

Operação para Substituição de Aparelhos de Apoio de Obras de Arte Especiais Hiperestáticas

Marcelo Leite de Melo Filho¹, Armando Santos Cerqueira Sobrinho², Caio Nogaroli Boecker³, João Luis Alvarenga Casagrande⁴

¹ Casagrande Engenharia / mlfilho@cagen.com.br

² Casagrande Engenharia / assobrinho@cagen.com.br

³ Casagrande Engenharia / cnboecker@cagen.com.br

⁴ Casagrande Engenharia / jlcasagrande@cagen.com.br

Resumo

As operações para troca de aparelho de apoio de elastômero fretado têm sido cada vez mais frequentes no Brasil em viadutos e passarelas. Isso porque esses elementos possuem vida útil muito inferior às estruturas em concreto e aço. Estruturas antigas não foram projetadas prevendo essas operações e hoje estão com seus aparelhos de apoio no fim da vida útil. O projeto de macaqueamento dos apoios deve considerar diversas particularidades de estruturas existentes, muitas vezes sem os devidos registros da obra original. Diferente das superestruturas isostáticas, as superestruturas hiperestáticas de pontes e viadutos, quando realizado o macaqueamento para substituição do aparelho de apoio, são submetidas a esforços significativos durante e pós a operação, que não foram previstos em sua concepção e dimensionamento. As diferentes rizezas das seções transversais e vãos das diferentes obras de arte especiais hiperestáticas, tornam o estudo para realização dessa operação muito singular, pois a magnitude do macaqueamento provoca diferentes esforços na estrutura, que não podem estar fora do intervalo de esforços máximo e mínimos para os quais a estrutura foi originalmente dimensionada. Esse artigo mostra o projeto real desenvolvido pela Casagrande Engenharia para realização da troca de aparelho de apoio de um viaduto hiperestático. Serão apresentados os estudos realizados de retroanálise para estimativa dos esforços de dimensionamento do viaduto e o estudo dos esforços gerados pelo macaqueamento mínimo da estrutura que se viabilizasse a realização da substituição dos aparelhos de apoio.

Palavras-chave

Pontes e viadutos; Estruturas hiperestáticas; Macaqueamento; Substituição de aparelho de apoio; Elastômero fretado

Introdução

Os aparelhos de apoio são elementos constituintes fundamentais das pontes e viadutos, pois eles são responsáveis pela transmissão dos esforços da superestrutura à mesoestrutura. Os aparelhos de apoio do tipo elastômero fretado, são largamente utilizados na concepção de pontes há muitos anos no país. Embora possua inúmeras vantagens como, praticidade no transporte, instalação, baixo custo em relação aos demais aparelhos de apoio, o que justifica a grande preferência dos escritórios de cálculo pelo seu uso, os aparelhos de apoio em elastômero fretado possuem uma vida útil muito reduzida em comparação às obras de arte especiais. Dessa forma, o projeto de troca de aparelhos de apoio em estruturas não é só recorrente como essencial para manutenção da vida útil das pontes e viadutos.

Nos dias atuais, é muito comum o planejamento e a consideração da troca de aparelhos de apoio na execução do projeto executivo das obras de arte especiais. No entanto, quando se depara

com pontes e viadutos executados em décadas passadas, essa consideração não era usual na elaboração do projeto executivo. Além disso, a falta de dados de projetos e memórias de cálculo tornam o procedimento de substituição de aparelho de apoio mais desafiador, já que é necessária a estimativa dos esforços baseado nas normas técnicas vigente no ano da concepção da OAE.

Se tratando de estruturas isostáticas, tipo de estrutura na qual é regulamente realizada esse tipo de operação, a elevação do tabuleiro por meio de macacos hidráulicos para substituição do aparelho de apoio, não causam esforços adicionais à estrutura e o procedimento é realizado com grau de precisão convencional pelas empresas que atuam no seguimento. Entretanto, as estruturas hiperestáticas, precisam ser estudadas de maneira mais cuidadosa, pois o desenvolvimento do projeto precisa ser definido de tal maneira a não induzir esforços, quando da elevação da superestrutura, para os quais as pontes e viadutos não foram dimensionados. É preciso ainda, maior monitoramento de execução no momento da operação com o controle da altura máxima de elevação prescrita em memória de cálculo por parte da empresa que atua em campo, para que não se cause danos irreversíveis à estrutura ou acidentes.

Nesse contexto, a Casagrande Engenharia e Consultoria foi contratada para realização da substituição dos aparelhos de apoio da ponte hiperestática sobre o rio Paulo Lopes, localizado na BR 101 no estado de Santa Catarina no km 251+180.



Figura 1 – Foto da elevação da ponte sobre o rio Paulo Lopes

Apresentação da Estrutura

Em razão da ausência das pranchas originais do projeto, foi necessário realização do cadastro geométrico da OAE, as figuras de 2 a 5 mostram a geometria da estrutura conforme levantada em campo, por equipe especializada em inspeções, da ponte sobre o rio Paulo Lopes, no estado de Santa Catarina. Todas as medidas apresentadas estão em centímetros exceto quando indicado.

