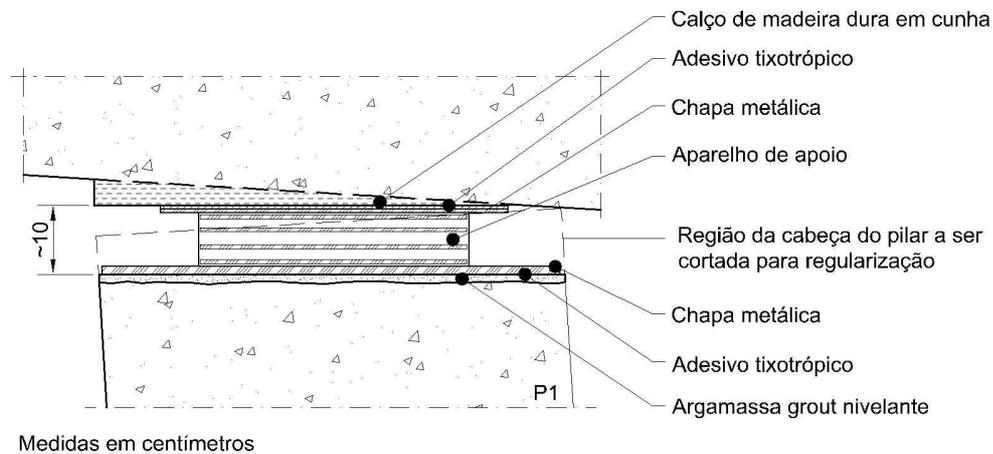


Figura 4.53 – Detalhe da instalação do aparelho de apoio para o pilar P1

Para se elevar a ponte, macacos hidráulicos foram posicionados nos consoles construídos juntamente com as devidas chapas metálicas de distribuição de base e topo. As cunhas de madeira sob a viga foram posicionadas. Durante essa operação de elevação do tabuleiro o tráfego sobre a ponte foi interrompido. Os pares de macacos hidráulicos foram acionados por bomba única. A carga foi aplicada lentamente até a liberação dos aparelhos de apoio existentes, com uma força aplicada de aproximadamente 1350 kN/macaco para P2 e de 1000 kN/macaco para P1. A distância máxima de suspensão foi limitada a 10 mm. Foram colocadas cunhas de madeira entre o topo do pilar e o fundo da viga e posicionados macacos de rosca.

O tráfego após a elevação da ponte foi liberado restritivamente: veículos com carga superiores a 300 kN por eixo deveriam trafegar isolados sobre a ponte, centralizados no tabuleiro e em velocidade constante. Retirados os aparelhos de apoio existentes, foram executados cortes no concreto na cabeça do pilar para instalação dos novos aparelhos. Os cortes visavam criar um nicho com largura de 105 cm, horizontalizando a base dos neoprenes, conforme mostrado anteriormente na figura 4.53. A regularização foi executada com “argamassa groute” autonivelante. As chapas de aço do apoio dos aparelhos de neoprene foram fixadas com adesivo epoxídico tixotrópico. Após a colocação das chapas, os novos aparelhos de apoio foram instalados, podendo então liberar as cunhas de madeira entre o topo do pilar e o fundo da viga juntamente com os macacos de rosca, com o auxílio de aplicação de carga nos macacos hidráulicos. Todas as operações foram realizadas de forma simultânea para o par de aparelhos de apoio de cada pilar. A figura 4.54 ilustra estes procedimentos para o pilar P2.



Figura 4.54 – Procedimento de troca dos aparelhos de apoio para o pilar P2

O concreto utilizado nos consoles tinha resistência característica à compressão f_{ck} igual ou maior que 30 MPa. Foi previsto um cobrimento de 3 cm para as armaduras.

H) Serviços de recuperação da estrutura de concreto

Foram identificadas as anomalias na estrutura de concreto em quatro regiões da laje superior da ponte próximo ao lado Governador Valadares. Na documentação fotográfica da vistoria especial realizada não existem fotos destas anomalias; porém, o projeto de reforço mostra no seu detalhamento grandes áreas com deslocamentos e desagregações do concreto da laje no lado da ponte de Governador Valadares. A figura 4.55 ilustra essa anomalia detalhada no projeto de reforço, bem como a região da demolição do concreto existente e a posição da armadura adicional de reforço.

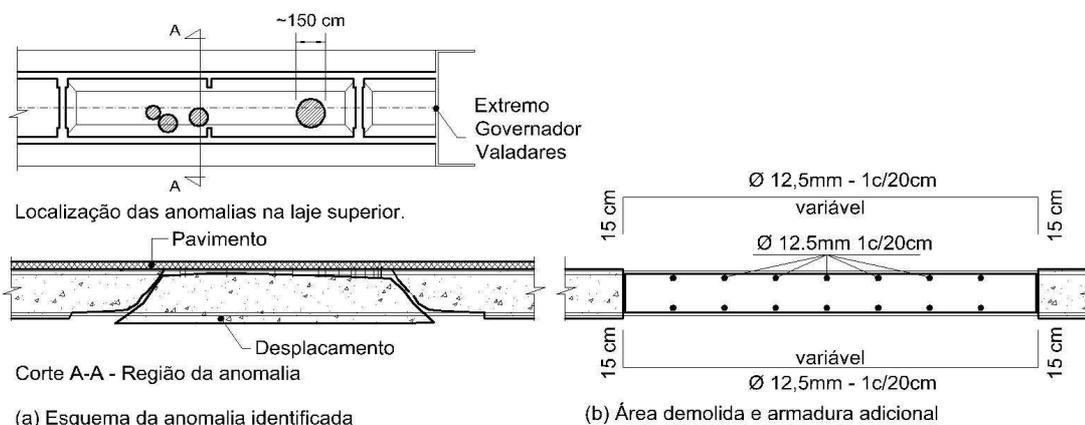


Figura 4.55 – Desenho esquemático das posições dos deslocamentos do concreto na laje superior da ponte, da área a ser demolida com respectiva armadura de reforço.

Para a recuperação foi especificada a demolição de todo o concreto da área danificada, preservando a armadura existente. Foi colocada armadura adicional em malha constituída de barras de aço CA 50 diâmetro de 12,5 mm espaçadas a cada 20 cm nas faces superior e inferior da laje. A superfície do contorno em contato com o concreto existente foi limpa e no momento da concretagem saturada com água. O concreto de reforço tinha resistência característica à compressão f_{ck} igual ou maior que 30 MPa, aditivado com emulsão de polímero sintético. O aditivo especificado tinha como ação principal a promoção de aderência a superfície existente e como ação secundária, a redução da permeabilidade e da retração do novo elemento.

Para as demais anomalias identificadas no revestimento de concreto o procedimento de recuperação iniciava-se delimitando as áreas danificadas. Após delimitação, eram executados cortes concreto com auxílio de máquina de corte. O concreto danificado isolado era demolido e retirado. Nesta superfície era realizada limpeza com completa remoção de partículas soltas e de impurezas, com auxílio de jato de água em alta pressão. Posteriormente, era realizada uma ponte de aderência entre a superfície existente e a nova a ser concretada através da aplicação adesivo estrutural a base de resina epóxi de pega lenta. Para a aplicação do adesivo a superfície deveria estar seca. O adesivo foi aplicado com trincha, formando um filme sobre a superfície existente, sem empoçamento. O concreto novo deveria entrar em contato com o adesivo ainda “pegajoso” obedecendo-se o tempo para manuseio, de aproximadamente 5 horas. O concreto especificado tinha f_{ck} igual ou maior que 30 MPa, também aditivado com emulsão de polímero sintético.

Para as regiões com armadura superficial exposta, foi efetuada a limpeza com jato d’água sob alta pressão. Quando era observado que a armadura apresentava corrosão, era realizada a remoção do produto da corrosão com a escova de aço até que aparecesse a armadura sã. Era aplicada uma camada de argamassa polimérica impermeável, entre 2 mm a 5 mm de espessura em toda a região afetada. A argamassa foi aplicada com uma desempenadeira metálica e a superfície do concreto, no momento da sua aplicação, deveria estar umidecida sem estar saturada.

Para as regiões com desagregação do concreto, exposição de armadura e ninhos de pedra, o procedimento se iniciava com a remoção dos fragmentos desagregados do concreto, limpeza das

superfícies expostas com escova de aço e a aplicação de argamassa cimentícia polimérica, inibidora de corrosão. Para este procedimento foram usadas trinchas de cerdas médias até atingir a espessura aproximada de 0,5 mm. Aplicava-se a segunda demão da argamassa duas horas após a primeira, procurando revestir toda superfície aparente da armadura e também as superfícies de concreto adjacentes. O conjunto era preenchido com argamassa polimérica impermeável, utilizando desempenadeira ou colher de pedreiro, 24 horas da aplicação da argamassa inibidora da corrosão.

Para o tratamento das fissuras com abertura maior que 0,3 mm foi especificada a injeção de resina epoxídica tixotrópica. As demais fissuras, somente após 48 horas da introdução das cargas de protensão receberiam uma colmatação superficial sem necessidade da injeção da resina.

A recuperação das fissuras com abertura superior a 0,3 mm, iniciava-se escarificando todo o seu comprimento com lixadeira elétrica, de forma a dotar a fissura de uma depressão cônica contínua e uniforme. Era feita a raspagem mecânica das margens do veio cônico da fissura, estabelecendo faixas de 5 cm de largura, ao longo de todo o seu comprimento, em ambos os lados. Realizava-se uma limpeza com jato de ar nas faixas obtidas no processo. Para a injeção da resina, foram executadas furações com diâmetro de 1 cm e 3 cm de profundidade do veio da fissura, em intervalos de 15 cm ao longo do seu comprimento. Nova limpeza era realizada em toda a região, com escova de aço e jatos de ar. Tubos de cobre com comprimento de 4 cm eram introduzidos em cada orifício, até atingir a metade desta dimensão da profundidade (1,5 cm). A resina epoxídica tixotrópica era injetada ao longo de toda a fissura, estabelecendo um tamponamento com espessura mínima de 1 mm, abrangendo pelo menos 15 mm de cada margem previamente tratada. Nas bases dos tubos de cobre, a resina deveria circundá-los, promovendo sua fixação. Era introduzida uma mangueira plástica transparente com 15 cm de comprimento e 1 cm de diâmetro, promovendo uma interpenetração que envolvesse os tubos de cobre, aplicando-se adesivo epoxídico para a vedação da ligação. Aplicava-se jato de ar nos purgadores, com intuito de se verificar a comunicação entre eles. Após verificada a interligação era realizada a injeção de adesivo a base de resina epóxi de elevada resistência, previamente homogeneizado, por intermédio dos purgadores inferiores, passando-se a repetir a operação quando a resina aflorasse no purgador imediatamente superior. Nesse momento o purgador anterior de entrada do produto

deveria ser obturado (dobrado) e mantido desta forma com amarração de arame. As etapas sequenciais de injeção eram executadas até o último purgador. Após finalização da injeção, era realizado o corte e a retirada dos purgadores e dos tubos de cobre, estabelecendo um acabamento com argamassa na região tratada, visando possibilitar a etapa final de pintura protetiva da superfície do concreto. A figura 4.56 contém o registro fotográfico da fase executiva de injeção de resina epoxídica tixotrópica para tratamentos de algumas fissuras existentes no pilar P2.



Figura 4.56 – Injeção de resina epoxídica tixotrópica para tratamento de fissuras existentes no pilar P2

1) Substituição do guarda-corpo pelo sistema de barreiras New Jersey

Os guarda-corpos e guarda-rodas existentes foram destruídos e substituídos pelo sistema de barreiras do tipo New Jersey. A figura 4.57 mostra a região demolida do guarda-rodas e o detalhe da nova barreira instalada. O concreto utilizado na barreira da estrutura existente e na estrutura do vão adicional tinha resistência característica à compressão f_{ck} igual ou maior que 20 MPa.

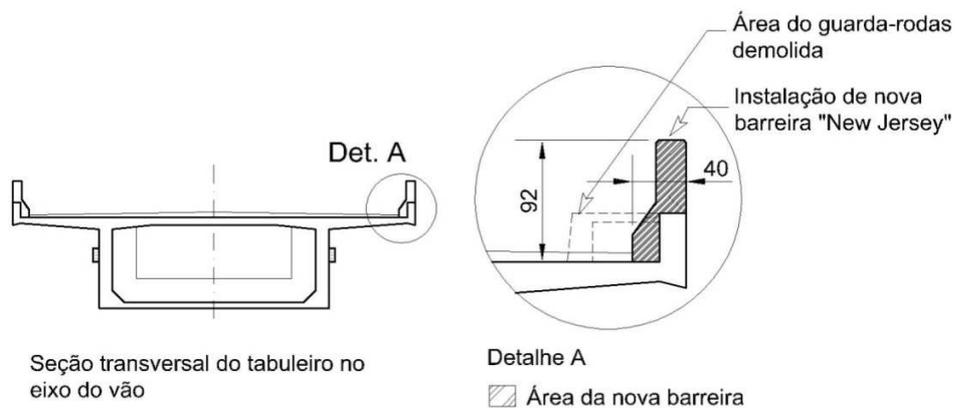


Figura 4.57 – Localização e detalhe da barreira do tipo New Jersey

J) Contenção e estabilização da encosta do lado de Belo Horizonte da ponte

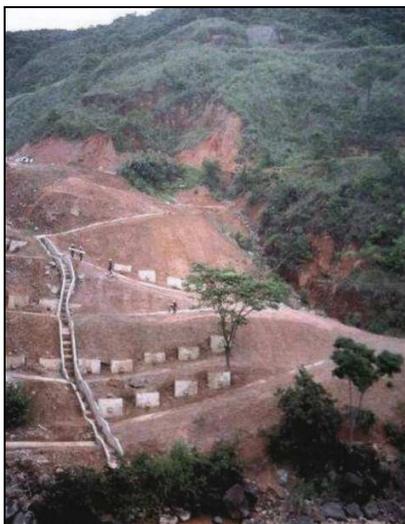
O deslizamento da encosta junto à cabeceira superior do lado Belo Horizonte foi identificado como a causa das patologias identificadas na vistoria especial realizada. Para a estabilização da encosta foram especificadas placas de concreto armado atirantadas e a instalação de 16 drenos sub-horizontais. Foram implantados 50 tirantes ancorados em rocha ou em alteração de rocha, atingindo uma profundidade de 24 m. Para o sistema de drenagem superficial foram executadas sarjetas, canaletas e duas descidas d'água em degraus, com dissipadores de energia no final do curso. A vegetação foi recomposta com sistema de hidromanta estruturada. Durante o processo, para monitoramento das possíveis alterações geológicas, foram instalados 2 piezômetros e 3 inclinômetros. A figura 4.58 mostra o registro fotográfico da fase executiva e finalização da contenção da encosta.



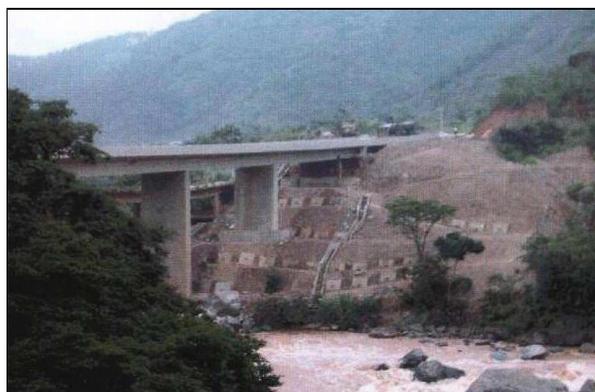
(a) Preparação da base da encosta para recebimento das placas pré-moldadas de concreto



(b) Placas pré-moldadas de concreto com tirantes.



(c) Visão do sistema de contenção da encosta e de descida d'água.



(d) Visão geral do sistema de contenção

Figura 4.58 – Registro fotográfico do sistema de contenção da encosta do lado da ponte de Belo Horizonte.

K) Seqüência executiva dos serviços

Para a realização dos trabalhos, o projeto ordenou a execução dos serviços em nove etapas, de acordo com a tabela 4.7.

Os serviços de demolição dos passeios existentes e introdução das barreiras poderiam ser executados em qualquer momento.

Tabela 4.7 – Seqüência executiva dos serviços de reforço da ponte sobre o rio Piracicaba

Etapa	Serviços
1	Execução das estacas raiz para reforço de fundação dos pilares P1, P2 e P5 e para estrutura de travamento na cabeceira lado Ipatinga.
2	Execução dos blocos de coroamento das estacas dos pilares P1, P2 e P5
3	Execução dos reforços dos pilares P1 e P2 e consoles nos pilares P5, P6 e P7.
4	Execução da estrutura de travamento longitudinal na cabeceira do lado Ipatinga (blocos e laje)
5	Execução da substituição dos aparelhos de apoio dos pilares P1, P2, P5, P6 e P7.
6	Fixação das peças metálicas de ancoragem e desviadores de protensão de reforço das longarinas

Etapa	Serviços
7	Posicionamento das cordoalhas e aplicação das cargas de protensão
8	Execução dos envoltimentos em concreto dos feixes de cordoalhas e peças metálicas
9	Execução dos serviços de acabamentos (tratamentos de anomalias de superfície e pintura do tabuleiro).

4.2.2.4 – Vistoria realizada em abril de 2013

Visando aferir a eficácia dos procedimentos de reforço da estrutura de concreto finalizados em setembro de 2005 na ponte sobre o rio Piracicaba, realizou-se uma inspeção visual em 23 de abril de 2013. A inspeção contou com o auxílio de engenheiro do DNIT que mostrou os acessos executados pelo Órgão para possibilitar a vistoria da ponte.

Não foi possível visualizar a estrutura do vão adicional construído do lado Belo Horizonte da ponte. O citado vão foi executado sobre a enconsta de acesso e ainda devido a presença do elemento de encontro da ponte antiga, não foi possível visualizar as faces lateral e frontal do conjunto. Para tal, seria necessária a escavação do material da enconsta nas duas laterais, o que é impossível em função do contrato de manutenção do DNIT neste trecho da rodovia. Os demais elementos foram visualizados na sua integridade, principalmente com o auxílio da estrutura de uma ponte antiga e interditada instalada paralelamente a ponte em uso.

Além da inspeção visual, foi realizada também a inspeção cadastral da ponte, devido a ausência desta vistoria pelo DNIT. Foram preenchidos os devidos formulários pertencentes ao manual de inspeção de pontes rodoviárias do DNIT apresentados no anexo C deste trabalho.

A) Condições gerais da pista, sistema de sinalização, sistema de drenagem e das barreiras New Jersey

O pavimento estava em condições precárias, principalmente do lado Governador Valadares. Em diversas regiões do pavimento verificou-se que foram executados serviços de tapa buraco. Em

função destes serviços observou-se diversas ondulações na pista de rolamento e irregularidades no revestimento asfáltico. Na região de encontro da pista de rolamento com a barreira, em ambos os lados da ponte e em toda a sua extensão, havia acúmulo de material oriundo da pista e carregado pelas águas de chuva. O sistema de drenagem estava parcialmente obstruído e encoberto por este mesmo material. Na região do encontro da pista de rolamento da rodovia com a extremidade da ponte do lado Governador Valadares, observou-se uma grande trinca entre o pavimento da rodovia e a estrutura do encontro da ponte, em ambos os lados, tendo maior dimensão da sua abertura no lado direito no sentido Governador Valadares - Belo Horizonte.

A barreira New Jersey do lado de Governador Valadares possuía pequena área destruída, devido provavelmente a algum acidente. A região das juntas de dilatação na ponte estavam preenchidas com material oriundo da pista de rolamento e nas suas extremidades verificou-se imperfeições em alguns trechos, devido a presença de material de revestimento asfáltico.

Existia sinalização vertical indicativa da ponte e das operações da curva existente após seu término, do lado Governador Valadares. Os tachões instalados para delimitação da pista de rolamento estavam destruídos em diversos trechos na ponte e a faixa delimitadora da pista também era inexistente em alguns setores. A figura 4.59 ilustra a condição desses elementos.



(a) Vista lateral da ponte
Lado Belo Horizonte



(b) Vista da pista com regiões isoladas de serviços de
tapa buraco. Lado Belo Horizonte



(c) Presença de diversos pontos de serviços de tapa buraco na pista – ondulações e irregularidades no pavimento. Lado Governador Valadares



(d) Vista da junta de dilatação Lado Governador Valadares



(e) Depósito de material na região entre a pista e a barreira de segurança. Ausência da sinalização horizontal de delimitação da pista.



(f) Barreira com pequena área danificada. Lado Governador Valadares



(g) Vista lateral da ponte mostrando o encontro da estrutura antiga com a estrutura da barreira instalada na obra de reforço. Lado Governador Valadares



(h) Vista lateral do vão adicional da obra do reforço. Lado Belo Horizonte



(i) Vista da trinca entre a pista de rolamento da rodovia e o encontro do extremo Governador Valadares.
Lado direito no sentido
Governador Valadares – Belo Horizonte



(j) Vista da trinca entre a pista de rolamento da rodovia e o encontro do extremo Governador Valadares.
Lado direito no sentido
Governador Valadares – Belo Horizonte



(k) Vista da trinca entre a pista de rolamento da rodovia encontro do extremo Governador Valadares.
Lado esquerdo no sentido Governador Valadares – Belo Horizonte

Figura 4.59 – Condições da pista, do sistema de drenagem e das barreiras New Jersey da ponte sobre o rio Piracicaba

B) Encontros e aparelhos de apoio

A estrutura do encontro entre a ponte e o vão adicional do lado Belo Horizonte apresentava boas condições de conservação. No extremo Governador Valadares, do lado direito no sentido Governador Valadares – Belo Horizonte, o reaterro compactado realizado pela obra de reforço foi parcialmente destruído na região entre os pilares P6 e P7 e a estrutura do encontro. Houve carreamento do material de solo, por ação de água, resultando em um degrau com aproximadamente 3 metros de profundidade em relação ao nível original do aterro. A origem da água não pôde ser verificada devido ao fato de não existir acesso do lado a montante do curso d'água, sendo possível afirmar somente que não se trata de água do rio Piracicaba. Foi verificado também o rolamento de pedras pertencentes ao sistema de suporte do extremo da estrutura da

ponte. Foi observada exposição da armação na estrutura do encontro do outro lado do extremo Governador Valadares, na pequena área onde foi possível realizar a inspeção.

Todos os aparelhos de apoio estavam em bom estado de conservação e apresentando correta funcionalidade, sem prejuízos ou esmagamentos na estrutura existente. Nas fotos da inspeção é possível visualizar as regiões destruídas na estrutura e as peças de madeira utilizadas na obra do reforço que objetivaram o nivelamento para troca destes dispositivos. A figura 4.60 mostra as fotos relativas a inspeção desses elementos.



(a) Vista lateral do vão antigo e da ausência de acesso lateral para a vistoria dos elementos da mesoestrutura e da infraestrutura do vão adicional.

Lado Belo Horizonte



(b) Vista lateral do vão antigo e da ausência de acesso lateral para a vistoria dos elementos da mesoestrutura e da infraestrutura do vão adicional.

Lado Belo Horizonte



(c) Boas condições do encontro do vão adicional.



(d) Marcas de escoamento de água no encontro do lado Governador Valadares.



(e) Rolamento do material da base de estabilização do encontro no extremo Governador Valadares.
Lado direito no sentido
Governador Valadares – Belo Horizonte



(f) Degrau resultante do carreamento do material de reaterro no extremo Governador Valadares.
Lado direito no sentido
Governador Valadares – Belo Horizonte



(g) Degrau resultante do carreamento do material de reaterro no extremo de Governador Valadares.
Lado direito no sentido
Governador Valadares – Belo Horizonte



(h) Armações expostas no encontro no extremo de Governador Valadares.
Lado esquerdo no sentido
Governador Valadares – Belo Horizonte



(i) Vista da região dos aparelhos de apoio do pilar P2.



(j) Detalhe do aparelho de apoio do pilar P2.



(k) Vista da região dos aparelhos de apoio do pilar P3.



(l) Vista da região dos aparelhos de apoio do pilar P4.



(m) Detalhe da região do aparelho de apoio do pilar P4.



(n) Vista da região dos aparelhos de apoio do pilar P5.



(o) Vista da região dos aparelhos de apoio dos pilares P6 e P7.



(p) Vista da região dos aparelhos de apoio dos pilares P6 e P7.

Figura 4.60 – Condições dos encontros e dos aparelhos de apoio

C) Elementos da parte inferior do tabuleiro

Ao longo de toda a estrutura da ponte foram verificadas armaduras inferiores expostas na estrutura do caixão do tabuleiro. Nas regiões da laje em balanço verificou-se manchas de escorrimento da água proveniente da parte superior do tabuleiro, originadas na região da saída

dos drenos. Existem ainda a continuação das marcas deste escoamento d'água nas faces laterais da estrutura do caixão. A figura 4.61 registra algumas regiões onde foram detectadas estas ocorrências.



(a) Vista inferior do tabuleiro mostrando região com exposição de armadura na face inferior da viga caixão.
Lado Governador Valadares



(b) Vista inferior do tabuleiro mostrando região com exposição de armadura na face inferior da viga caixão. Marcas de escoamento d'água na saída do dreno da laje em balanço. Lado Belo Horizonte



(c) Detalhe da exposição de armaduras na face inferior da viga caixão.



(d) Vista inferior do tabuleiro mostrando região com exposição de armadura na face inferior da viga caixão.



(e) Marcas de escoamento d'água na face lateral da viga caixão



(g) Marcas de escoamento d'água na face lateral da viga caixão



(f) Marcas de escoamento d'água na saída do dreno da laje em balanço atingindo a face lateral da viga caixão



(h) Marcas de escoamento a partir dos drenos localizados na parte inferior do balanço

Figura 4.61 – Registros de armaduras expostas na face inferior do caixão e marcas d'água nas regiões do balanço e na face lateral do caixão.

D) Pilares e blocos da infraestrutura

Os pilares estavam em bom estado, sem incidência de trincas, fissuras ou deformações. Os blocos originais dos pilares P3 e P4, que possuem contato com a água do rio, apresentavam sinais de erosão com algumas armaduras expostas. O bloco mais afetado pelo processo erosivo era o do pilar P3. Neste pilar foram verificadas exposições das armaduras em dois pontos próximos a sua base. Não foi possível visualizar as estacas da ponte devido aos níveis do terreno e da água do rio Piracicaba na ocasião desta inspeção.



(a) Pilar P1 e estrutura do reforço em bom estado



(b) Pilar P2 e a estrutura do reforço em bom estado



(c) Vista do pilar P3



(d) Processo erosivo no concreto do bloco do pilar P3



(e) Processo erosivo no concreto do bloco do pilar P3 e exposição de armaduras



(f) Detalhe do processo erosivo



(g) Exposição das armaduras próximo a base no pilar P3



(h) Vista do pilar P4



(i) Processo erosivo no concreto do bloco do pilar P4



(j) Bom estado dos pilares P5 e P6

Figura 4.62 – Registro do estado dos pilares e dos blocos

4.2.2.5 - Análise do estado atual da ponte sobre o rio Piracicaba

A ponte possui quantidade relevante de material acumulado nas suas laterais, proveniente da pista, obstruindo e comprometendo o sistema de drenagem do pavimento. Este fato é indicativo do deficiente serviço de manutenção. Verificou-se na parte inferior das lajes em balanço marcas de escorrimento de água a partir das tubulações de drenagem atingindo a face externa da viga caixão, incluindo o sistema de protensão. Tal fato pode estar ocorrendo devido à tubulação de drenagem ser rente à face inferior das lajes em balanço. A presença de água nos elementos de concreto poderá causar diversas patologias, destacando-se o potencial risco ao sistema recente de protensão instalado em função da significativa quantidade de elementos em aço tais como cabos e cordoalhas, bem como ancoragens e desviadores necessários à protensão.

O estado precário do pavimento sobre o tabuleiro possui uma área mais danificada exatamente na região onde foram identificadas e tratadas as patologias da laje na obra de reforço. Foram verificados serviços de recuperação do pavimento nestes locais. Deverá ser investigada a possibilidade dessas diversas ocorrências estarem relacionadas à reincidência das patologias verificadas na laje na ocasião da obra de reforço. Poderá ainda ser detectado o surgimento de outros problemas na estrutura da laje da ponte. No entanto, tais verificações carecem da retirada do material asfáltico sobre a laje e análise específica, não sendo objeto deste estudo.

Nas laterais da junta de dilatação da ponte do lado de Governador Valadares existem aberturas com dimensões significativas, chegando a oito centímetros no sentido Governador Valadares – Belo Horizonte. Estas aberturas sugerem a ocorrência de movimentação diferencial entre a estrutura do tabuleiro e do encontro, resultando no possível deslocamento de uma dessas estruturas. Na inspeção aos elementos inferiores ao tabuleiro abaixo deste ponto pode-se verificar o carreamento de material do aterro compactado, conforme figuras 4.60 (e), (f) e (g). Este aterro compactado, previsto no projeto de reforço, foi executado visando aumentar a estabilidade dos elementos desse lado da ponte. Tal aterro possuía cota superior coincidente com o nível dos consoles dos pilares P6 e P7. O material do aterro compactado sofreu processo erosivo, criando um degrau rente aos pilares. Na figura 4.60 (e) verifica-se inclusive o carreamento de pedregulhos utilizados para estabilização do encontro, provavelmente desestabilizados devido à movimentação do solo do aterro. As configurações da vala criada sugerem que a movimentação do solo do aterro é oriunda da ação de água.

O esforço tangencial imposto pelo carreamento do solo à estrutura ou mesmo a redução da capacidade portante desses elementos podem ser causas possíveis do deslocamento entre as estruturas do encontro e do tabuleiro da ponte. No momento da inspeção não havia vestígios de água nessa região, apenas podendo ser aferida a sua origem devido à sintomatologia verificada, decorrente de processo erosivo. A presença de fluxo d'água nesta região pode ser intermitente ou fator isolado, podendo ter sido causada por danos às canalizações de drenagem e dutos de água, existentes em grande número nesta região, dada a necessidade de canalização das águas dos taludes circundantes à rodovia.

A ausência de medidas tomadas referentes a essa patologia agravam a ação danosa da água infiltrada pela trinca existente no pavimento da rodovia, afetando os encontros. Já é possível observar marcas de infiltração no encontro, mostradas na figura 4.60d. O comprometimento do reforço estrutural realizado nesta extremidade da ponte poderá causar movimentações e deslocamentos imprevistos, alterando o comportamento estrutural da ponte e podendo inclusive se tornar perigoso à segurança estrutural da obra, dada a sua imprevisibilidade. Reforça-se a importância dessa verificação tendo em vista o fator deflagrador da obra de reforço em 2005. A

vistoria naquela data detectou rotações e deslocamentos nos elementos da meso e infra-estrutura resultantes de deslocamentos do solo do aterro de acesso no outro extremo da ponte, lado Belo Horizonte.

Foi verificada a existência de diversos pontos com armadura exposta da viga caixaão ao longo de toda a ponte. Existem ainda pontos de armadura exposta com processo corrosivo instalado nas bases dos pilares centrais, próximos ao rio. Essas patologias detectadas podem ter como causa o desgaste natural da estrutura agravado pela utilização de pequenos cobrimentos das armaduras especificados nos projetos da década de 70.

O desgaste superficial verificado nos blocos originais da ponte em contato com a água do rio decorre de processo erosivo agravados pelas mesmas questões de baixo cobrimento e do desgaste da estrutura ao longo dos anos.

Em que pese essas patologias não terem sido documentadas no relatório da inspeção realizada em 2005, é importante ressaltar que processos corrosivos e erosivos dessa monta requerem tempo para evoluir. Neste caso, após apenas seis anos da intervenção de reforço, já existem danos à estrutura que demandam intervenções de maior porte, como no caso da viga caixaão. A manutenção rotineira, realizada neste caso por meio de pequenos serviços de controle dos processos erosivos e corrosivos nas bases dos pilares, poderia contribuir para o aumento da durabilidade da ponte, cessando o desenvolvimento dessas patologias. A ausência dessa manutenção rotineira pode inevitavelmente reduzir a vida útil dos elementos de reforço da ponte.

4.2.3 – Viaduto de acesso a Bela Vista de Minas

O viaduto de acesso a Bela Vista de Minas está localizado na rodovia BR-381 no km 328,8, no município de Bela Vista de Minas, no Estado de Minas Gerais. Tem como sub-trecho o acesso a Santa Maria de Itabira até o entroncamento com a BR-120(A) (Desembargador Drumond para Itabira), sob código 381BMG0265 no Sistema Nacional de Viação (SNV) de 2012.

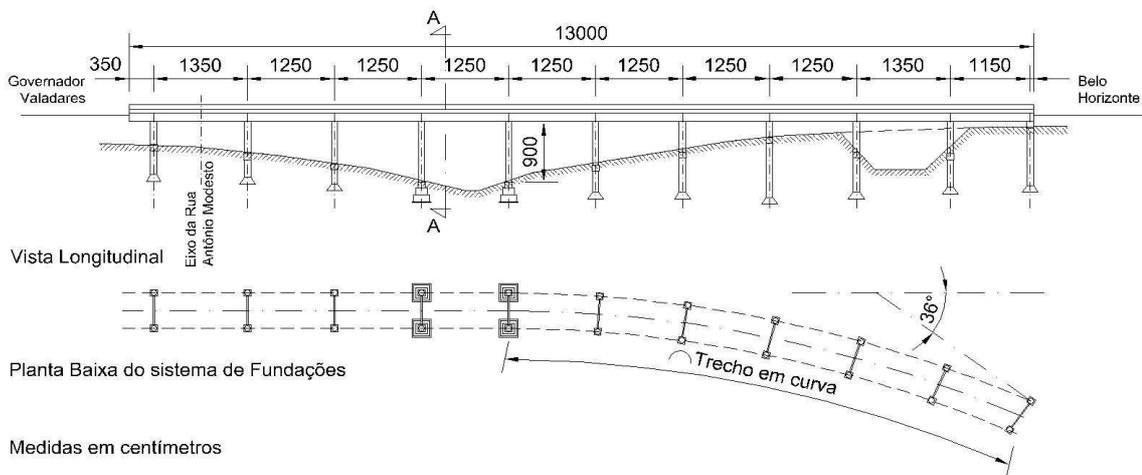
4.2.3.1 - Dados do Projeto e da Construção do Viaduto

O viaduto de acesso a Bela Vista de Minas foi projetado e construído em 1972. O viaduto foi projetado para atender a classe 36, com trem tipo, TB-36 (360 kN/ eixo). As configurações geométricas, o cálculo de estruturas de concreto e a distribuição das cargas atenderam às normas NB-1/1960, NB-2/1960 e NB-6/1960. O projeto e a construção foram executados por empresas especializadas, contratadas pelo Departamento Estadual de Estradas de Rodagem de Minas Gerais (DER / MG) com as principais características descritas na tabela 4.8 e figura 4.63. Na época do projeto do viaduto, sua denominação era “Viaduto sobre a Rua Antônio Modesto”.