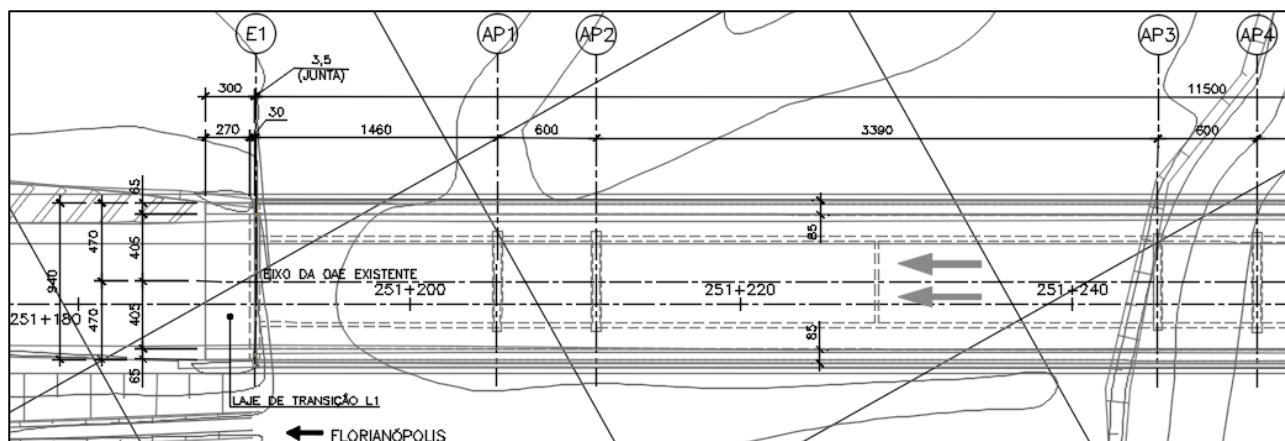


Figura 2 – Planta da superestrutura 1/2

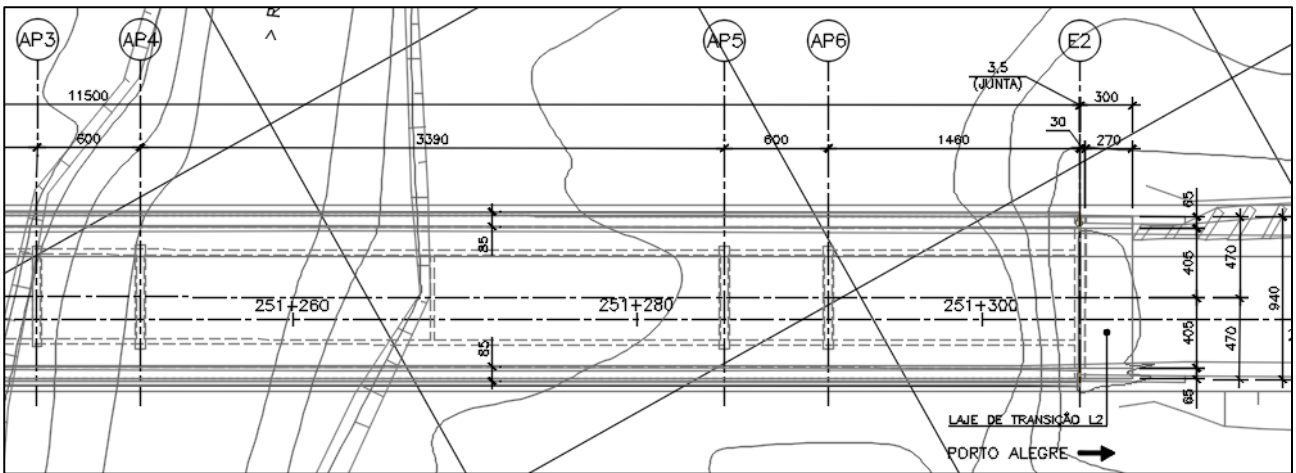


Figura 3 – Planta da superestrutura 2/2

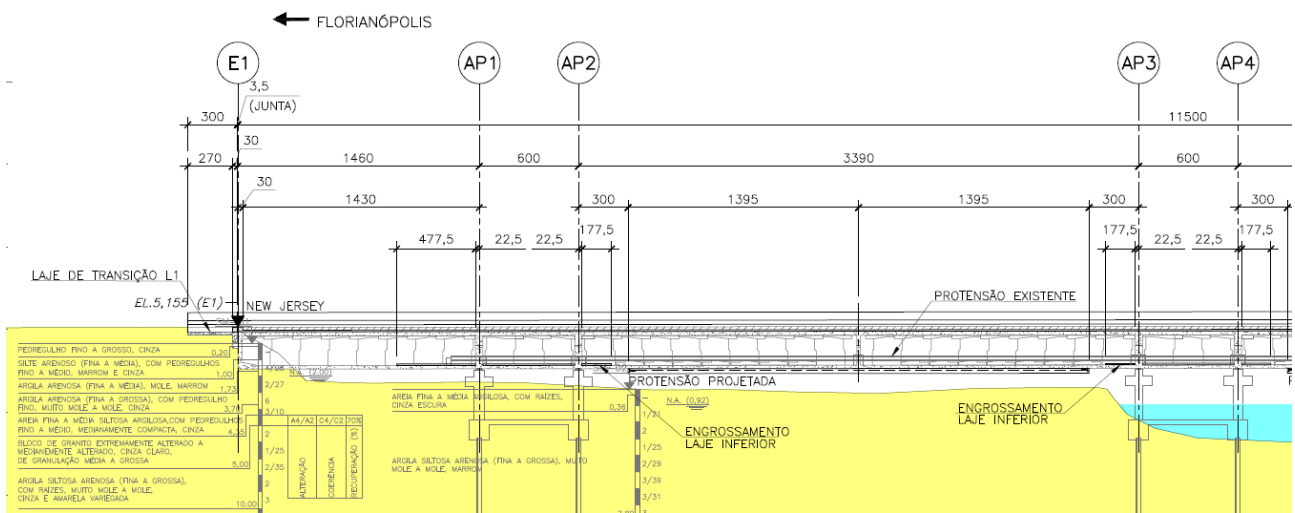


Figura 4 – Elevação da superestrutura 1/2

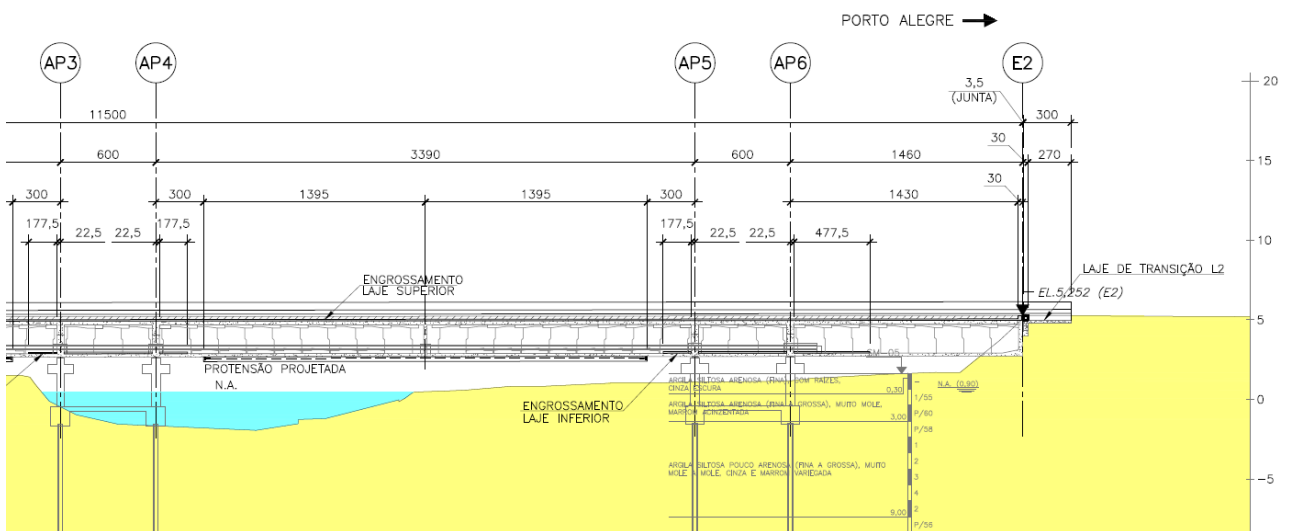


Figura 5 – Elevação da superestrutura 2/2

A estrutura existente da Ponte sobre o rio Paulo Lopes (Pista Norte) é de geometria longitudinal retilínea, com extensão total de 115 metros e largura de 9,80 metros com vãos de 39,7m e balanços de 17,9m em viga contínua. Nas extremidades, consolidada ao tabuleiro, cortinas contêm o aterro de acesso e dão apoio as lajes de transição.

A superestrutura nesse trecho é composta por viga caixão em concreto protendido com 2,25m de altura com almas de 30cm de espessura, laje superior de 25cm e laje inferior de 20cm. As lajes em balanço possuem altura variável com espessura máxima de 45 cm e mínima de 23cm na ponta do balanço de 1,95m. Foram executadas transversinas nos apoios (45cm de espessura) e no meio dos vãos (20cm). Pelas características da superestrutura, a obra foi executada com a técnica de balanços sucessivos utilizando aduelas pré-moldadas.

A transmissão dos esforços verticais e horizontais da superestrutura para a mesoestrutura é feita por aparelhos de apoio em elastômero com comprimento de 5,5m largura de 0,12m e 0,05m de altura.