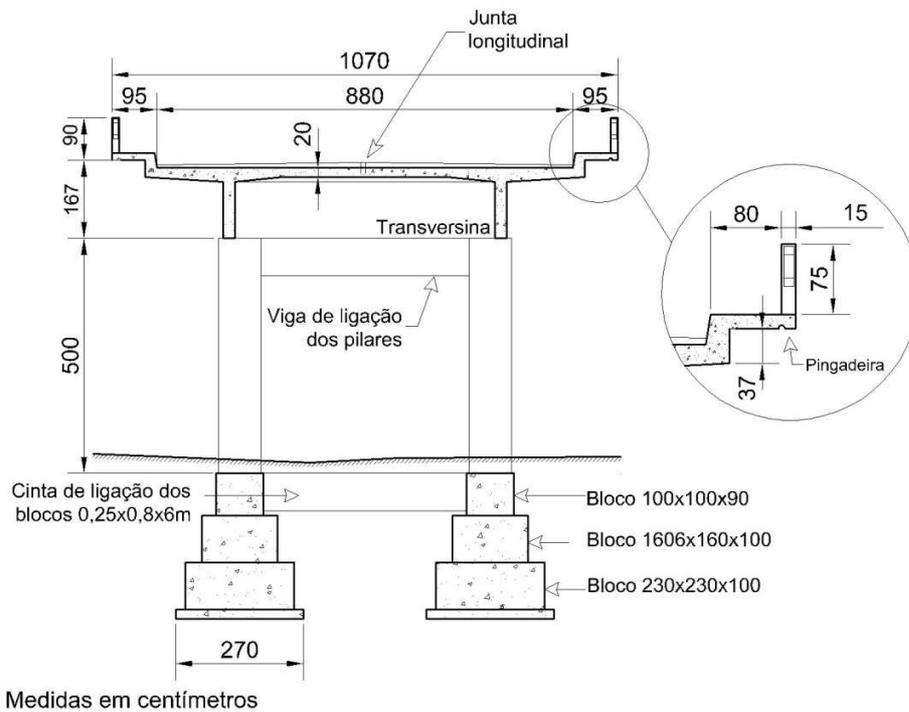
Tabela 4.8 – Características do projeto original do Viaduto de acesso a Bela Vista de Minas

MATERIAIS
Todos os elementos em concreto armado. Aparelhos de apoio em neoprene. Revestimento asfáltico da pista com 11 cm de espessura no eixo e 7 cm nas extremidades. Drenagem do pavimento através de tubos de dreno com diâmetro de 76,2 mm, instalados a cada 6,5m ao longo das extremidades da pista de rolamento. Geometria do tabuleiro contemplando pingadeira..
REGIÃO
Obra situada em vale de região ondulada (mares de morros).
DADOS GEOMÉTRICOS
Viaduto ortogonal às avenidas que transpõe. Viaduto com trecho tangente a rodovia e trecho em curva.

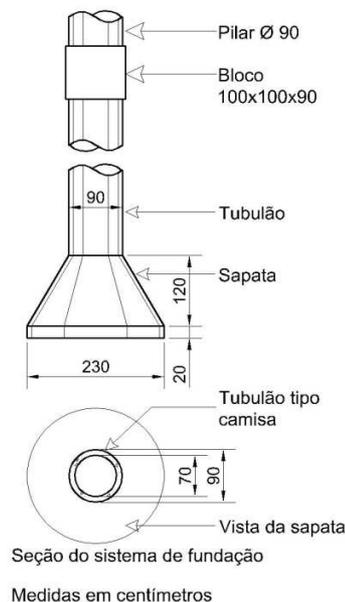
DADOS GEOMÉTRICOS	
Comprimento Total	130,0 m com 10 vãos e um balanço. 7 vãos centrais com 12,5 m. Extremo Belo Horizonte: vãos com 13,5 m + 12 m. Lado esquerdo: vão de 13,5 m e balanço de 3,5 m.
Largura total	10,7m com 2 pistas de 3,5 m
Acostamento	Não possui
Guarda-rodas	Seção transversal de 90 x 32 cm
Guarda-corpo	Em concreto vazado, com 75 cm de altura acima do guarda-rodas.
Laje	Espessura de 20 cm
Longarinas	Seção transversal de 25 x 150 cm
Transversinas	Seção transversal de 25 x 150 cm nos alinhamentos dos pilares e 15 x 120 cm no eixo dos vãos da laje do estrado.
Pilares	Seção circular com diâmetro de 90 cm.
Vigas de ligação entre os pilares	Seção 25 x 80 cm
Fundação	Profunda, com tubulões de seção circular vazada e sapatas. Ver figura 4.60.
Laje de Transição	Não possui
Balanço nas extremidades	Do lado Governador Valadares, com 3,5 m ao longo do greide da rodovia.
Encontros	Muro com 1,46 m de largura e 1,82 m de altura.
Cortina	Sim (integrante do muro).



(a) Vista lateral do viaduto e planta baixa do sistema de fundações.



(b) Corte A-A – Sistema de fundação diferenciado neste vão.



(c) Detalhe dos blocos da estrutura (exceto do vão do corte A-A).

Figura 4.63 – Detalhes do projeto original do viaduto de acesso a Bela Vista de Minas

4.2.3.2 - Vistoria realizada em março de 2005

A primeira vistoria registrada feita no viaduto de acesso a Bela Vista de Minas foi realizada para subsidiar os estudos do plano funcional para adequação da capacidade e modernização da rodovia BR-381, no subtrecho Belo Horizonte até Governador Valadares. A vistoria data de março de 2005 e tem como resultado final uma planilha com resumo das informações e a conclusão do vistoriador sobre a viabilidade do aproveitamento da estrutura com conseqüente alargamento para a obra anteriormente citada. As informações da planilha são descritas a seguir.

O sistema de drenagem foi considerado insuficiente, existindo drenos e canaletas externas parcialmente obstruídos. As juntas de dilatação entre a estrutura da viaduto e a rodovia estavam preenchidas com material asfáltico. O pavimento asfáltico possuía trincas e fissuras. Os guarda-corpos e passeios laterais apresentavam bom estado de conservação.

Os muros de ala, pilares e vigas travessas dos pilares estavam em bom estado de conservação. Os elementos do tabuleiro estavam em péssimo estado. Existiam danos nas longarinas, sendo que em

um vão, a armadura da longarina estava totalmente desligada da estrutura da viga. Parte significativa das transversinas possuíam armaduras expostas com buracos na estrutura de concreto. As lajes estavam em estado regular com leves infiltrações.

A estrutura não apresentava sinais visíveis de recalque. Os aparelhos de apoio estavam em bom estado. Não existia sinalização de aproximação e nem placas de identificação. O sistema de fundação do viaduto não foi vistoriado.

Concluiu-se que a situação do viaduto exigia imediata intervenção para seu reforço devido aos danos estruturais que poderiam resultar em acidentes. A figura 4.64 ilustra o documentário fotográfico resultante da inspeção.



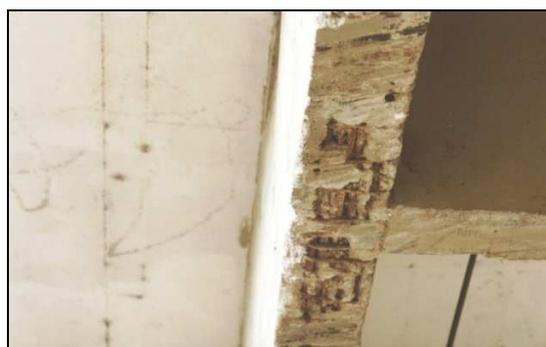
(a) - Vista inferior do tabuleiro com sinais de infiltração.



(b) – Vista lateral do viaduto.



(c) – Transversina com exposição e corrosão da armadura.



(d) – Longarina com exposição e corrosão da armadura.



(e) – Longarina com trecho em avançado processo corrosivo e com buracos na estrutura de concreto.



(f) – Ponto de escoamento das águas provenientes do tabuleiro.

Figura 4.64 – Relatório fotográfico da inspeção no viaduto de acesso a Bela Vista de Minas realizada em março de 2005

4.2.3.3 - Vistoria especial realizada em Janeiro de 2007

Devido a considerável perda na seção da longarina nos trechos do viaduto de transposição das ruas, foi realizada em janeiro de 2007 uma inspeção especial visual. A inspeção realizada resultou na elaboração de um relatório com o diagnóstico da estrutura e proposta para a solução dos problemas encontrados na ocasião.

Foi verificado que devido ao reduzido gabarito vertical sob o viaduto, os veículos de carga que transitavam pelas vias municipais, colidiam constantemente suas carrocerias contra a face inferior das vigas sobre estes trechos. Os constantes choques resultavam, na região do eixo do vão de transposição nas longarinas, em perda da seção do elemento de concreto e na ruptura das barras de aço relativas à camada mais inferior da armadura. As transversinas também apresentavam sinais dos impactos com algumas armaduras expostas.

A longarina mais afetada pelas colisões era a do vão mais próximo do extremo Belo Horizonte, do lado direito no sentido Governador Valadares – Belo Horizonte. Todas as barras da primeira camada de armadura desta longarina estavam rompidas na região do eixo longitudinal do vão. A perda de seção de concreto da longarina era aproximadamente de 30 a 40% . Os estribos também

estavam rompidos, numa extensão de 2 metros em torno do eixo do vão. Foi possível verificar também a vibração excessiva dos elementos desta região.

Analisou-se que devido ao rompimento das barras da primeira camada da armadura, os esforços solicitantes de tração da viga eram suportados apenas pelas barras da sua segunda camada, ainda intactas, mas descobertas. Ao absorver os esforços desta maneira, a viga apresentava um equilíbrio instável, suportando esforços aquém daqueles do cálculo do projeto. Assim sendo, era possível que ao receber cargas maiores, prováveis de ocorrerem, houvesse o rompimento destas armaduras e provável o colapso deste vão da estrutura. O colapso ainda poderia ser causado pelo rompimento das armaduras da segunda camada por outras possíveis colisões de veículos de carga. O colapso da estrutura deste vão poderia resultar em vítimas fatais, tanto de motoristas que fazem uso da rodovia ou das ruas que o viaduto transpõe como dos pedestres que se utilizam da praça criada sob a obra.

Além do risco iminente de acidentes, o precário funcionamento estrutural desses elementos conduziria a deformações e vibrações maiores que aquelas admissíveis de projeto, ocasionando fissuras que comprometem a vida útil da estrutura do tabuleiro.

Outra causa para os pontos de corrosão nos estribos e nas barras longitudinais das vigas do tabuleiro era a proximidade das barras longitudinais do fundo das vigas. Tal fator provavelmente impediu a passagem do agregado graúdo na ocasião da concretagem destes elementos do viaduto, na ocasião da sua construção, criando ninhos de concretagem e camada de cobrimento de baixa qualidade.

Devido ao recobrimento asfáltico do pavimento não foi possível verificar a situação da face superior da laje. No entanto, foram encontradas manchas na cor marrom escura na face inferior da laje, provenientes das águas que por ela percolam. Este fato levou à conclusão de que algum processo corrosivo existia nas suas armaduras da laje. Em vários pontos foi verificada a corrosão das armaduras dos painéis da laje, principalmente devido a insuficiência de cobrimento e acesso da água à matriz de concreto, advinda da superfície de rolamento.

Nas extremidades dos balanços, as armaduras da laje apresentavam sinais de corrosão devido à falhas no sistema de fixação dos guarda-corpos. Foi constatado que a corrosão das armaduras nestes locais da laje era oriunda da exposição dessas armaduras ao tempo, ocasionadas pela deficiente concretagem dos guarda-corpos na época da construção do viaduto. A concretagem dos guarda-corpos teria sido realizada após a concretagem do tabuleiro, ocorrendo buracos no concreto da laje na ocasião da sua fixação com conseqüente exposição da armaduras.

Foram verificados pontos de corrosão de estribos e de barras longitudinais nos pilares, atribuídos à possível utilização de formas de baixa qualidade (estanqueidade deficiente em determinados locais) e ao cobrimento insuficiente das armaduras. Avaliou-se que as colisões não afetaram a estabilidade dos pilares, não havendo necessidade do seu reforço.

Dos elementos da infraestrutura, foram inspecionados apenas os blocos, onde existiam alguns pontos de armadura exposta e corrosão. Tais patologias foram atribuídas ao cobrimento insuficiente e as prováveis falhas na construção resultando em ninhos de concretagem. Existia ainda perda da seção transversal destas barras de aço em processo corrosivo, principalmente nos estribos dos blocos.

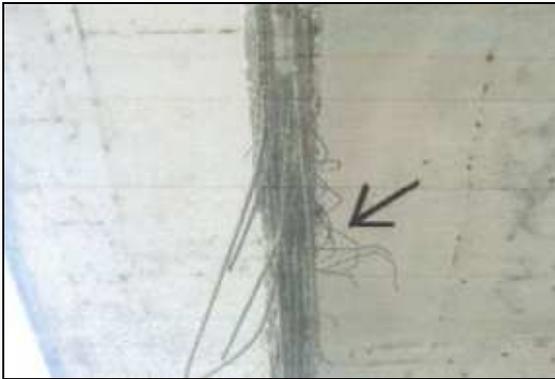
A figura 4.65 ilustra o registro fotográfico da inspeção especial realizada.



(a) – Vista lateral da longarina mais afetada.
Longarina à direita. Extremo Belo Horizonte.
(sentido Governador Valadares – Belo Horizonte)



(b) – Perda da seção de concreto.
Longarina direita. Extremo Belo Horizonte.
(sentido Governador Valadares – Belo Horizonte)



(c) – Perda dos estribos.
Longarina à direita. Extremo Belo Horizonte.
(sentido Governador Valadares – Belo Horizonte)



(d) – Ruptura das armaduras da primeira camada.
Longarina à direita. Extremo Belo Horizonte.
(sentido Governador Valadares – Belo Horizonte)



(e) – Exposição e corrosão das armaduras.
Longarina à direita. Extremo Belo Horizonte.
(sentido Governador Valadares – Belo Horizonte)



(f) – Visão inferior do tabuleiro no trecho da longarina.
Longarina à direita. Extremo Belo Horizonte.
(sentido Governador Valadares – Belo Horizonte)



(g) – Exposição e corrosão das armaduras.
Longarina à direita extremo Bela Vista de Minas.
(sentido Governador Valadares – Belo Horizonte).



(h) – Exposição e corrosão das armaduras.
Longarina e transversina à direit. Extremo Bela Vista de Minas.
(sentido Governador Valadares – Belo Horizonte).



(i) – Exposição e corrosão das armaduras.
Longarina e transversina à esquerda. Extremo Bela
Vista de Minas.
(sentido Governador Valadares – Belo Horizonte).



(j) – Exposição e corrosão das armaduras.
Longarina e transversina à esquerda. Extremo Bela
Vista de Minas.
(sentido Governador Valadares – Belo Horizonte).



(k) – Infiltração e sinais de corrosão na laje na sua
face inferior.



(l) – Infiltração e sinais de corrosão na laje na sua face
inferior.



(m) – Pilar com armaduras expostas e em processo de
corrosão.



(n) – Pilar com falhas de concretagem



(o) – Pilar com armadura exposta e em processo de corrosão.

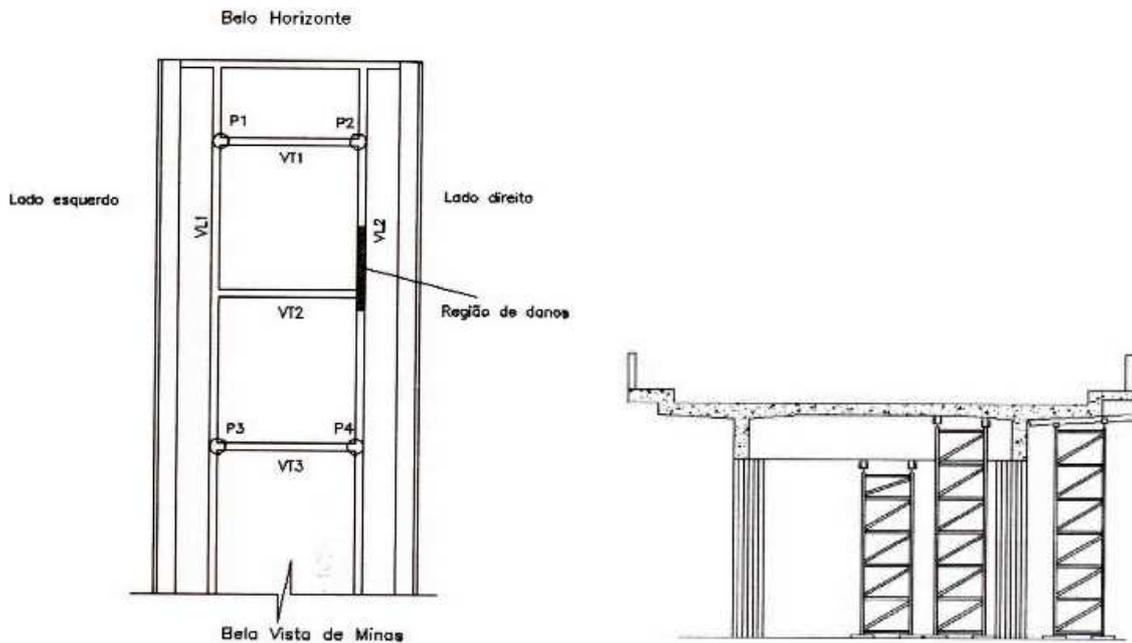


(p) – Corrosão de armaduras em bloco da fundação

Figura 4.65 – Relatório fotográfico da inspeção ao viaduto de acesso a Bela Vista de Minas realizada em janeiro de 2007

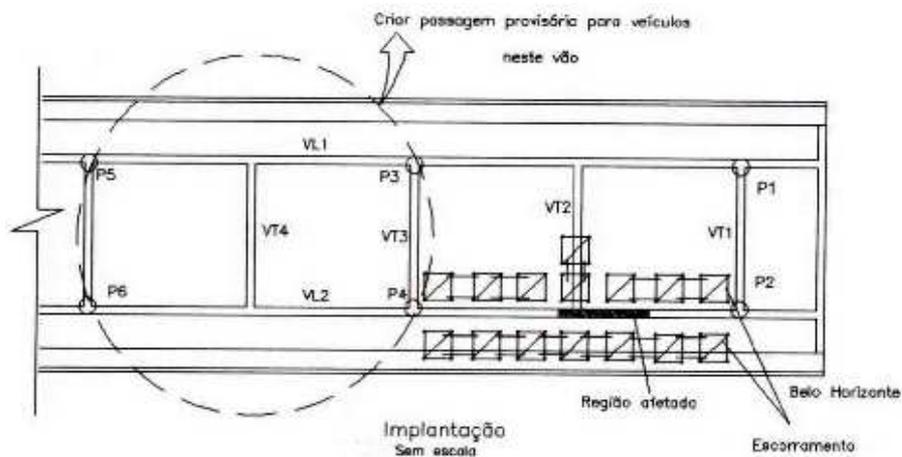
A conclusão do relatório preconizou a realização de intervenções para a paralisação do processo corrosivo das armaduras de alguns blocos, pilares, partes da laje e sobretudo nas vigas sem cobertura adequada. Para preservação da integridade das vigas após o trabalho de reforço, foi sugerido o rebaixamento do greide nas passagens viárias sob o viaduto.

Tendo em vista as evidências encontradas, em especial a condição da longarina à direita junto ao extremo Belo Horizonte (sentido Governador Valadares – Belo Horizonte), foram indicadas algumas ações imediatas em caráter emergencial. Deveria ser instalado um sistema de escoramento para alívio dos esforços da longarina em referência. Tal escoramento seria necessário até que a capacidade portante do elemento fosse restabelecida pelos serviços de reforço. Decorrentes do escoramento, deveria ser criada passagem alternativa para o tráfego que fazia uso desta pista e instaladas placas indicativas e defensas para proteção do sistema de escoramento. A figura 4.66 mostra detalhes do croquis para o escoramento provisório da longarina danificada.



(a) – Identificação da região de danos da longarina direita do extremo Belo Horizonte.
Sentido Governador Valadares – Belo Horizonte

(b) – Seção transversal no eixo do vão, mostrando o sistema de escoramento proposto



(c) – Planta baixa mostrando o sistema do escoramento proposto e a localização do vão a ser destinado para passagem provisória de veículos.

Figura 4.66 – Croquis com a proposta do sistema de escoramento provisório da longarina danificada

4.2.3.4 - Descrição do projeto e da execução das obras de reforço

O projeto de reabilitação do viaduto contemplou o reforço e a proteção da longarina à direita, no extremo Belo Horizonte, sentido Governador Valadares – Belo Horizonte. Ainda foi prevista a proteção da longarina à esquerda no extremo Governador Valadares, sentido Governador Valadares – Belo Horizonte e a recuperação das estruturas onde foram identificadas patologias na inspeção. O trem tipo original do viaduto não foi alterado. Não foi realizado escoramento do vão conforme proposto e para a proteção da estrutura do viaduto, a velocidade de tráfego e do tipo de veículos que dele se utilizavam foi restringida. Na documentação existente não existem registros dos detalhes destas ações tomadas.

O projeto de reforço foi elaborado em fevereiro de 2007; a obra, em caráter emergencial, foi executada no período de março a junho de 2007. O projeto de reforço será descrito a seguir, com cada intervenção realizada.

A) Reforço da longarina à direita, no extremo Belo Horizonte, sentido Governador Valadares – Belo Horizonte.

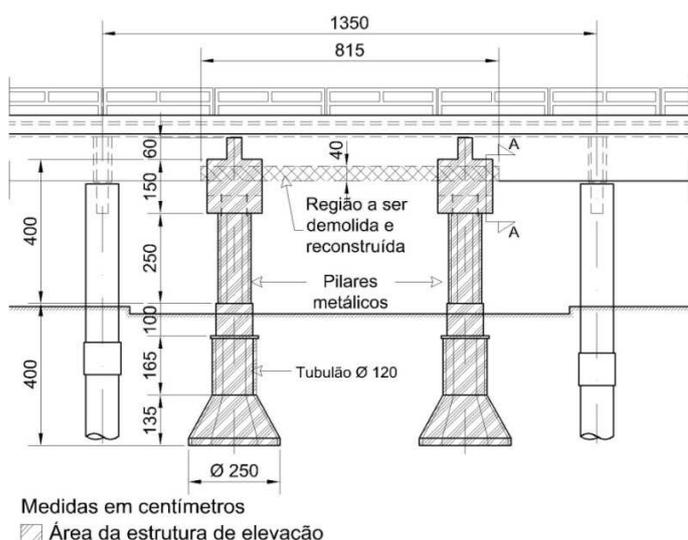
Para o reforço da longarina mais danificada pelas colisões de veículos de carga, o projeto previu o aumento da seção de base, com acréscimo de armadura e retificação daquelas existentes. Devido ao comprometimento da região afetada, foi preconizada a demolição do concreto desta área da longarina. Dada a natureza desta operação, foi necessária a elevação da estrutura deste vão para a realização dos serviços de reforço. O projeto previu a construção de uma estrutura adicional para servir de apoio ao sistema de elevação da estrutura existente. Essa estrutura adicional consistiu da construção de vigas de apoio para os macacos hidráulicos, apoiadas no topo de pilares metálicos com 120 cm de diâmetro sustentados por um sistema de fundação profunda. Cada macaco hidráulico tinha capacidade de 500 kN; foram instalados dois macacos em cada lado do viaduto para sua elevação. A ligação da estrutura de aço dos pilares e dos blocos de concreto foi realizada através de barras de aço com diâmetros de 16 e 25 mm e comprimento de 100 cm, desde o topo do tubulão até a base do pilar. A ligação entre o pilar metálico e a viga de concreto foi realizada com sistema de cabos de aço aparafusados, com

diâmetro de 25 mm, instalados entre a chapa existente no topo do pilar até a parte interna da viga do apoio aos macacos hidráulicos.

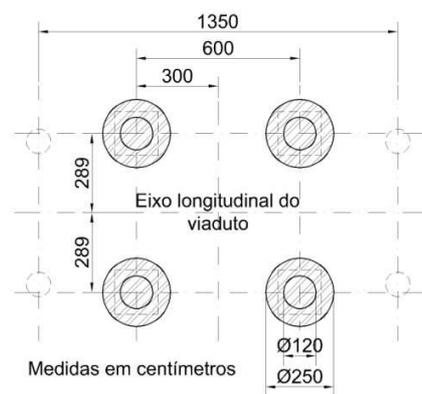
Após o reforço da viga, foram instaladas chapas de aço de alta resistência à corrosão, com espessura de 5 mm e medindo 1050 x 6000 mm. Para sua fixação foram previstos 81 furos, fixados a cada 15 cm ao longo de 12 metros de comprimento da longarina, em ambas as faces da viga. Para a região que não foi realizado o aumento da seção da longarina, o projeto previu a instalação de barras de aço com 8 mm de diâmetro em formato de “U” para fixação e apoio da chapa.

As barras existentes das camadas inferiores da viga que não foram rompidas foram retificadas e trespasadas com as barras da nova camada prevista. No local das barras rompidas foram instaladas novas barras de armadura, tendo sido especificado um trespasse de 210 cm. Os estribos existentes também foram retificados na região de aumento da seção. O concreto da nova seção da viga foi especificado como microconcreto, “grout”, com f_{ck} igual a 25 MPa.

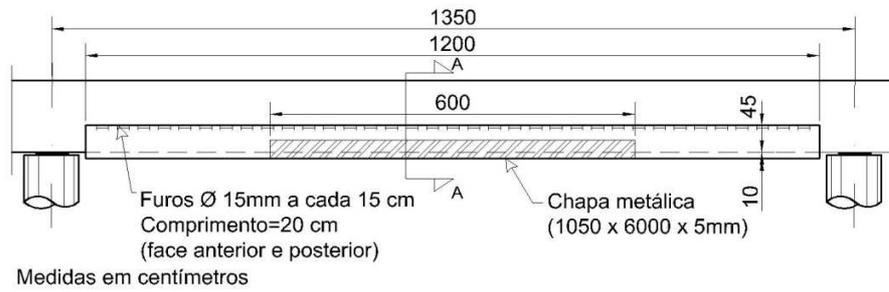
A figura 4.67 ilustra os detalhes de projeto de reforço da longarina e do sistema de elevação do vão; a figura 4.68 registra a execução destes serviços.



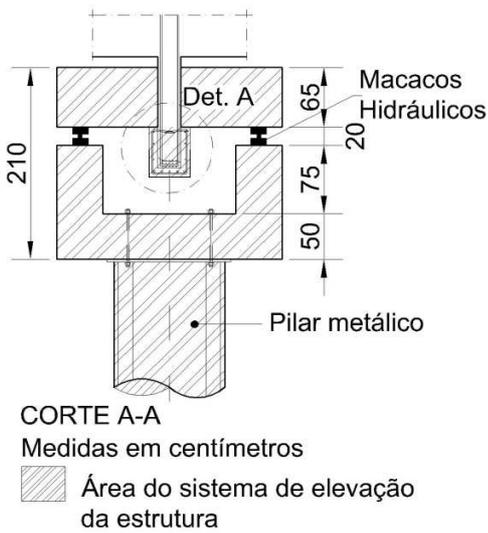
(a) Vista longitudinal do sistema para elevação do vão.



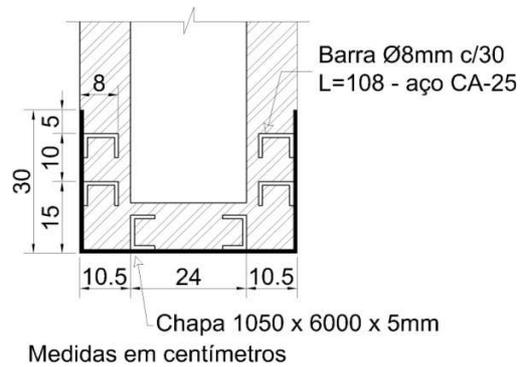
(b) Localização em planta dos pilares e tubulões dos sistema para elevação do vão.



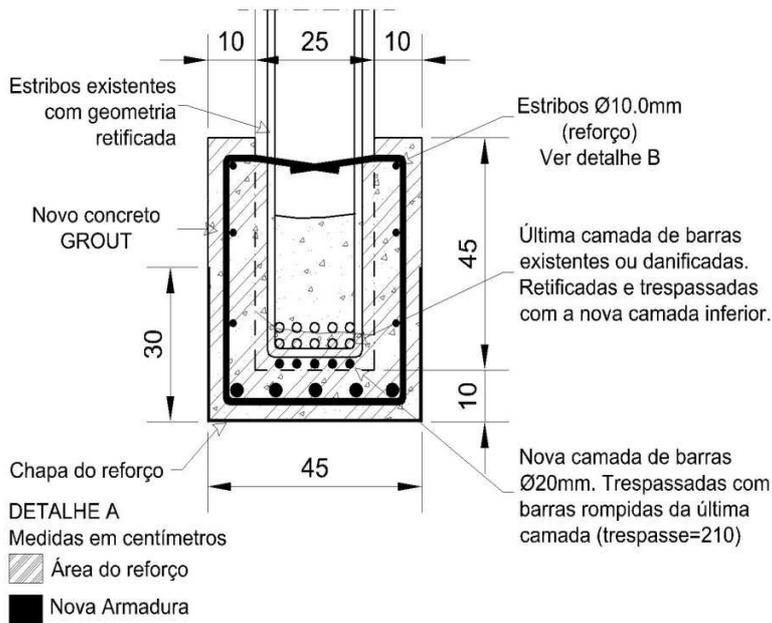
(c) Vista longitudinal da região da longarina reforçada. Área do aumento da sua seção e vista da chapa metálica de proteção.



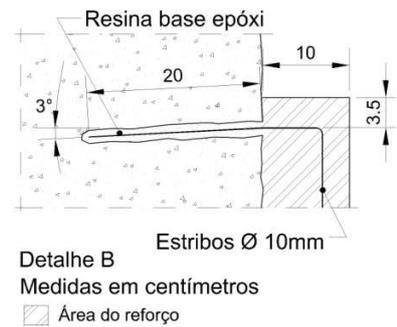
(d) Corte A-A.



(e) Detalhe B – Fixação dos novos estribos na viga existente



(f) Detalhe A – Aumento da seção da longarina



(g) Suporte da chapa metálica nas regiões sem aumento de seção da longarina.

Figura 4.67 – Detalhes do projeto para aumento da seção da longarina e do sistema de elevação do vão



(a) – Vista lateral do sistema de elevação do vão. Longarina à direita extremo Belo Horizonte. (sentido Governador Valadares – Belo Horizonte)



(b) – Vista do sistema de elevação do vão e da região com aumento de seção da longarina à direita no extremo Belo Horizonte. (sentido Governador Valadares – Belo Horizonte)



(c) – Vista do sistema de elevação do vão
(sentido Governador Valadares – Belo Horizonte)



(d) – Vista da armadura do aumento de seção da longarina.
(sentido Governador Valadares – Belo Horizonte)

Figura 4.68 – Relatório fotográfico das intervenções no vão do extremo Belo Horizonte. Sentido Governador Valadares – Belo Horizonte

B) Especificações gerais dos serviços de reforço

As especificações dos serviços gerais de reforço e os seus procedimentos executivos são idênticos aos utilizados para a ponte sobre o córrego Jaguaçu (item 4. 2.1.4). Por este motivo eles não serão novamente descritos neste item. Apenas como ilustração, a figura 4.69 mostra os bicos de injeção utilizados nos procedimentos de recuperação do viaduto.



Figura 4.69 – Detalhe dos bicos de injeção da resina epóxi

C) Rebaixamento do nível das pistas sob o viaduto

Para possibilitar a passagem de veículos sem colisões, as vias municipais sob o viaduto tiveram seu nível rebaixado e para tal, os acessos a estas vias precisaram das mesmas intervenções. A figura 4.70 mostra o registro fotográfico desta intervenção na ocasião da fase executiva.



Figura 4.70 – Rebaixamento de pista de acesso à via sob o viaduto.

4.2.3.5 – Vistoria realizada em abril de 2013

Foi feita a inspeção visual para aferir a eficácia do método de reforço utilizado em 23 de abril de 2013. Além da inspeção visual foi realizada também a inspeção cadastral da ponte, devido a ausência desta vistoria pelo DNIT. Foram preenchidos os devidos formulários pertencentes ao manual de inspeção de pontes rodoviárias do DNIT apresentados no anexo D deste trabalho.

A) Condições gerais da pista, sistema de sinalização, sistema de drenagem e dos guarda-corpos

O pavimento da pista estava em boas condições gerais. No encontro entre o viaduto e a rodovia, do lado Belo Horizonte, existiam diversas trincas no pavimento. Alguns drenos estavam obstruídos por material oriundo da pista. Este material estava inclusive depositado na região do encontro do guarda-rodas com o pavimento tendo em alguns trechos inclusive a presença de vegetação. Em diversos módulos do guarda-corpo havia exposição da armadura e desagregação

do concreto. Nos encontros entre as colunas dos guarda-corpos e a laje do viaduto havia ninhos de concretagem e pontos de deterioração do concreto. Não existiam juntas de dilatação no pavimento ao longo da pista do viaduto. A figura 4.71 ilustra a condição desses elementos.



(a) Vista geral do viaduto.
Lado Belo Horizonte



(b) Pista com trincas transversais no pavimento.
Lado Belo Horizonte



(c) Guarda-corpo com armação exposta .



(d) Encontro das colunas do guarda-corpo com a laje do tabuleiro. Sinais de desgaste da estrutura.



(e) Detalhe do encontro do guarda-corpo com a laje do tabuleiro.



(f) Exposição das armaduras e concreto deteriorado no guarda-corpo.

Figura 4.71 – Viaduto de acesso a Bela Vista de Minas - estado do pavimento e dos guarda-corpos.

B) Aparelhos de apoio

Não foi possível visualizar os aparelhos de apoio; porém, foi possível aferir o distanciamento adequado dos apoios, o qual indica a funcionalidade desses dispositivos.

C) Elementos da parte inferior do tabuleiro, pilares, encontros e fundações

Havia marcas de escorrimento de água proveniente da pista na parte inferior dos balanços da laje, alcançando as longarinas em ambos os lados do viaduto. Nos vãos próximos ao extremo Governador Valadares e nos vãos centrais, os elementos da parte inferior do tabuleiro apresentavam bom estado, sem trincas, fissuras ou armaduras expostas. Nestes vãos foram observadas diversas teias de aranha, criando um emaranhado denso na parte inferior da laje do tabuleiro. Apenas em um destes vãos foi verificada a presença de trecho de armadura exposta na face inferior da laje.

No entanto, nos vãos do viaduto próximos ao extremo Belo Horizonte havia marcas de infiltração na face inferior da laje, nas vigas e no encontro. Nestes locais foram encontradas também crostas esbranquiçadas na superfície indicando, provavelmente, a instalação de processo de lixiviação. Essas marcas estavam presentes, inclusive, em todas as suas faces da longarina reforçada. A superfície inferior das lajes relativas a sobreposição das vias municipais possuíam bastante fuligem, dando um aspecto mais escurecido ao concreto.

Os pilares estavam em bom estado de conservação, com armação exposta verificada apenas em um pilar, próximo a sua base. Não foi possível verificar o estado dos elementos da fundação do viaduto, tendo sido sua visualização impedida frente ao jardim criado para a praça central que encobria inclusive os blocos.

A figura 4.72 ilustra o registro fotográfico da inspeção especial realizada.



(a) Manchas provenientes do escoimento de água oriunda da pista alcançando a parte inferior da viga em balanço



(b) Escorrimento de água oriunda da pista alcançando a parte inferior do balanço e a longarina



(c) Elementos do tabuleiro do lado Governador Valadares em bom estado. Presença de ninhos de aranha, retenção de sujeira e eflorescências no antigo encontro das formas de concretagem originais da obra



(d) Elementos do tabuleiro na parte central do viaduto em bom estado. Manchas e sujeira aderida a superfície das tranversinas e pilares e na face inferior do balanço.



(e) Parte inferior da laje em vão próximo ao lado Belo Horizonte com eflorescências, inclusive nas vigas.



(f) Parte inferior da laje em vão próximo ao lado Belo Horizonte com eflorescências inclusive nas vigas e na estrutura do reforço da longarina.



(g) Parte inferior da laje em vão próximo ao lado Belo Horizonte com marcas de infiltração inclusive nas vigas



(h) Parte inferior da laje em vão próximo ao lado Belo Horizonte com marcas de infiltração.



(i) Infiltração e pontos de corrosão na face inferior da laje.



(j) Armadura exposta na face inferior da laje, em vão central do viaduto.



(k) Reforço das longarinas do lado Governador Valadares.



(l) Armadura exposta na base de pilar.