A mesoestrutura é composta por 3 linhas de apoios, cada uma com 2 pilares parede com 30cm de espessura e 550cm de largura, exceto o pilar P3, que aparentemente foi reforçado com espessura de 55cm e 578cm de largura.

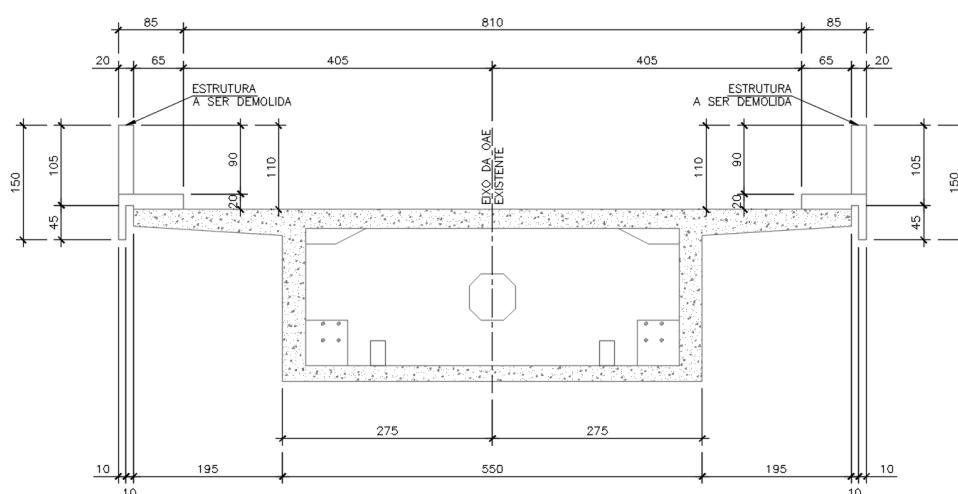


Figura 6 – Seção transversal típica

Por ausência de dados de projeto, foram realizadas extrações de corpos de prova cilíndricos para experimentação de ensaios à compressão, as figuras 7 e 8 apresenta os resultados encontrados. Para consideração do fck da superestrutura, foi selecionado o menor valor encontrado nos ensaios, minorados por um coeficiente de 1,5. Portanto, para superestrutura foi adotado um fck de 20 MPa.

Ponto	Identificação
11	Viga – sobre P1 – face leste
12	Viga – vão entre P3 e P2 – face leste
13	P3 – face norte
14	Viga – vão entre E2 e P6 – face oeste
15	Viga – sobre P5 – face oeste
16	P6 – face norte

Figura 7 – Pontos de extração para ensaio de corpos de prova à compressão

Identificação	Informações Adicionais	Dimensões médias		Massa específica aparente (kg/dm ³)	Coeficientes de correção				Resistência à compressão (MPa)	
		H (mm)	D (mm)		k1	k2	k3	k4	f _{ci, inicial}	f _{ci, ext*}
11	-	130,4	74,4	2,41	-0,02	0,09	0,05	-0,04	56,2	60,7
12	-	119,0	74,4	2,43	-0,03	0,09	0,05	-0,04	61,2	65,5
13	-	120,5	74,4	2,44	-0,03	0,09	0,05	-0,04	35,2	37,6
14	1 barra Ø6mm	120,5	74,2	2,53	-0,03	0,09	0,05	-0,04	30,8	32,9
15	-	122,3	74,2	2,47	-0,03	0,09	0,05	-0,04	53,4	57,2
16	-	124,5	74,3	2,31	-0,03	0,09	0,05	-0,04	42,2	45,2

Figura 8 – Ensaios de compressão de corpos de provas extraídos da OAE

Modelo de Cálculo

A análise e dimensionamento dos consolos para a troca de aparelhos de apoios e reforço dos pilares da Ponte sobre o Rio Paulo Lopes foi realizado com o auxílio de um modelo de cálculo em elementos finitos feito no programa de análise CSI Bridge. Este é mostrado nas figuras de 9 a 11.