Figura 4.72 – Registro fotográfico do estado dos elementos inferiores do tabuleiro, pilares e encontros.

4.2.3.6 –Análise do estado atual do viaduto de acesso a Bela Vista de Minas

No pavimento sobre o viaduto foram verificadas trincas transversais localizadas sobre a região da interface entre o viaduto e a rodovia, sugerindo o tratamento incorreto da junta elastomérica. O sistema de drenagem encontra-se obstruído, por materiais oriundos da pista, inclusive com presença de vegetação em toda a lateral do viaduto.

O concreto dos guarda-corpos estava bastante deteriorado, com regiões de grande desagregação, sendo observadas armaduras expostas e corroídas em diversos módulos desses dispositivos. Como anteriormente detectado na inspeção realizada em 2005, a base dos guarda-corpos no encontro com a laje do tabuleiro estava bastante degradada, com concreto de ambas estruturas deteriorado. A existência de buracos nas extremidades da laje, no encontro com a base dos guarda-corpos, com o livre acesso da água proveniente do tabuleiro devido a deficiência do sistema de drenagem, resultam em condições agravantes dos processos de desagregação, corrosão das armaduras e perda da capacidade portante desses elementos da ponte.

A instalação da cantoneira na obra de reforço do viaduto não se mostrou eficaz. Em diversos pontos ao longo da ponte é possível observar manchas oriundas da percolação da água na face inferior das lajes do balanço e na face externa das longarinas.

De acordo com Milititsky et al, 2008, a fuligem proveniente de atmosferas urbanas e zonas industriais provoca manchas escuras e resultam em alterações físico-químicas, tais como a redução do pH com sua decorrente possibilidade de corrosão das armaduras dos elementos de concreto armado. Nas lajes sobre a passagem de veículos urbanos do viaduto existe o estabelecimento da fuligem associado às manchas características dos processos de lixiviação no concreto da laje do tabuleiro.

Os elementos mais afetados pela infiltração de água e fuligem são as lajes próximas do encontro lado Belo Horizonte. O produto lixiviado, em especial o hidróxido de cálcio componente do concreto, em contato com o CO₂ rico na atmosfera urbana parece ter provocado o surgimento dessas eflorescências com volumes expressivos em toda a área da laje. A dimensão dessas

“estalagmites” sugerem a maior porosidade do concreto da laje conforme preconizado por HELENE (2008).

Existiam manchas de sujeira, ninhos de aranhas e de outros insetos que impactavam negativamente na estética da obra. Coincidentemente ou não, é importante considerar que o viaduto teve como tratamento final de recuperação a pintura de todos os seus elementos com tinta acrílica.

As longarinas afetadas pelas colisões de veículos de carga mantêm sua integridade preservada. Não foram observadas fissuras ou trincas ou qualquer outra sintomatologia, indicativas de deficiência estrutural da viaduto. A vibração da ponte quando submetida a passagem de veículos era normal. O procedimento do reforço possui sua eficácia comprometida devido às patologias persistentes, onde o desenvolvimento dessas poderá afetar o reforço realizado na longarina, bem como diminuir a durabilidade de toda a estrutura do tabuleiro.

5

Conclusões

O projeto e a execução de obras de reforço em pontes rodoviárias de concreto armado devem contemplar todos os seus aspectos funcionais, para além do aumento da capacidade portante, analisando todos os sistemas intervenientes às mesmas, sob risco de prejuízo da sua eficácia. Faz-se necessária a correta identificação das contribuições de todos os sistemas componentes da estrutura, com vistas a garantir o comportamento almejado no projeto de reforço.

A deficiência de qualquer componente de uma ponte poderá levar outros elementos constituintes da estrutura a executar funções distintas dos seus fins de projeto, levando ao comprometimento global do sistema. Em função da sua interação com a estrutura, o elemento poderá inclusive deixar de ter seu desempenho adequado, o que poderá causar a falência múltipla dos demais componentes estruturais.

As obras de reforço poderão ter sua eficácia comprometida devido à carência da análise integral do sistema das pontes, subtraindo o tempo de vida útil dessas estruturas ou mesmo demandando intervenções mais robustas após pouco tempo de conclusão dos serviços de reforço. Os projetos de reforço deverão utilizar-se de estudos geotécnicos, hidrológicos, de tráfego e de

funcionalidade bem como da análise dos demais sistemas intervenientes tais como: sistema de juntas, aparelhos de apoio e sistema de drenagem.

O caráter emergencial, por vezes característico dessas obras de reforço, não deve se configurar em um fator atenuante da análise integral necessária para a correta escolha das soluções. Tal negligência poderá implicar no surgimento de custos posteriores, oriundos de ações deletérias não previstas no projeto, podendo prejudicar, além da própria solução do reforço, o comportamento global da estrutura.

O estudo atento aos sistemas de drenagem, pingadeiras, às interferências com o córrego quando o caso, ao tratamento de todas as patologias identificadas na obra, foram fatores ausentes nos procedimentos de reforço das pontes do presente estudo. Inevitavelmente, o não tratamento adequado de todos esses aspectos afetam a durabilidade da estrutura e dos próprios elementos de reforço.

De acordo com MEHTA, a água normalmente está presente em todo tipo de deterioração de elementos de concreto, sendo a facilidade da sua penetração nos sólidos determinística para a taxa de degradação do material. A partir desse conhecimento, há que se atentar para a garantia da eficiência do sistema de captação e drenagem de água de modo a resguardar a estanqueidade necessária aos elementos inferiores do tabuleiro das pontes. A tubulação de dreno das lajes em balanço do tabuleiro deverá se destacar da face da laje, orientando as águas, evitando seu escoamento pelos elementos inferiores.

Para as pontes sobre cursos d'água é importante o estudo de soluções técnicas que evitem a sujeição dos elementos da mesoestrutura e infraestrutura às variações de nível dos cursos d'água ou que garantam volumes ou cobrimentos adequados para garantir a vida útil prevista em projeto.

De acordo com o IPR (1995), as fundações deverão estar sempre bem abaixo do nível d'água, evitando o desgaste por erosão das mesmas. Nas extremidades do rio, onde estão os elementos de apoio da ponte, são os pontos onde a água atinge as maiores velocidades no curso d'água; portanto, os elementos ali instalados são mais suscetíveis ao processo erosivo. Algumas soluções

aventadas no manual do IPR, tais como estacas prancha, enrocamentos, gabiões e rip-rap são caracterizadas como substitutos “insatisfatórios” a localização submersa desses elementos. O manual ressalta ainda que mesmo que o terreno apresente resistências adequadas nas camadas superficiais, a base de uma fundação deverá ser assentada numa profundidade tal que o solo de apoio não seja influenciado por agentes atmosféricos, por fluxos d'água e por erosões, escorregamentos ou desmoronamentos de terrenos vizinhos. A única exceção são as fundações sobre rocha. O manual limita ainda a profundidade mínima para os elementos de fundação em 1,50 m abaixo do nível d'água.

Na construção de blocos de reforço acima daqueles existentes, principalmente nos casos onde existe distanciamento entre esses dois elementos, haverá diminuição da seção do fluxo d'água nessa interface ocasionando em aumento da velocidade do fluido. O fenômeno potencializa o processo erosivo deletério sobre essas estruturas. O reforço da infraestrutura através de aumento do volume dos blocos existentes poderá ocasionar menor impacto da perda de seção do córrego, com correto atendimento à profundidade mínima desses elementos preconizada nas normas técnicas.

A fiscalização dos serviços de reforço deverá estar presente em todas as fases, desde a elaboração do projeto executivo, passando pela execução dos serviços, no recebimento da obra e realizada constantemente nas vistorias rotineiras posteriores. Deverá ser garantida à obra executada o atendimento às prescrições do projeto, em especial: o preparo das superfícies, o correto posicionamento das armaduras com observância do cobrimento especificado, o correto adensamento do concreto e o tempo adequado de cura do concreto e de retirada das formas.

A manutenção inadequada emerge como mais um fator deletério à estrutura. Inspeções rotineiras às pontes, conforme preconizado pelo IPR (2010), para verificação de possíveis ocorrências de patologias poderão resultar em ações de reparos simples, com baixo custo e com grande impacto na durabilidade da estrutura. Pequenos reparos pontuais poderão evitar o desenvolvimento de diversas patologias, impedindo a sua propagação. Atualmente o DNIT carece de programas de manutenção em pontes com itens de pequenos reparos às mesmas. A manutenção das pontes constitui-se em serviços específicos de limpeza do tabuleiro e das vegetações no entorno, deixando de incluir intervenções de pequeno porte importantes para a devida conservação da

obra. Os programas de manutenção devem incluir ações preventivas e corretivas para a garantia do desempenho satisfatório da obra ao longo dos anos.

A correta manutenção das juntas elastoméricas é também importante para garantir a estanqueidade dos elementos inferiores da ponte. Faz-se necessário o correto acompanhamento de serviços de recapeamento dos pavimentos asfálticos, orientando sobre a correta execução na região das juntas. Ainda, são comuns as falhas de manutenção das juntas, com o acúmulo de detritos na superfície ou ausência da sua substituição quando danificadas pelo tráfego, prejudicando sua estanqueidade.

O fato dos elementos de concreto carecerem de manutenção periódica, implica na continuidade das intervenções mesmo depois do término da execução dessas estruturas (CÁNOVAS, 1988). Faz-se mister a elaboração de um plano de manutenção eficiente e fazer-se cumprir a periodicidade das inspeções previstas nos manuais e normas do IPR.

O uso eficiente dos recursos naturais aliado ao correto emprego das boas técnicas existentes, além de impactar na qualidade dos serviços executados e na vida útil da obra, assegura a responsável utilização de recursos, desonerando as futuras gerações.

5.1 – Sugestões para trabalhos futuros

Após o estudo dos resultados de alguns procedimentos de reforço em pontes rodoviárias de concreto, surgem necessariamente questionamentos sobre quais seriam as soluções técnicas para a produção de ferramentas de projeto e de execução com maiores detalhamentos com vistas a durabilidade e correta funcionalidade dessas estruturas. Abaixo seguem algumas sugestões com este fim.

- Estudos dos impactos sobre a durabilidade dos elementos da infraestrutura de pontes rodoviárias de concreto com a adoção de geometrias, cobrimentos diferenciados ou ainda, de concretos com características específicas.
- Criação de procedimentos de gestão de projetos capazes de avaliar a existência e o grau de interferência dos sistemas intervenientes com pontes a serem reforçadas.
- Estudo e aferição de intervenções mínimas nos sistemas constituintes das pontes, em qualquer obra de reforço, de modo a assegurar sua funcionalidade e vida útil.

Referências Bibliográficas

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 7187: Projeto de pontes de concreto armado e de concreto protendido - Procedimento**. Rio de Janeiro, 2003.

_____. **NBR 7188: Carga móvel em ponte rodoviária e passarela de pedestre**. Rio de Janeiro, 1984.

_____. **NBR 9542: Vistoria de pontes e viadutos de concreto**. Rio de Janeiro, 1986.

BERNNUCCI, L. B.; MOTTA, L.M.G.; CERATTI, J. A. P.; SOARES, J.B. **Pavimentação asfáltica: Formação básica para engenheiros**. Petrobrás: ABEDA. Rio de Janeiro, 2006.

BRASIL ESCOLA. **Localização do Brasil no mundo**. Disponível em <<http://brasilecola.com/brasil/a-localizacao-brasil-no-mundo.htm>>. Acesso em: 19/03/2013.

CÁNOVAS F. Manuel. **Patologia e terapia do concreto armado**. PINI, São Paulo, 1988.

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DE SÃO PAULO (DER/SP). **Projeto de recuperação, reforço e alargamento de obra de arte especial: Instrução de Serviço IP-DE-C00/011**. São Paulo, 2006.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA EM TRANSPORTES (DNIT). **Processo 50606.004382/2007-84 – Obras emergenciais na BR-381/MG**. Belo Horizonte, 2007.

_____. **Processo 50606.067271/2005-17 – Ponte sobre o Córrego do Leitão – BR-135/MG**, Belo Horizonte, 2007.

_____. **Processo 50606.011720/2005-72 – Ponte Sá Carvalho – BR-381/MG**, Belo Horizonte, 2007.

_____. **Planejamento do rodoviário.** Disponível em <<http://www.dnit.gov.br/Planejamento de transportes em 22/02/2013>>. Acesso em 22/03/2013.

_____. **Diretriz do Projeto de duplicação da BR-381. Subtrecho: Belo Horizonte a Governador Valadares.** Belo Horizonte, 2008.

_____. **Evolução da malha rodoviária federal.** Disponível em <<http://www.dnit.gov.br/plano-nacional-de-viacao/evolucao-da-malha-federal em 22/02/2013>>. Acesso em 22/03/2013.

FUNDAÇÃO BIORIO. **Cidades integrantes da BR-135.** Disponível em <<http://www.br135.com.br/cidades.php>>. Acesso em: 19/03/2013.

GOOGLE MAPS. **Localização da cidade de Curvelo.** Disponível em: <<https://maps.google.com.br/maps?q=curvelo&oe=utf-8&aq=t&rls=org>>. Acesso em 19/03/2013.

HELENE, Paulo; PEREIRA, Fernanda; HUSNI, Raul; CASTRO, Pedro & AGUADO, Antônio (Ed.). **Manual de Rehabilitación de Estructuras de Hormigón: Reparación, Refuerzo y Protección.** São Paulo: Red Rehabilitar, CYTED, 2003.

STUCCHI, Fernando Rebouças. **Apostila de pontes e grandes estruturas.** Departamento de Estruturas e Fundações, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

INSTITUTO DE PESQUISA RODOVIÁRIA (IPR). **Manual de construção de Obras-de-arte especiais.** Rio de Janeiro, 1995.

_____. **Manual de Recuperação de Pontes e Viadutos rodoviários.** Rio de Janeiro, 2010.

_____. **Manual de Inspeção de Pontes rodoviárias.** Rio de Janeiro, 2004.

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

_____. **NORMA DNIT 122/2009 – PRO – Pontes e viadutos rodoviários – Estruturas de concreto armado – Especificação de serviço.** Rio de Janeiro, 2009.

LOURENÇO, L. C., ALVES, V. R., JORDY, J. C., MENDES, L. C. e LOURENÇO, M. V., **Parâmetros de Avaliação de Patologias em Obras-de-Arte Especiais.** 2009. 10 f. Artigo (Pós-graduação) - Curso de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal Fluminense, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA. **Manual de fundações.** Ponta Grossa, Paraná, 2011.

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

MILITITKSY, Jarbas, CONSOLI, Nilo Cesar, SCHNAID, Fernando. **Patologia das Fundações.** São Paulo, Oficina de Textos, 2008.

MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES DE ONTARIO, 2013. **Manutenção das pontes da província de Ontário.** Disponível em <<http://www.mto.gov.on.ca/english/bridges/index.shtml#top>>. Acesso em 14/05/2013.

MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES. **Rodovia BR-381 ES/MG/SP.** Disponível em: <http://www2.transportes.gov.br/bit/02-rodo/3-loc-rodo/loc-rodo/381.htm>. Acesso em 19/03/2013.

MÜLLER, Ricardo. **Critérios para o planejamento e execução de recuperações estruturais em pontes e viadutos rodoviários no estado do Paraná.** 2004. 136 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós Graduação em Construção Civil, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

NETO, C. A., SOARES, R. P., POMPERMAYER, F. M., e ROMMINGER, A. E., **Gargalos e demandas da infra-estrutura rodoviária e os investimentos do PAC: mapeamento IPEA de obras rodoviárias.** IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, Brasília, 2011.

PORTAL MINAS GERAIS. **Regiões de Minas.** Disponível em: <<http://www.portalminasgerais.com.br/mg-regioes.htm>> Acesso em 19/03/2013.