Figura 9 – Modelo de cálculo

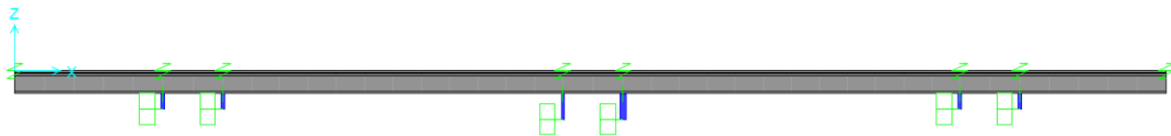


Figura 10 – Elevação de modelo de cálculo

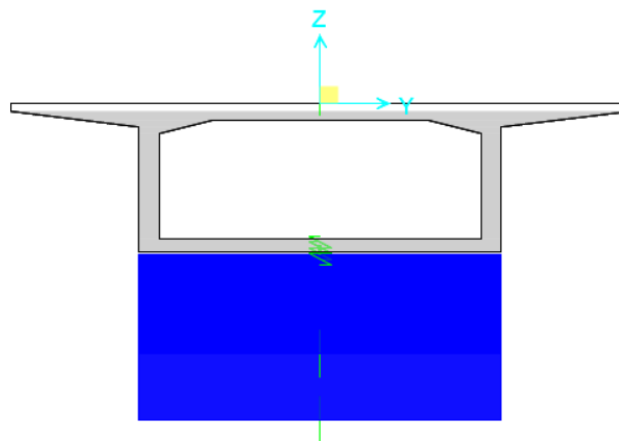


Figura 11 – Seção transversal do modelo de cálculo

Seqüência de Macaqueamento

Para viabilizar o macaqueamento da estrutura para operação de troca de aparelho de apoio, foram projetados consoles curtos de concreto armado em ambas as faces de cada pilar-parede, alinhados com eixo das almas da viga caixaõ. Em virtude de um futuro alargamento e adequação ao TB450, os pilares do AP1, AP2, AP4, AP5 e AP6 foram reforçados com envelopamento em concreto armado.