SERAFIM, Maria Clara Silva. **Análise das políticas públicas para infra-estrutura de transporte no Brasil a Partir da década de 90.** Monografia (Bacharelado) - Curso de Ciências Econômicas, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

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

ANEXO A – FICHAS DE INSPEÇÃO DA PONTE SOBRE O CÓRREGO DO LEITÃO

FICHA DE INSPEÇÃO CADASTRAL EXPEDITA

1 DADOS BÁSICOS

IDENTIFICAÇÃO / LOCALIZAÇÃO / JURISDIÇÃO	Data: <u>23/04/2013</u>
OAE:Código: _____ Nome: <u>Ponte sobre o Córrego do Leitão</u>	
Tipo de Estrutura: Código <u>1</u> Nat. Transposição: Código <u>1</u> Sist. Construtivo: Código: <u>1</u>	
UNIT: <u>6ª</u> Residência: <u>Sete Lagoas</u> Rodovia: <u>BR-135</u> UF: <u>MG</u>	
Trecho (PNV): <u>135BMG0850</u> Localização (km): <u>659</u> Cidade Prox.: <u>Curvelo</u>	
ADMINISTRAÇÃO	
<input checked="" type="checkbox"/> DNIT <input type="checkbox"/> DER <input type="checkbox"/> CONCESSÃO <input type="checkbox"/> OUTROS	
Nome: _____ (para o caso concessão/ outros)	
PROJETO/ CONSTRUÇÃO	
Projetista: <u>Equipe DER/MG;</u> Ano da Construção: <u>1959</u>	
Construtor: <u>DER/MG;</u> Arquivo: <u>Pasta 42.</u> Trem-Tipo Classe: <u>45</u>	
COMPRIMENTO / LARGURA	
Comprimento: <u>40,00</u> m Largura: <u>8,00</u> m	

2 DADOS SOBRE CARACTERÍSTICAS FUNCIONAIS

CARACTERÍSTICAS PLANI-ALTIMÉTRICAS			
Região: <input checked="" type="checkbox"/> PLANA <input type="checkbox"/> ONDULADA <input type="checkbox"/> MONTANHOSA		Greide: Rampa Máxima(%): <u>0</u>	
Traçado: <input checked="" type="checkbox"/> TANGENTE <input type="checkbox"/> CURVO Raio: _____ m		Travessia: <input type="checkbox"/> ORTOGONAL <input checked="" type="checkbox"/> ESCONSA	
CARACTERÍSTICAS DA PISTA			
Larg. Total da Pista: <u>8,00</u> m		Pavimento: <input checked="" type="checkbox"/> Asfalto <input type="checkbox"/> Concreto	
Nº de Faixas: <u>02</u>		Passeio: <input type="checkbox"/> SIM <input checked="" type="checkbox"/> NÃO	
Acostamento: <input type="checkbox"/> SIM <input checked="" type="checkbox"/> NÃO		Guarda-Rodas: <input type="checkbox"/> P. Antigo <input checked="" type="checkbox"/> N.Jersey <input type="checkbox"/> Outro	
Larg. Acostamento: _____ m		Drenos: <input checked="" type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO	
		Pingadeiras: <input checked="" type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO	
GABARITOS			
Para Viaduto: Horizontal _____ m Vertical: _____ m			
Para Ponte s/ Rio Navegável: Horizontal: _____ m Vertical: _____ m			
Proteção dos Pilares Contra Choque de Embarcação? <input type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO			
JUNTAS DE DILATAÇÃO			
Número total de juntas: <u>02</u>			
Tipo de vedação: <input checked="" type="checkbox"/> Nenhuma; nos pilares/articulação <input type="checkbox"/> TIPO <input type="checkbox"/> TIPO			
TRÁFEGO			
VMD: _____ veículos/dia			
Frequência de Carga Móvel ≥ 36tf: <input checked="" type="checkbox"/> Alta <input type="checkbox"/> Média <input type="checkbox"/> Baixa			
Passagem de Cargas Excepcionais: <input checked="" type="checkbox"/> Freqüente <input type="checkbox"/> Esporádica			

FICHA DE INSPEÇÃO CADASTRAL EXPEDITA

3 CARACTERÍSTICA DA ESTRUTURA

MATERIAIS / SEÇÃO / TIPO			Data: <u>23/04/2013</u>	
COMPONENTE	MATERIAL (CÓDIGO) (VER TABELA 2)	SEÇÃO TIPO (CÓDIGO) (VER TABELA 3)	TIPOS DE APARELHOS DE APOIO	
LAJES	CA		Cód.	Descrição
VIGAS PRINCIPAIS	CA	3T	FR	Freyssinet
PILARES	CA	3CT	NP	Neoprene
FUNDAÇÕES	EMS e EM	BE	TF	Teflon
			CH	Placa de Chumbo
			RM	Rolo Metálico
			AM	Articulação Metálica
			PD	Pêndulo
			LP	Ligação Pórtico
			TE	Tipo Especial
			NI	Não Informado
Aparelhos de Apoio				
Apoio →	Pilares			
Tipo →	CH			
Obs.: para os tipos de aparelhos de apoio ver tabela acima				

PARTICULARIDADES

Número de Vãos: <u>03</u>	Altura da Viga no Apoio (m): <u>1,50</u>	Extrem. Inicial: <input checked="" type="checkbox"/> ENCONTRO <input type="checkbox"/> BALANÇO
Número de Juntas Gerber: <u>0</u>	Altura da Viga no Vão (m): <u>0,90</u>	Extrem. Final: <input checked="" type="checkbox"/> ENCONTRO <input type="checkbox"/> BALANÇO
Comprimento do Vão Maior (m): <u>15</u>	Altura Máxima de Pilar (m): <u>4,15</u>	Laje de Aprox.: <input type="checkbox"/> SIM <input checked="" type="checkbox"/> NÃO

Comentários: _____

4 OUTROS ASPECTOS

Desnível Max entre Greide e Terreno <u>4,644</u> m	As Fundações encontram-se em Solo Mole? <input type="checkbox"/> SIM <input checked="" type="checkbox"/> NÃO
Lâmina D'água: Normal: <u>4,00</u> m na Cheia*: _____ m	A vibração da Estrutura é Excessiva? <input type="checkbox"/> SIM <input checked="" type="checkbox"/> NÃO
O Meio Ambiente é Agressivo? <input type="checkbox"/> SIM <input checked="" type="checkbox"/> NÃO	O Regime do Rio é Torrencial? <input type="checkbox"/> SIM <input checked="" type="checkbox"/> NÃO
A Seção de Vazão é Adequada? <input checked="" type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO	O Leito do Rio é Erodível? <input type="checkbox"/> SIM <input checked="" type="checkbox"/> NÃO
Existe Drenagem no interior do caixão? <input type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO	Histórico da Manutenção: <input type="checkbox"/> Boa <input type="checkbox"/> Regular <input checked="" type="checkbox"/> Ruim

ROTAS ALTERNATIVAS: EXISTEM NÃO EXISTEM Acréscimo de Distância: 25 km

Descrição do Itinerário: (BR/135/MG) - BR-040/MG - MG-259 para Curvelo

INSPEÇÃO ROTINEIRA (PARÂMETROS)

Melhor época para Vistorias: de março a outubro (fora do período chuvoso e das férias, onde o tráfego fica muito intenso)

Periodicidade: Normal (2 anos) Reduzida (1 ano) Dilatada (4 anos) Especial (Consultor)

Especial (L>200m) Especial (Equipamento) Parcial

Acesso: Direto / Binóculo: Vãos 03 Equipamento Especial: Vãos _____

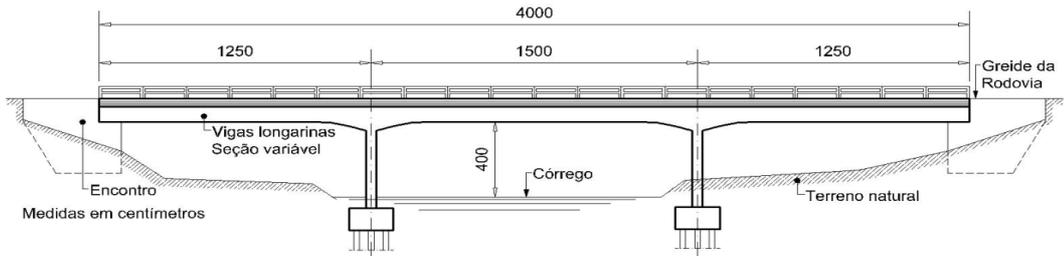
Interior de Viga Celular: Acessível Não Acessível

Comentários: * não foi realizada vistoria anterior na época das cheias para verificar este dado

FICHA DE INSPEÇÃO CADASTRAL EXPEDITA

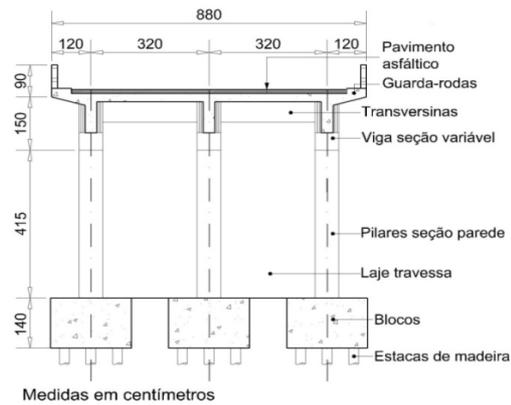
5 ESTRUTURA / ESQUEMAS

ESQUEMA LONGITUDINAL



medidas em metros

ESQUEMA TRANSVERSAL



DETALHES ADICIONAIS

OAE: Código: _____ Nome: Ponte sobre o Córrego do Leitão BR-135 / MG km: 659 UNIT: 6ª RES: Rio Casca
 Data: 23 / 04 / 2013 Inspeção: DNIT/Residência: _____ Outra Entidade: realizada para elaboração de dissertação de mestrado

COMENTÁRIOS GERAIS

a) Condições de Estabilidade: Boa Sofrível Precária Condições de Conservação: Boa Regular Sofrível Ruim
 b) Nível de Vibração do Tabuleiro: Normal Intenso Exagerado
 c) Inspeção Especializada (Realizada por Engenheiro de Estruturas). Necessária? SIM NÃO Urgente? SIM NÃO
 Já houve alguma anteriormente? SIM NÃO

NOTA TÉCNICA
3

OBSERVAÇÕES ADICIONAIS:

1. LAJE		Nota Técnica	Local	Quantidade (Opcional)
Buraco (abertura)	<input type="checkbox"/> Existe	<input type="checkbox"/> É Iminente	_____	_____
Armadura Exposta	<input type="checkbox"/> Muito Oxidada	<input type="checkbox"/> Grande Incidência	_____	_____
Concreto Desagregado	<input type="checkbox"/> Muita Intensidade	<input type="checkbox"/> Grande Incidência	_____	_____
Fissuras	<input type="checkbox"/> Forte Infiltração	<input type="checkbox"/> Grande Incidência	_____	_____
Marcas de Infiltração	<input checked="" type="checkbox"/> Forte	<input type="checkbox"/> Grande Incidência	_____	_____
Aspecto do Concreto	<input type="checkbox"/> Má Qualidade		_____	_____
Cobrimento	<input type="checkbox"/> Ausente / Pouco		_____	_____

2. VIGAMENTO PRINCIPAL		Nota Técnica	Local	Quantidade (Opcional)
Fissuras Finas	<input type="checkbox"/> Algumas	<input type="checkbox"/> Grande Incidência	_____	_____
Trincas (fissuras w>0,3mm)	<input type="checkbox"/> Algumas	<input type="checkbox"/> Grande Incidência	_____	_____
Armadura Principal	<input type="checkbox"/> Exposta	<input type="checkbox"/> Muito Oxidada	_____	_____
Desagreg. De Concreto	<input type="checkbox"/> Muito Intenso	<input type="checkbox"/> Grande Incidência	_____	_____
Dente Gerber	<input type="checkbox"/> Quebrado/ Desplacado	<input type="checkbox"/> Trincado	_____	_____
Deformação (Flecha)	<input type="checkbox"/> Exagerada		_____	_____
Aspectos do Concreto	<input type="checkbox"/> Má Qualidade		_____	_____
Cobrimento	<input type="checkbox"/> Ausente / Pouco		_____	_____

FICHA DE INSPEÇÃO ROTINEIRA EXPEDITA

3. MESOESTRUTURA		Nota Técnica: 3	Local	Quantidade (Opcional)
Armadura Exposta	<input type="checkbox"/> Muito Oxidada	<input type="checkbox"/> Grande Incidência	_____	_____
Concreto Desagregado	<input type="checkbox"/> Muita Intensidade	<input type="checkbox"/> Grande Incidência	_____	_____
Fissuras	<input checked="" type="checkbox"/> Forte Infiltração	<input type="checkbox"/> Grande Incidência	<u>Encontro lado Belo Horizonte</u>	<u>1</u>
Aparelho de Apoio	<input type="checkbox"/> Danificado	<input type="checkbox"/> Grande Incidência	_____	_____
Aspecto do Concreto	<input type="checkbox"/> Má Qualidade		_____	_____
Cobrimento	<input type="checkbox"/> Ausente/ Pouco		_____	_____
Desaprumo	<input type="checkbox"/> Há		_____	_____
Deslocabilidade dos Pilares	<input type="checkbox"/> Forte		_____	_____

4. INFRAESTRUTURA <i>*apenas do reforço</i>		Nota Técnica: 3	Local	Quantidade (Opcional)
Recalque de Fundação	<input type="checkbox"/> Há		_____	_____
Deslocamento de Fundação	<input type="checkbox"/> Há		_____	_____
Erosão Terreno de Fundação	<input type="checkbox"/> Há		_____	_____
Estacas Desenterradas	<input checked="" type="checkbox"/> Há		<u>Nas estacas oriundas do reforço</u>	_____

5. PISTA / ACESSO		Nota Técnica: 4	Local	Quantidade (Opcional)
Irregularidades no Pav.	<input type="checkbox"/> Muita Intensidade	<input type="checkbox"/> Grande Extensao	_____	_____
Junta de Dilatação	<input checked="" type="checkbox"/> Faltando / Inoperante	<input type="checkbox"/> Muito Problemática	_____	_____
Acessos x Ponte	<input type="checkbox"/> Degrau Acentuado	<input type="checkbox"/> Concordância Problem.	_____	_____
Acidentes com Veículos	<input type="checkbox"/> Freqüente	<input type="checkbox"/> Eventual	_____	_____

ESQUEMAS

FICHA DE INSPEÇÃO CADASTRAL EXPEDITA

3 CARACTERÍSTICA DA ESTRUTURA

MATERIAIS / SEÇÃO / TIPO			Data: <u>23/04/2013</u>	
COMPONENTE	MATERIAL (CÓDIGO) (VER TABELA 2)	SEÇÃO TIPO (CÓDIGO) (VER TABELA 3)	TIPOS DE APARELHOS DE APOIO	
LAJES	CA		Cód.	Descrição
VIGAS PRINCIPAIS	CA	2T	FR	Freyssinet
PILARES	CA	3CC	NP	Neoprene
FUNDAÇÕES	EMS e EM	BE	TF	Teflon
			CH	Placa de Chumbo
			RM	Rolo Metálico
			AM	Articulação Metálica
			PD	Pêndulo
			LP	Ligação Pórtico
			TE	Tipo Especial
			NI	Não Informado
Aparelhos de Apoio				
Apoio → Pilares				
Tipo → CH				
Obs.: para os tipos de aparelhos de apoio ver tabela acima				
PARTICULARIDADES				
Número de Vãos: <u>03</u>		Altura da Viga no Apoio (m): <u>1,60</u>		Extrem. Inicial: <input checked="" type="checkbox"/> ENCONTRO <input type="checkbox"/> BALANÇO
Número de Juntas Gerber: <u>0</u>		Altura da Viga no Vão (m): <u>0,80</u>		Extrem. Final: <input checked="" type="checkbox"/> ENCONTRO <input type="checkbox"/> BALANÇO
Comprimento do Vão Maior (m): <u>12</u>		Altura Máxima de Pilar (m): <u>3,25</u>		Laje de Aprox.: <input type="checkbox"/> SIM <input checked="" type="checkbox"/> NÃO
Comentários: _____				

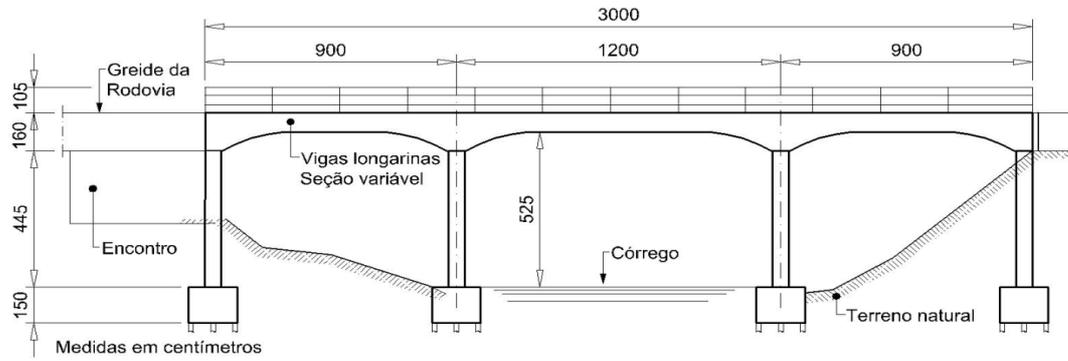
4 OUTROS ASPECTOS

Desnível Max entre Greide e Terreno <u>4,644</u> m	As Fundações encontram-se em Solo Mole? <input type="checkbox"/> SIM <input checked="" type="checkbox"/> NÃO
Lâmina D'água: Normal: <u>5,25</u> m na Cheia*: _____ m	A vibração da Estrutura é Excessiva? <input type="checkbox"/> SIM <input checked="" type="checkbox"/> NÃO
O Meio Ambiente é Agressivo? <input type="checkbox"/> SIM <input checked="" type="checkbox"/> NÃO	O Regime do Rio é Torrencial? <input type="checkbox"/> SIM <input checked="" type="checkbox"/> NÃO
A Seção de Vazão é Adequada? <input checked="" type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO	O Leito do Rio é Erodível? <input type="checkbox"/> SIM <input checked="" type="checkbox"/> NÃO
Existe Drenagem no interior do caixão? <input type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO	Histórico da Manutenção: <input type="checkbox"/> Boa <input type="checkbox"/> Regular <input checked="" type="checkbox"/> Ruim
ROTAS ALTERNATIVAS: <input checked="" type="checkbox"/> EXISTEM <input type="checkbox"/> NÃO EXISTEM Acréscimo de Distância: 76 km	
Descrição do Itinerário: <u>(BR/381/MG) João Monlevade - BR-262/MG - MG-320 (Parque Estadual do Rio Doce (Estrada sem sem pavimentação) - Timóteo - Coronel Fabriciano (BR-381/MG), _____</u>	
INSPEÇÃO ROTINEIRA (PARÂMETROS)	
Melhor época para Vistorias: <u>de março a outubro (fora do período chuvoso e das férias, onde o tráfego fica muito intenso)</u>	
Períodicidade: <input checked="" type="checkbox"/> Normal (2 anos) <input type="checkbox"/> Reduzida (1 ano) <input type="checkbox"/> Dilatada (4 anos) <input type="checkbox"/> Especial (Consultor)	
<input type="checkbox"/> Especial (L>200m) <input type="checkbox"/> Especial (Equipamento) <input type="checkbox"/> Parcial	
Acesso: <input checked="" type="checkbox"/> Direto / Binóculo: Vãos <u>03</u> <input type="checkbox"/> Equipamento Especial: Vãos _____	
Interior de Viga Celular: <input type="checkbox"/> Acessível <input type="checkbox"/> Não Acessível	
Comentários: * <u>não foi realizada vistoria anterior na época das cheias para verificar este dado</u>	

FICHA DE INSPEÇÃO CADASTRAL EXPEDITA

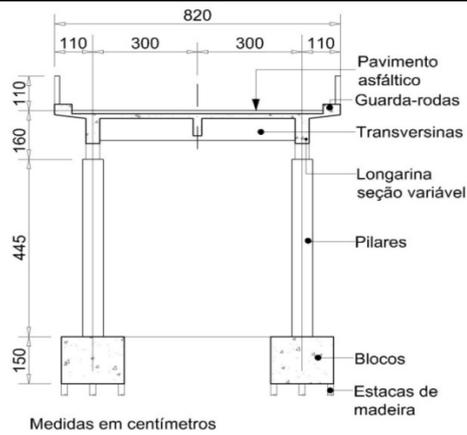
5 ESTRUTURA / ESQUEMAS

ESQUEMA LONGITUDINAL



medidas em metros

ESQUEMA TRANSVERSAL



DETALHES ADICIONAIS

OAE: Código: _____ Nome: Ponte sobre o Ribeirão Jaguaracú BR-381 / MG km: 271,5 UNIT: 6ª RES: Rio Casca
 Data: 23 / 04 / 2013 Inspeção: DNIT/Residência: _____ Outra Entidade: realizada para elaboração de dissertação de mestrado

COMENTÁRIOS GERAIS

a) Condições de Estabilidade: Boa Sofrível Precária Condições de Conservação: Boa Regular Sofrível Ruim
 b) Nível de Vibração do Tabuleiro: Normal Intenso Exagerado
 c) Inspeção Especializada (Realizada por Engenheiro de Estruturas). Necessária? SIM NÃO Urgente? SIM NÃO
 Já houve alguma anteriormente? SIM NÃO
 OBSERVAÇÕES ADICIONAIS:

NOTA TÉCNICA
2

1. LAJE	Nota Técnica	Local	Quantidade (Opcional)
Buraco (abertura) <input type="checkbox"/> Existe	3		
Armadura Exposta <input type="checkbox"/> Muito Oxidada	<input checked="" type="checkbox"/> Grande Incidência		<u>Nos encontros com os guarda-corpos</u>
Concreto Desagregado <input type="checkbox"/> Muita Intensidade	<input checked="" type="checkbox"/> Grande Incidência		<u>Nos encontros com os guarda-corpos</u>
Fissuras <input type="checkbox"/> Forte Infiltração	<input type="checkbox"/> Grande Incidência		
Marcas de Infiltração <input checked="" type="checkbox"/> Forte	<input type="checkbox"/> Grande Incidência		<u>Em toda a superfície inferior da laje</u>
Aspecto do Concreto <input type="checkbox"/> Má Qualidade			
Cobrimento <input checked="" type="checkbox"/> Ausente / Pouco			<u>Em toda a laje</u>

2. VIGAMENTO PRINCIPAL	Nota Técnica	Local	Quantidade (Opcional)
Fissuras Finas <input type="checkbox"/> Algumas	3		
Trincas (fissuras w>0,3mm) <input type="checkbox"/> Algumas	<input type="checkbox"/> Grande Incidência		
Armadura Principal <input type="checkbox"/> Exposta	<input type="checkbox"/> Grande Incidência		
Desagreg. De Concreto <input type="checkbox"/> Muito Intenso	<input type="checkbox"/> Muito Oxidada		
Dente Gerber <input type="checkbox"/> Quebrado/ Desplacado	<input type="checkbox"/> Grande Incidência		
Deformação (Flecha) <input type="checkbox"/> Exagerada	<input type="checkbox"/> Trincado		
Aspectos do Concreto <input type="checkbox"/> Má Qualidade			
Cobrimento <input type="checkbox"/> Ausente / Pouco			

FICHA DE INSPEÇÃO ROTINEIRA EXPEDITA

3. MESOESTRUTURA		Nota Técnica: 2	Local	Quantidade (Opcional)
Armadura Exposta	<input type="checkbox"/> Muito Oxidada	<input type="checkbox"/> Grande Incidência	_____	_____
Concreto Desagregado	<input type="checkbox"/> Muita Intensidade	<input type="checkbox"/> Grande Incidência	_____	_____
Fissuras	<input type="checkbox"/> Forte Infiltração	<input type="checkbox"/> Grande Incidência	_____	_____
Aparelho de Apoio	<input checked="" type="checkbox"/> Danificado	<input type="checkbox"/> Grande Incidência	<u>Em todos os apoios</u>	_____
Aspecto do Concreto	<input type="checkbox"/> Má Qualidade		_____	_____
Cobrimento	<input type="checkbox"/> Ausente/ Pouco		_____	_____
Desaprumo	<input type="checkbox"/> Há		_____	_____
Deslocabilidade dos Pilares	<input checked="" type="checkbox"/> Forte		<u>No extremo Governador Valadares</u>	_____

4. INFRAESTRUTURA <i>*apenas do reforço</i>		Nota Técnica: 3	Local	Quantidade (Opcional)
Recalque de Fundação	<input type="checkbox"/> Há		_____	_____
Deslocamento de Fundação	<input type="checkbox"/> Há		_____	_____
Erosão Terreno de Fundação	<input type="checkbox"/> Há		_____	_____
Estacas Desenterradas	<input checked="" type="checkbox"/> Há		<u>Nas estacas oriundas do reforço</u>	_____

5. PISTA / ACESSO		Nota Técnica: 2	Local	Quantidade (Opcional)
Irregularidades no Pav.	<input checked="" type="checkbox"/> Muita Intensidade	<input type="checkbox"/> Grande Extensao	_____	_____
Junta de Dilatação	<input checked="" type="checkbox"/> Faltando / Inoperante	<input type="checkbox"/> Muito Problemática	_____	_____
Acessos x Ponte	<input type="checkbox"/> Degrau Acentuado	<input type="checkbox"/> Concordância Problem.	_____	_____
Acidentes com Veículos	<input checked="" type="checkbox"/> Freqüente	<input type="checkbox"/> Eventual	_____	_____

ESQUEMAS

ANEXO C – FICHAS DE INSPEÇÃO DA PONTE SOBRE O RIO PIRACICABA

FICHA DE INSPEÇÃO CADASTRAL EXPEDITA

1 DADOS BÁSICOS

IDENTIFICAÇÃO / LOCALIZAÇÃO / JURISDIÇÃO	Data: <u>23/04/2013</u>
OAE:Código: _____ Nome: <u>Ponte sobre o Rio Piracicaba</u>	
Tipo de Estrutura: Códigos <u>1, 2 e 13</u> Nat. Transposição: Código <u>1</u> Sist. Construtivo: Código: <u>1</u>	
UNIT: <u>6ª</u> Residência: <u>Rio Casca</u> Rodovia: <u>BR- 381</u> UF: <u>MG</u>	
Trecho (PNV): <u>381BMG230</u> Localização (km): <u>276</u> Cidade Prox.: <u>Jaguaracú</u>	
ADMINISTRAÇÃO	
<input checked="" type="checkbox"/> DNIT <input type="checkbox"/> DER <input type="checkbox"/> CONCESSÃO <input type="checkbox"/> OUTROS	
Nome: _____ (para o caso concessão/ outros)	
PROJETO/ CONSTRUÇÃO	
Projetista: <u>Equipe DNER</u> Ano da Construção: <u>1971</u>	
Construtor: <u>DNER/MG;</u> Arquivo: <u>DNIT Rio de Janeiro;</u> Trem-Tipo Classe: <u>45</u>	
COMPRIMENTO / LARGURA	
Comprimento: <u>170,00</u> m Largura: <u>10,00</u> m	

2 DADOS SOBRE CARACTERÍSTICAS FUNCIONAIS

CARACTERÍSTICAS PLANI-ALTIMÉTRICAS		
Região: <input type="checkbox"/> PLANA <input checked="" type="checkbox"/> ONDULADA <input type="checkbox"/> MONTANHOSA Greide: Rampa Máxima(%): <u>0</u>		
Traçado: <input checked="" type="checkbox"/> TANGENTE <input type="checkbox"/> CURVO Raio: _____ m Travessia: <input type="checkbox"/> ORTOGONAL <input checked="" type="checkbox"/> ESCONSA		
CARACTERÍSTICAS DA PISTA		
Larg. Total da Pista: <u>10,00</u> m	Pavimento: <input checked="" type="checkbox"/> Asfalto <input type="checkbox"/> Concreto	Drenos: <input checked="" type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO
Nº de Faixas: <u>02</u>	Passeio: <input type="checkbox"/> SIM <input checked="" type="checkbox"/> NÃO	Pingadeiras: <input checked="" type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO
Acostamento: <input type="checkbox"/> SIM <input checked="" type="checkbox"/> NÃO	Guarda-Rodas: <input type="checkbox"/> P. Antigo <input checked="" type="checkbox"/> N.Jersey <input type="checkbox"/> Outro	
Larg. Acostamento: _____ m		
GABARITOS		
Para Viaduto: Horizontal _____ m Vertical: _____ m		
Para Ponte s/ Rio Navegável: Horizontal: _____ m Vertical: _____ m		
Proteção dos Pilares Contra Choque de Embarcação? <input type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO		
JUNTAS DE DILATAÇÃO		
Número total de juntas: <u>02</u>		
Tipo de vedação: <input type="checkbox"/> Nenhuma; nos pilares/articulação <input checked="" type="checkbox"/> TIPO "Jeene" <input type="checkbox"/> TIPO		
TRÁFEGO		
VMD: _____ veículos/dia		
Frequência de Carga Móvel ≥ 36tf: <input checked="" type="checkbox"/> Alta <input type="checkbox"/> Média <input type="checkbox"/> Baixa		
Passagem de Cargas Excepcionais: <input checked="" type="checkbox"/> Frequente <input type="checkbox"/> Esporádica		

FICHA DE INSPEÇÃO CADASTRAL EXPEDITA

3 CARACTERÍSTICA DA ESTRUTURA

MATERIAIS / SEÇÃO / TIPO			Data: <u>23/04/2013</u>	
COMPONENTE	MATERIAL (CÓDIGO) (VER TABELA 2)	SEÇÃO TIPO (CÓDIGO) (VER TABELA 3)	TIPOS DE APARELHOS DE APOIO	
			Cód.	Descrição
LAJES	CA		FR	Freyssinet
VIGAS PRINCIPAIS	CA + CP	VC	NP	Neoprene
PILARES	CA	3CI	TF	Teflon
FUNDAÇÕES	EMS e EM	BE + BT	CH	Placa de Chumbo
			RM	Rolo Metálico
			AM	Articulação Metálica
			PD	Pêndulo
			LP	Ligação Pórtico
			TE	Tipo Especial
			NI	Não Informado

Aparelhos de Apoio

Apoio → Pilares

Tipo → NP

Obs.: para os tipos de aparelhos de apoio ver tabela acima

PARTICULARIDADES		
Número de Vãos: <u>07</u>	Altura da Viga no Apoio (m): <u>2,00</u>	Extrem. Inicial: <input type="checkbox"/> ENCONTRO <input checked="" type="checkbox"/> BALANÇO
Número de Juntas Gerber: <u>0</u>	Altura da Viga no Vão (m): <u>2,00</u>	Extrem. Final: <input checked="" type="checkbox"/> ENCONTRO <input type="checkbox"/> BALANÇO
Comprimento do Vão Maior (m): <u>35</u>	Altura Máxima de Pilar (m): <u>24,50</u>	Laje de Aprox.: <input type="checkbox"/> SIM <input checked="" type="checkbox"/> NÃO

Comentários: _____

4 OUTROS ASPECTOS

Desnível Max entre Greide e Terreno <u>26,00</u> m	As Fundações encontram-se em Solo Mole? <input type="checkbox"/> SIM <input checked="" type="checkbox"/> NÃO
Lâmina D'água: muito variável Normal*: na Cheia*: _____ m	A vibração da Estrutura é Excessiva? <input type="checkbox"/> SIM <input checked="" type="checkbox"/> NÃO
O Meio Ambiente é Agressivo? <input type="checkbox"/> SIM <input checked="" type="checkbox"/> NÃO	O Regime do Rio é Torrencial? <input type="checkbox"/> SIM <input checked="" type="checkbox"/> NÃO
A Seção de Vazão é Adequada? <input checked="" type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO	O Leito do Rio é Erodível? <input type="checkbox"/> SIM <input checked="" type="checkbox"/> NÃO
Existe Drenagem no interior do caixão? <input checked="" type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO	Histórico da Manutenção: <input type="checkbox"/> Boa <input checked="" type="checkbox"/> Regular <input type="checkbox"/> Ruim

ROTAS ALTERNATIVAS: EXISTEM NÃO EXISTEM Acréscimo de Distância: 76 km

Descrição do Itinerário: (BR/381/MG) João Monlevade - BR-262/MG - MG-320 (Parque Estadual do Rio Doce (Estrada sem sem pavimentação) - Timóteo - Coronel Fabriciano (BR-381/MG).

INSPEÇÃO ROTINEIRA (PARÂMETROS)

Melhor época para Vistorias: de março a outubro (fora do período chuvoso e das férias, onde o tráfego fica muito intenso)

Periodicidade: Normal (2 anos) Reduzida (1 ano) Dilatada (4 anos) Especial (Consultor)

Especial (L>200m) Especial (Equipamento) Parcial

Acesso: Direto / Binóculo: Vãos 03 Equipamento Especial: Vãos _____

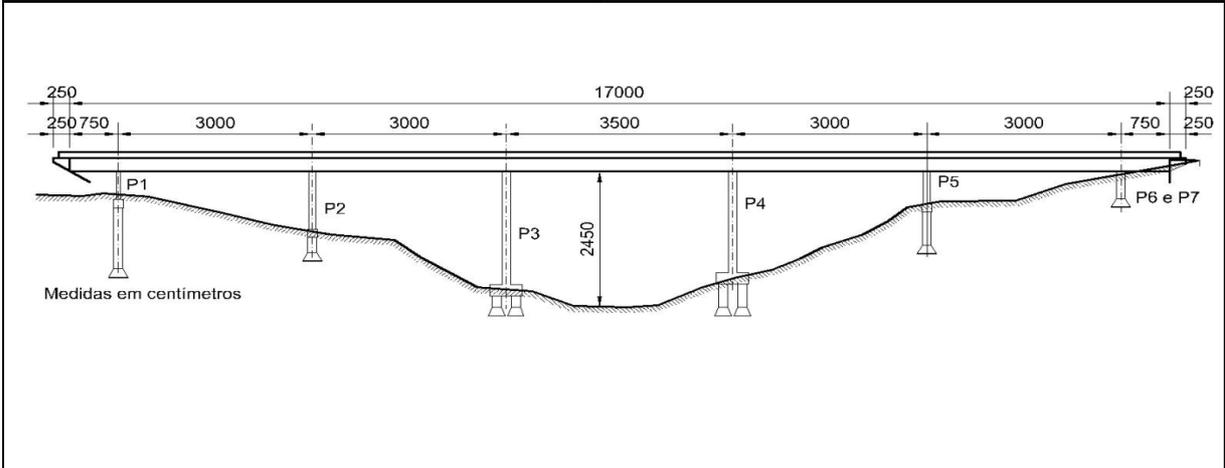
Interior de Viga Celular: Acessível Não Acessível

Comentários: * regime turbulento do Rio, não possibilitando estimar a altura do nível de água este dado e não foi realizada vistoria anterior na época das cheias para verificar o nível d'água naquela época.

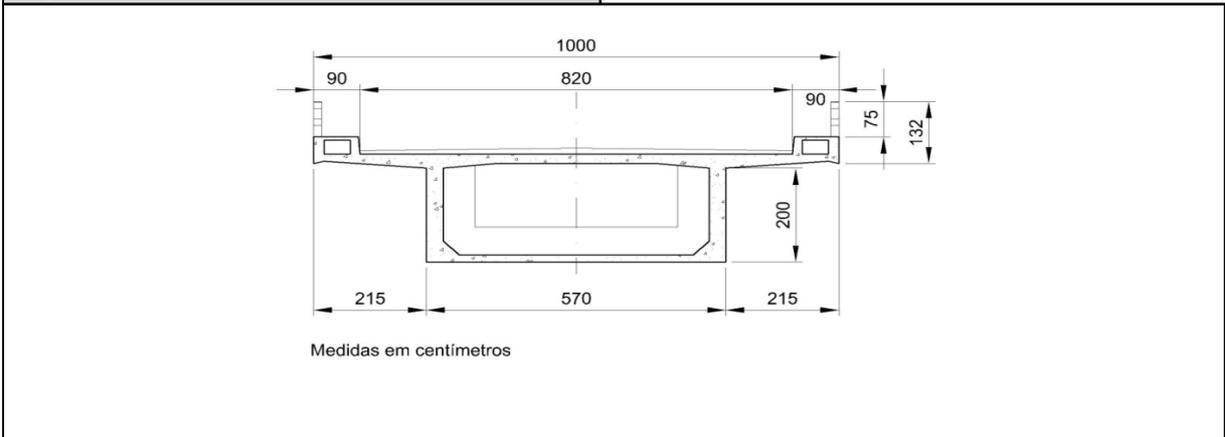
FICHA DE INSPEÇÃO CADASTRAL EXPEDITA

5 ESTRUTURA / ESQUEMAS

ESQUEMA LONGITUDINAL



ESQUEMA TRANSVERSAL



DETALHES ADICIONAIS



OAE: Código: _____ Nome: Ponte sobre o Rio Piracicaba BR-381 / MG km: 276 UNIT: 6ª RES: Rio Casca
 Data: 23 / 04 / 2013 Inspeção: DNIT/Residência: _____ Outra Entidade: realizada para elaboração de dissertação de mestrado

COMENTÁRIOS GERAIS

a) Condições de Estabilidade: Boa Sofrível Precária Condições de Conservação: Boa Regular Sofrível Ruim
 b) Nível de Vibração do Tabuleiro: Normal Intenso Exagerado
 c) Inspeção Especializada (Realizada por Engenheiro de Estruturas). Necessária? SIM NÃO Urgente? SIM NÃO
 Já houve alguma anteriormente? SIM NÃO

NOTA TÉCNICA
2

OBSERVAÇÕES ADICIONAIS:

1. LAJE

		Nota Técnica	Local	Quantidade (Opcional)
Buraco (abertura)	<input type="checkbox"/> Existe	<input type="checkbox"/> É Iminente	_____	_____
Armadura Exposta	<input type="checkbox"/> Muito Oxidada	<input checked="" type="checkbox"/> Grande Incidência	_____	Nos encontros com os guarda-corpos
Concreto Desagregado	<input type="checkbox"/> Muita Intensidade	<input type="checkbox"/> Grande Incidência	_____	_____
Fissuras	<input type="checkbox"/> Forte Infiltração	<input type="checkbox"/> Grande Incidência	_____	_____
Marcas de Infiltração	<input type="checkbox"/> Forte	<input type="checkbox"/> Grande Incidência	_____	_____
Aspecto do Concreto	<input type="checkbox"/> Má Qualidade		_____	_____
Cobrimento	<input checked="" type="checkbox"/> Ausente / Pouco		_____	Em toda a laje

2. VIGAMENTO PRINCIPAL

		Nota Técnica	Local	Quantidade (Opcional)
Fissuras Finas	<input type="checkbox"/> Algumas	<input type="checkbox"/> Grande Incidência	_____	_____
Trincas (fissuras w>0,3mm)	<input type="checkbox"/> Algumas	<input type="checkbox"/> Grande Incidência	_____	_____
Armadura Principal	<input type="checkbox"/> Exposta	<input type="checkbox"/> Muito Oxidada	_____	_____
Desagreg. De Concreto	<input type="checkbox"/> Muito Intenso	<input type="checkbox"/> Grande Incidência	_____	_____
Dente Gerber	<input type="checkbox"/> Quebrado/ Desplacado	<input type="checkbox"/> Trincado	_____	_____
Deformação (Flecha)	<input type="checkbox"/> Exagerada		_____	_____
Aspectos do Concreto	<input type="checkbox"/> Má Qualidade		_____	_____
Cobrimento	<input type="checkbox"/> Ausente / Pouco		_____	_____

FICHA DE INSPEÇÃO ROTINEIRA EXPEDITA

3. MESOESTRUTURA		Nota Técnica: 3	Local	Quantidade (Opcional)
Armadura Exposta	<input type="checkbox"/> Muito Oxidada	<input type="checkbox"/> Grande Incidência	_____	_____
Concreto Desagregado	<input type="checkbox"/> Muita Intensidade	<input type="checkbox"/> Grande Incidência	_____	_____
Fissuras	<input type="checkbox"/> Forte Infiltração	<input type="checkbox"/> Grande Incidência	_____	_____
Aparelho de Apoio	<input type="checkbox"/> Danificado	<input type="checkbox"/> Grande Incidência	_____	_____
Aspecto do Concreto	<input type="checkbox"/> Má Qualidade		_____	_____
Cobrimento	<input type="checkbox"/> Ausente/ Pouco		_____	_____
Desaprumo	<input type="checkbox"/> Há		_____	_____
Deslocabilidade dos Pilares	<input type="checkbox"/> Forte	<i>Possível</i>	<u>Extremo Governador Valadares</u>	_____

4. INFRAESTRUTURA		Nota Técnica: 3	Local	Quantidade (Opcional)
Recalque de Fundação	<input type="checkbox"/> Há		_____	_____
Deslocamento de Fundação	<input checked="" type="checkbox"/> Há		<u>Extremo Governador Valadares</u>	_____
Erosão Terreno de Fundação	<input type="checkbox"/> Há		_____	_____
Estacas Desenterradas	<input type="checkbox"/> Há		_____	_____

5. PISTA / ACESSO		Nota Técnica: 2	Local	Quantidade (Opcional)
Irregularidades no Pav.	<input checked="" type="checkbox"/> Muita Intensidade	<input type="checkbox"/> Grande Extensao	_____	_____
Junta de Dilatação	<input type="checkbox"/> Faltando / Inoperante	<input type="checkbox"/> Muito Problemática	_____	_____
Acessos x Ponte	<input type="checkbox"/> Degrau Acentuado	<input type="checkbox"/> Concordância Problem.	_____	_____
Acidentes com Veículos	<input type="checkbox"/> Freqüente	<input type="checkbox"/> Eventual	_____	_____

ESQUEMAS

FICHA DE INSPEÇÃO CADASTRAL EXPEDITA

3 CARACTERÍSTICA DA ESTRUTURA

MATERIAIS / SEÇÃO / TIPO			Data: <u>23/04/2013</u>	
COMPONENTE	MATERIAL (CÓDIGO) (VER TABELA 2)	SEÇÃO TIPO (CÓDIGO) (VER TABELA 3)		
LAJES	CA			
VIGAS PRINCIPAIS	CA	2T		
PILARES	CA	3CC		
FUNDAÇÕES	EMS	BT		
			TIPOS DE APARELHOS DE APOIO	
			Cód.	Descrição
			FR	Freyssinet
			NP	Neoprene
			TF	Teflon
			CH	Placa de Chumbo
			RM	Rolo Metálico
			AM	Articulação Metálica
			PD	Pêndulo
			LP	Ligação Pórtico
			TE	Tipo Especial
			NI	Não Informado
Aparelhos de Apoio				
Apoio →	Pilares			
Tipo →	NP			
Obs.: para os tipos de aparelhos de apoio ver tabela acima				
PARTICULARIDADES				
Número de Vãos: <u>07</u>	Altura da Viga no Apoio (m): <u>1,50</u>	Extrem. Inicial: <input checked="" type="checkbox"/> ENCONTRO <input type="checkbox"/> BALANÇO		
Número de Juntas Gerber: <u>0</u>	Altura da Viga no Vão (m): <u>1,50</u>	Extrem. Final: <input checked="" type="checkbox"/> ENCONTRO <input type="checkbox"/> BALANÇO		
Comprimento do Vão Maior (m): <u>13,5</u>	Altura Máxima de Pilar (m): <u>9,00</u>	Laje de Aprox.: <input type="checkbox"/> SIM <input checked="" type="checkbox"/> NÃO		
Comentários: _____				

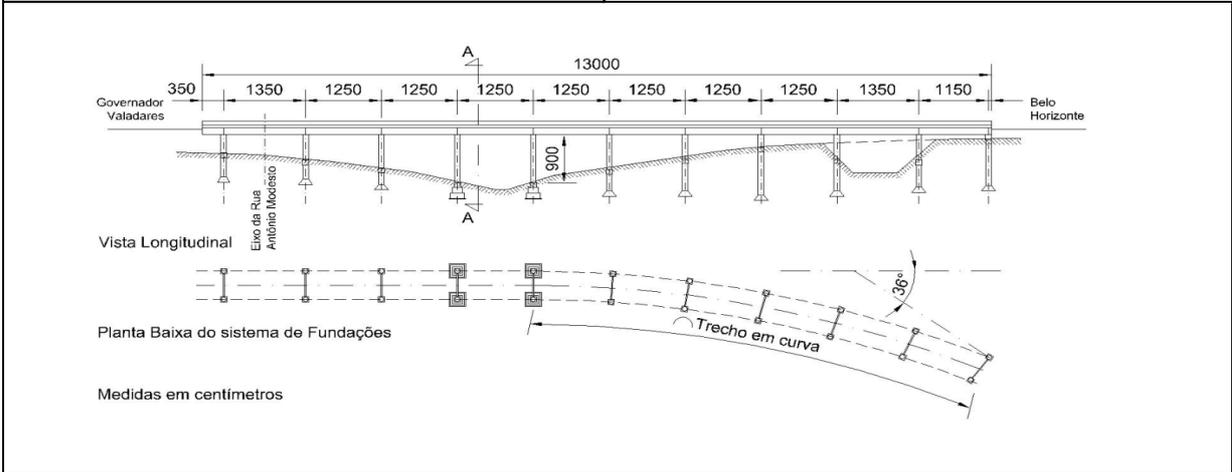
4 OUTROS ASPECTOS

Desnível Max entre Greide e Terreno <u>5,50</u> m	As Fundações encontram-se em Solo Mole? <input type="checkbox"/> SIM <input checked="" type="checkbox"/> NÃO
Lâmina D'água: _____ Normal: _____ na Cheia*: _____ m	A vibração da Estrutura é Excessiva? <input type="checkbox"/> SIM <input checked="" type="checkbox"/> NÃO
O Meio Ambiente é Agressivo? <input type="checkbox"/> SIM <input checked="" type="checkbox"/> NÃO	O Regime do Rio é Torrencial? <input type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO
A Seção de Vazão é Adequada? <input type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO	O Leito do Rio é Erodível? <input type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO
Existe Drenagem no interior do caixão? <input type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO	Histórico da Manutenção: <input type="checkbox"/> Boa <input checked="" type="checkbox"/> Regular <input type="checkbox"/> Ruim
ROTAS ALTERNATIVAS: <input checked="" type="checkbox"/> EXISTEM <input type="checkbox"/> NÃO EXISTEM Acréscimo de Distância: <u>49</u> km	
Descrição do Itinerário: <u>(BR/381/MG) João Monlevade - BR-262/MG - MG-120</u>	
INSPEÇÃO ROTINEIRA (PARÂMETROS)	
Melhor época para Vistorias: <u>de março a outubro (fora do período chuvoso e das férias, onde o tráfego fica muito intenso)</u>	
Períodicidade: <input checked="" type="checkbox"/> Normal (2 anos) <input type="checkbox"/> Reduzida (1 ano) <input type="checkbox"/> Dilatada (4 anos) <input type="checkbox"/> Especial (Consultor)	
<input type="checkbox"/> Especial (L>200m) <input type="checkbox"/> Especial (Equipamento) <input type="checkbox"/> Parcial	
Acesso: <input checked="" type="checkbox"/> Direto / Binóculo: Vãos <u>03</u> <input type="checkbox"/> Equipamento Especial: Vãos _____	
Interior de Viga Celular: <input type="checkbox"/> Acessível <input type="checkbox"/> Não Acessível	
Comentários: _____	

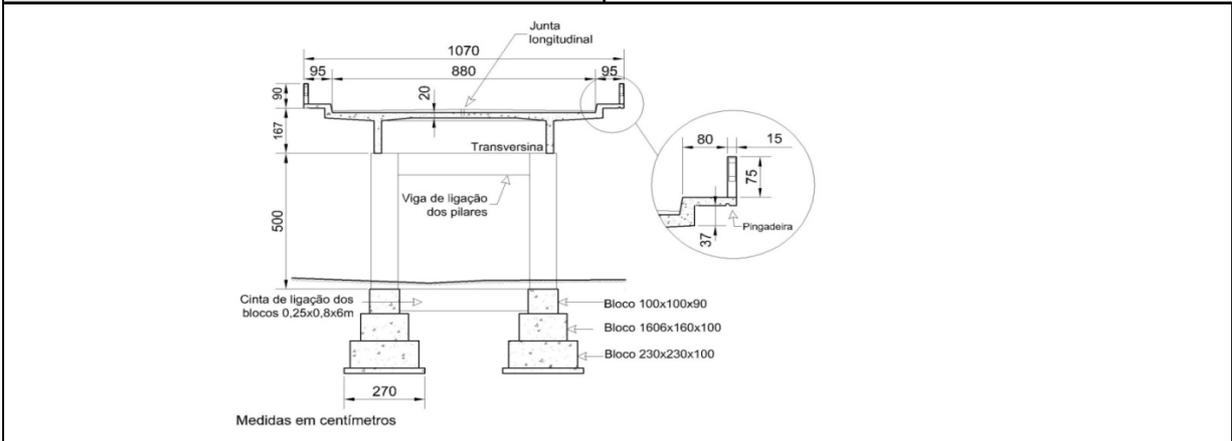
FICHA DE INSPEÇÃO CADASTRAL EXPEDITA

5 ESTRUTURA / ESQUEMAS

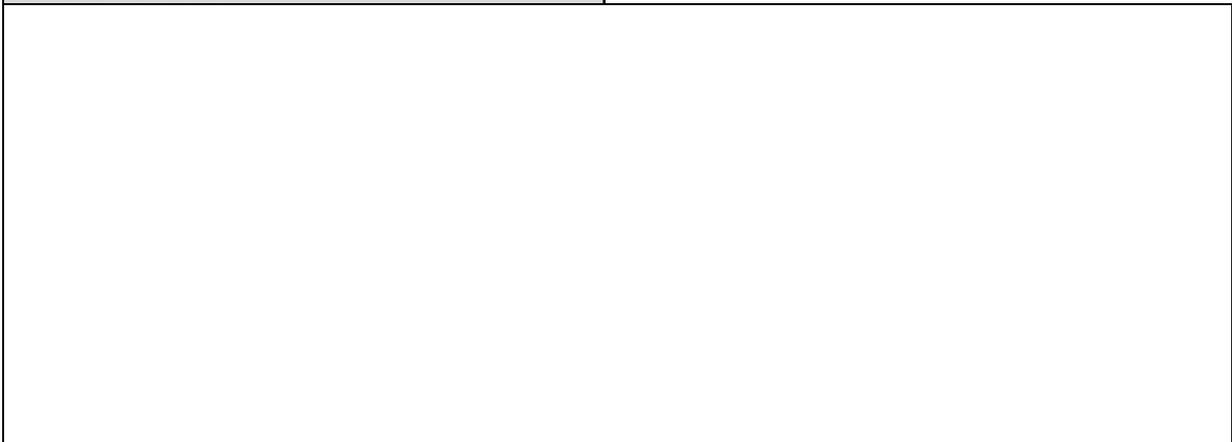
ESQUEMA LONGITUDINAL



ESQUEMA TRANSVERSAL



DETALHES ADICIONAIS



OAE: Código: _____ Nome: Ponte sobre o Rio Piracicaba

BR-381 / MG km: 276 UNIT: 6ª RES: Rio Casca

Data: 23 / 04 / 2013 Inspeção: DNIT/Residência: _____ Outra Entidade: realizada para elaboração de dissertação de mestrado

COMENTÁRIOS GERAIS

- a) Condições de Estabilidade: Boa Sofrível Precária Condições de Conservação: Boa Regular Sofrível Ruim
- b) Nível de Vibração do Tabuleiro: Normal Intenso Exagerado
- c) Inspeção Especializada (Realizada por Engenheiro de Estruturas). Necessária? SIM NÃO Urgente? SIM NÃO
- Já houve alguma anteriormente? SIM NÃO

OBSERVAÇÕES ADICIONAIS:

NOTA TÉCNICA
4

1. LAJE

		Nota Técnica	Local	Quantidade (Opcional)
Buraco (abertura)	<input type="checkbox"/> Existe	4	_____	_____
Armadura Exposta	<input type="checkbox"/> Muito Oxidada	<input checked="" type="checkbox"/> Grande Incidência	_____	Nos encontros com os guarda-corpos
Concreto Desagregado	<input type="checkbox"/> Muita Intensidade	<input type="checkbox"/> Grande Incidência	_____	_____
Fissuras	<input type="checkbox"/> Forte Infiltração	<input type="checkbox"/> Grande Incidência	_____	_____
Marcas de Infiltração	<input type="checkbox"/> Forte	<input type="checkbox"/> Grande Incidência	_____	_____
Aspecto do Concreto	<input type="checkbox"/> Má Qualidade		_____	_____
Cobrimento	<input checked="" type="checkbox"/> Ausente / Pouco		_____	_____

2. VIGAMENTO PRINCIPAL

		Nota Técnica	Local	Quantidade (Opcional)
Fissuras Finas	<input type="checkbox"/> Algumas	4	_____	_____
Trincas (fissuras w>0,3mm)	<input type="checkbox"/> Algumas	<input type="checkbox"/> Grande Incidência	_____	_____
Armadura Principal	<input type="checkbox"/> Exposta	<input type="checkbox"/> Muito Oxidada	_____	_____
Desagreg. De Concreto	<input type="checkbox"/> Muito Intenso	<input type="checkbox"/> Grande Incidência	_____	_____
Dente Gerber	<input type="checkbox"/> Quebrado/ Desplacado	<input type="checkbox"/> Trincado	_____	_____
Deformação (Flecha)	<input type="checkbox"/> Exagerada		_____	_____
Aspectos do Concreto	<input type="checkbox"/> Má Qualidade		_____	_____
Cobrimento	<input type="checkbox"/> Ausente / Pouco		_____	_____

FICHA DE INSPEÇÃO ROTINEIRA EXPEDITA

3. MESOESTRUTURA		Nota Técnica: 4	Local	Quantidade (Opcional)
Armadura Exposta	<input type="checkbox"/> Muito Oxidada	<input type="checkbox"/> Grande Incidência	_____	_____
Concreto Desagregado	<input type="checkbox"/> Muita Intensidade	<input type="checkbox"/> Grande Incidência	_____	_____
Fissuras	<input type="checkbox"/> Forte Infiltração	<input type="checkbox"/> Grande Incidência	_____	_____
Aparelho de Apoio	<input type="checkbox"/> Danificado	<input type="checkbox"/> Grande Incidência	_____	_____
Aspecto do Concreto	<input type="checkbox"/> Má Qualidade		_____	_____
Cobrimento	<input type="checkbox"/> Ausente/ Pouco		_____	_____
Desaprumo	<input type="checkbox"/> Há		_____	_____
Deslocabilidade dos Pilares	<input type="checkbox"/> Forte		<u>Extremo Governador Valadares</u>	_____

4. INFRAESTRUTURA		Nota Técnica: <input type="text"/>	Local	Quantidade (Opcional)
Recalque de Fundação	<input type="checkbox"/> Há		_____	_____
Deslocamento de Fundação	<input type="checkbox"/> Há		_____	_____
Erosão Terreno de Fundação	<input type="checkbox"/> Há		_____	_____
Estacas Desenterradas	<input type="checkbox"/> Há		_____	_____

5. PISTA / ACESSO		Nota Técnica: 2	Local	Quantidade (Opcional)
Irregularidades no Pav.	<input checked="" type="checkbox"/> Muita Intensidade	<input type="checkbox"/> Grande Extensao	_____	_____
Junta de Dilatação	<input checked="" type="checkbox"/> Faltando / Inoperante	<input type="checkbox"/> Muito Problemática	_____	_____
Acessos x Ponte	<input type="checkbox"/> Degrau Acentuado	<input type="checkbox"/> Concordância Problem.	_____	_____
Acidentes com Veículos	<input type="checkbox"/> Freqüente	<input type="checkbox"/> Eventual	_____	_____

ESQUEMAS