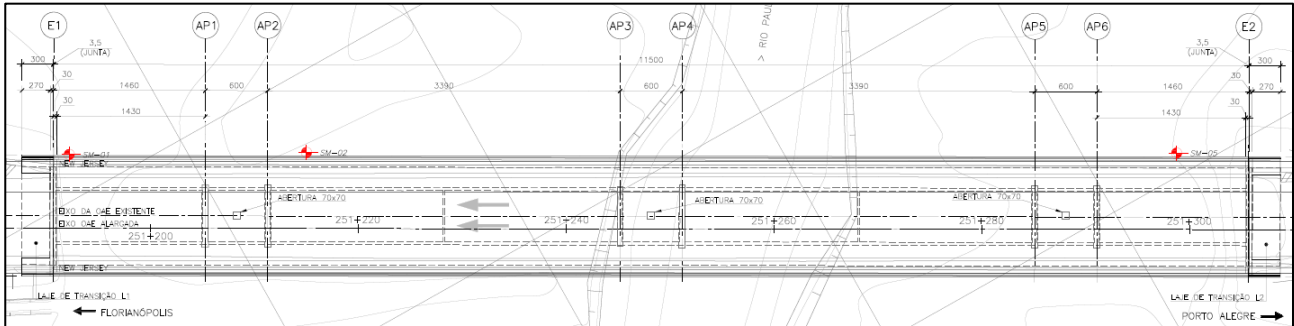


Figura 12 – Implantação da ponte sobre o rio Paulo Lopes

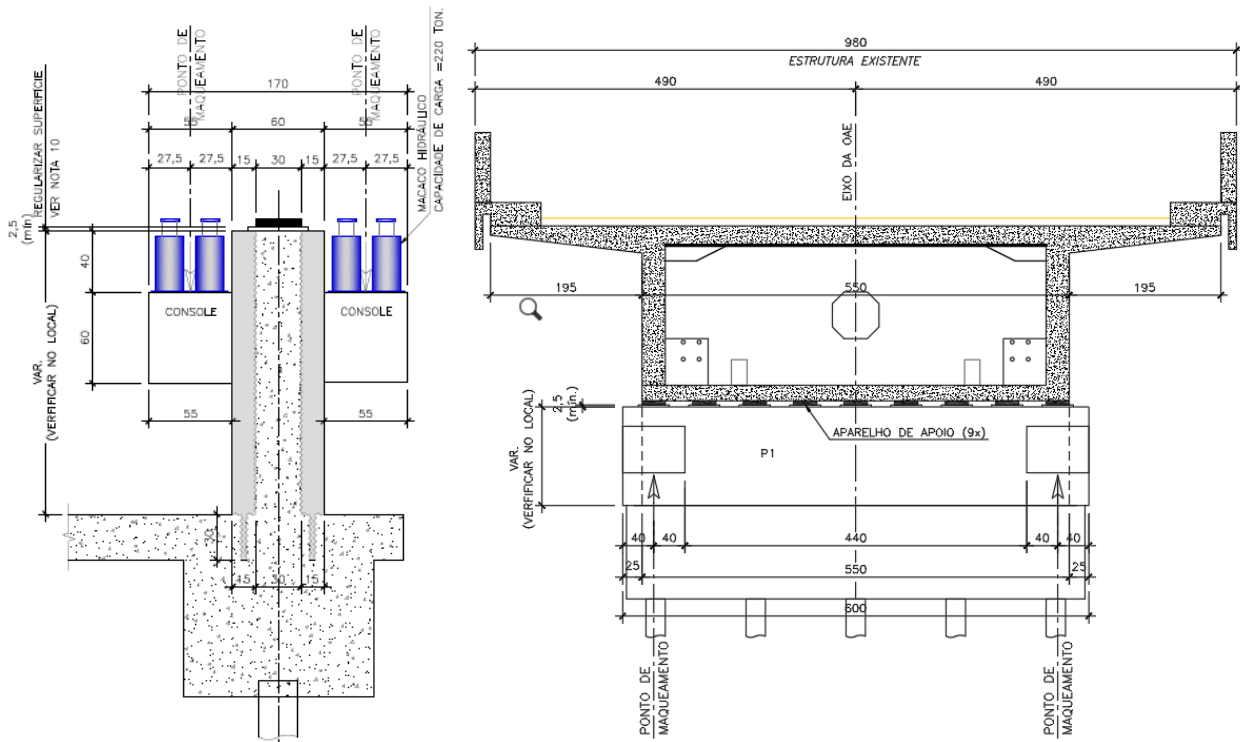


Figura 13 – Elevação e seção transversal típica dos consoles

Uma das alternativas estudada para que se evitasse o acréscimo de esforços por macaqueamento diferencial dos apoios, seria a elevação conjunta de todas as linhas de apoio da superestrutura. No entanto, essa alternativa foi descartada pela concessionária, visto que a interrupção do tráfego se daria por longas horas em uma das principais rodovias do país. Portanto, a alternativa adotada de substituição dos aparelhos de apoio deveria ser adequada para que o tráfego fosse interrompido e posteriormente liberado de forma periódica e intervalada.

A operação de troca dos aparelhos de apoio foi realizada em três etapas, em cada uma das etapas foram realizadas a substituições dos aparelhos de apoio de um par de pilares-paredes. Ressalta-se que, para realização da troca dos aparelhos de apoio, foi necessária a execução de uma camada de regularização de 2,5cm para em seguida o aparelho de apoio ser posicionado. Portanto, haverá de

forma residual, até o término da operação, um recalque ascendente relativo de 7,7cm após conclusão de cada etapa.

A elevação de macaqueamento da estrutura foi definida de modo que os acréscimos de esforços na estrutura estivessem dentro do intervalo de máximos e mínimos dos esforços da combinação de estado limite último para o TB360.

Na etapa 1 a estrutura foi elevada por meio de macacos hidráulicos presentes em AP6 e AP5, com deslocamento vertical e ascendente de 115mm e 100mm respectivamente, além de um macaqueamento do AP4 de 10mm para evitar o descolamento da superestrutura com a mesoestrutura.

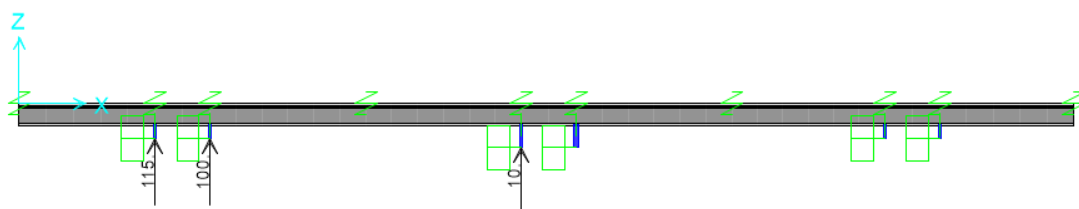


Figura 14 – Macaqueamento – Etapa 1

Na etapa 2, foi imposto um deslocamento vertical ascendente 77mm para os pilares do AP5 e AP6, simulando a instalação da camada de regularização e o novo aparelho de apoio. Os pilares do AP3 e AP4 foram macaqueados para realização da substituição do aparelho de apoio, ambos foram submetidos a um deslocamento vertical e ascendente de 100mm. Para o pilar do AP2 deslocamento imposto foi de 25mm, para que se evitasse descolamento da superestrutura nesse ponto de apoio.

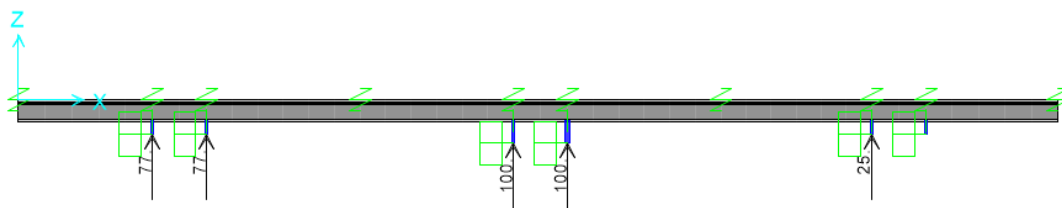


Figura 15 – Macaqueamento – Etapa 2

Na etapa 3 os pilares AP1 e AP2 foram submetidos ao deslocamento vertical e ascendente de 100mm, para realização das últimas trocas do aparelho de apoio. Foram ainda impostos deslocamentos de 77mm, referentes à instalação da camada de regularização e o posicionamento do novo aparelho de apoio.

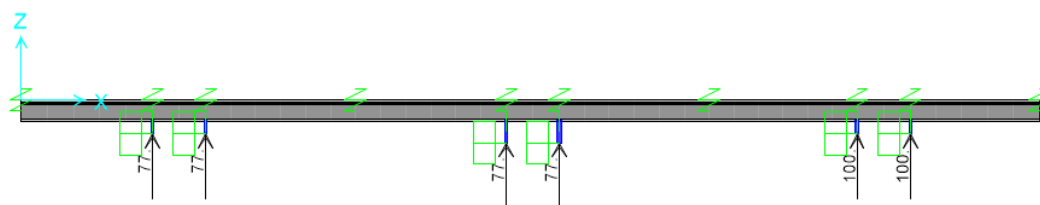


Figura 16 – Macaqueamento – Etapa 3

Resultados e Análises

São apresentados os esforços de momento fletor para cada etapa de macaqueamento, assim como, os esforços no estado limite último considerando o TB360, para posterior comparação e verificação da segurança da estrutura durante a operação.

Etapa 1:

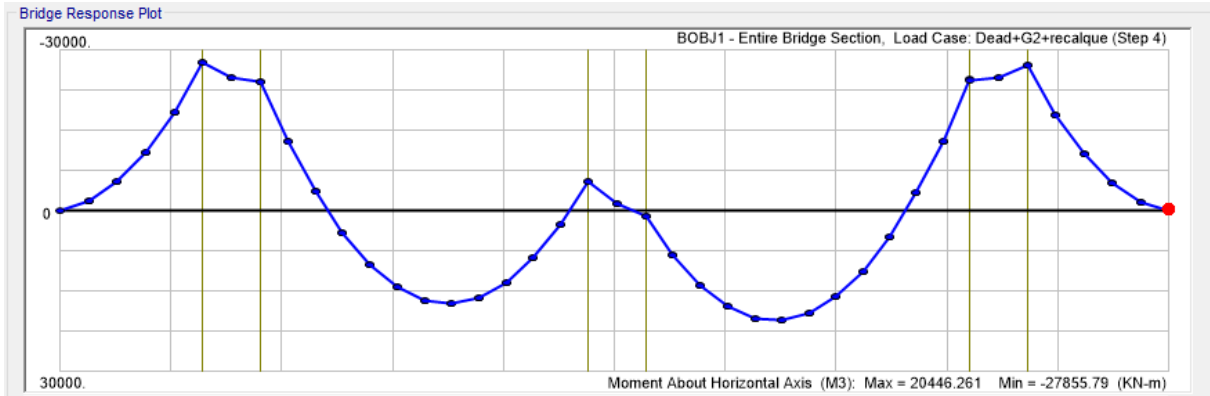


Figura 17 – Momento fletor [kNm] de macaqueamento – Etapa 1

Etapa 2:

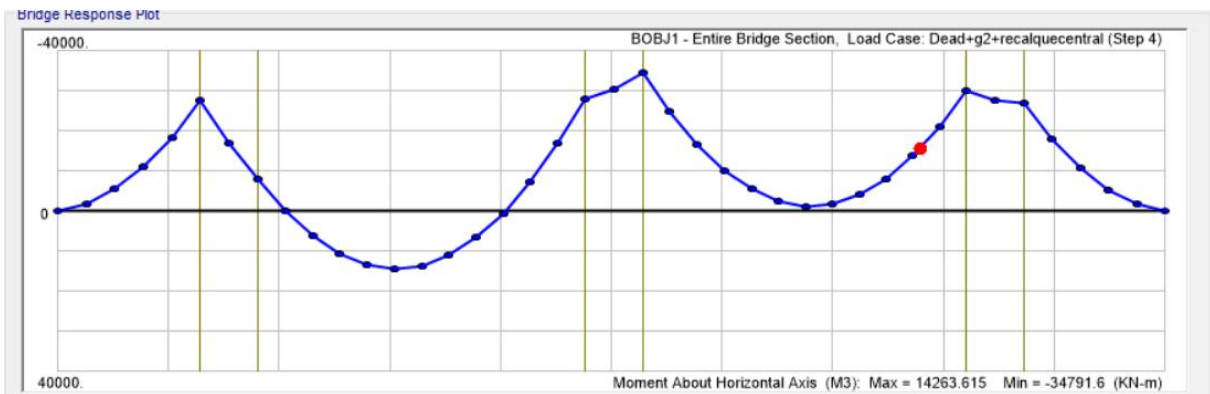


Figura 18 – Momento fletor [kNm] de macaqueamento – Etapa 2

Etapa 3:

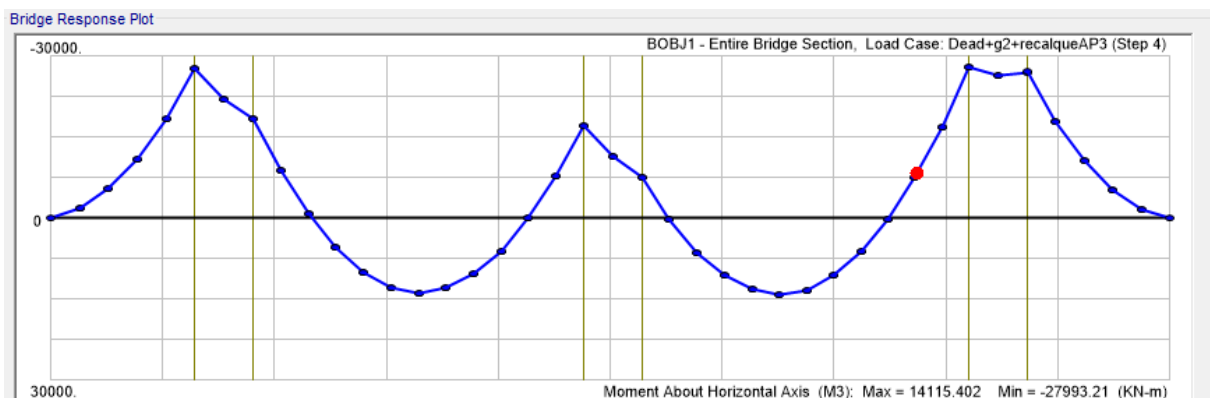


Figura 19 – Momento fletor [kNm] de macaqueamento – Etapa 3

Na figura 20, é apresentado o esforço de momento fletor proveniente de retroanálise da estrutura no estado limite último.

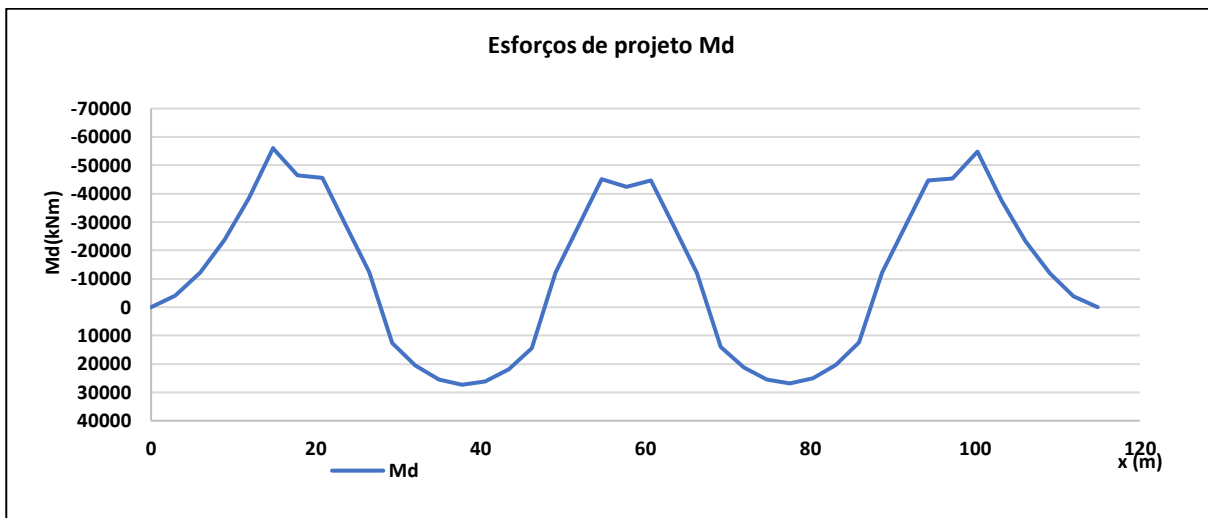


Figura 20 – Momento fletor [kNm] no ELU

Observa-se que os momentos negativos máximos de projeto para os apoios internos são de 44600kNm, e foi obtido na análise de troca de aparelho de apoio um momento negativo máximo de 34791kNm.

$$FS = \frac{44600}{34791} = 1,28$$

Para os momentos positivos, o máximo de projeto chega a um valor de 26780kNm, e para o macaqueamento, temos um esforço de 20446kNm.

$$FS = \frac{26780}{20446} = 1,31$$



Figura 21 – Operação de deslocamento da superestrutura por meio de macacos hidráulicos



Figura 22 – Posicionamento dos calços nos pontos de macaqueamento

Conclusão

Apesar de adoção de premissas conservadoras para elaboração do dimensionamento e as análises de cálculo, trata-se de uma operação sensível à erros que necessita de um controle rigoroso para sua execução, pois eventuais deslocamentos adicionados à estrutura no momento da operação de macaqueamento, podem resultar em acréscimos de esforços solicitantes significativos e não previsto à estrutura. O presente projeto mostrou grande êxito na sua realização, evitando impactos maiores no fluxo de tráfego da região e preservando a integridade da estrutura durante e pós a operação de substituição dos aparelhos de apoio.

Referências Bibliográficas

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 6118: Projetos de estruturas de concreto – Procedimentos. Rio de Janeiro: ABNT, 2014

_____, NBR 9062: Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

_____, NBR 7187: Projeto de pontes de concreto armado e protendido. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

_____, NBR 7188: Carga móvel em ponte rodoviária e passarela de pedestre. Rio de Janeiro: ABNT, 1982.