

**Recuperação de Viaduto em Fortaleza que
Teve Pilar Destruído por Explosão Criminosa**
Joaquim Eduardo Mota¹, Hugo Campêlo Mota², Magnolia M. Campêlo Mota³
¹Universidade Federal do Ceará/ Professor DEECC / jemota@fortalnet.com.br
²Universidade de Fortaleza / Professor CCT / hugocmota8@gmail.com
³Universidade Federal do Ceará/ Professor DEECC / jemota@fortalnet.com.br

Resumo

Na madrugada do dia 03/01/2019, numa ação criminosa, um dos pilares do apoio central de um viaduto rodoviário, com 66m de extensão, localizado no entroncamento das BR020 e BR222 na periferia de Fortaleza/CE, foi submetido a uma explosão próxima a região de sua base. Como consequência, nesta região junto à base, o pilar sinistrado teve seu núcleo de concreto praticamente destruído e as barras de aço apresentaram deformação lateral típica de flambagem caracterizando o seu colapso. Mesmo com a perda deste apoio, a superestrutura conseguiu estabelecer uma nova configuração de equilíbrio apoiando-se nos cinco pilares remanescentes a custo de deslocamentos excessivos e redistribuição de esforços. Neste trabalho apresentam-se mais detalhes sobre o sinistro, as medidas emergenciais adotadas para o salvamento da estrutura, o projeto de recuperação com suas etapas de execução até à reabertura do viaduto ao tráfego.



Figura 1 – Detalhe da base do pilar danificado.

Palavras-chave

Recuperação estrutural; explosão; viaduto; concreto

Introdução

O entroncamento entre as rodovias BR020 e BR222 na região metropolitana de Fortaleza do estado do Ceará é um ponto de intenso fluxo de veículos de passeio e caminhões. Ele representa um dos caminhos de ligação rodoviária da cidade de Fortaleza com as demais cidades a oeste através da BR222, sendo também a BR020 responsável pelo abastecimento de boa parte do estado. A travessia conta com dois viadutos, um para cada sentido de via e idênticos, posicionados um ao lado do outro transversalmente. Os viadutos têm comprimento de 66,0m cada um, sendo dois vãos de 27,50m e dois balanços de 5,50m. A figura 02 mostra a seção transversal de um dos viadutos com duas vigas principais maciças e protendidas com 12 cabos e cordoalhas 12 Φ 12.7 em cada um deles. As transversinas são no total de três e em concreto armado, ou seja, uma para cada apoio, com largura de 150 cm e altura variável média de 160 cm.

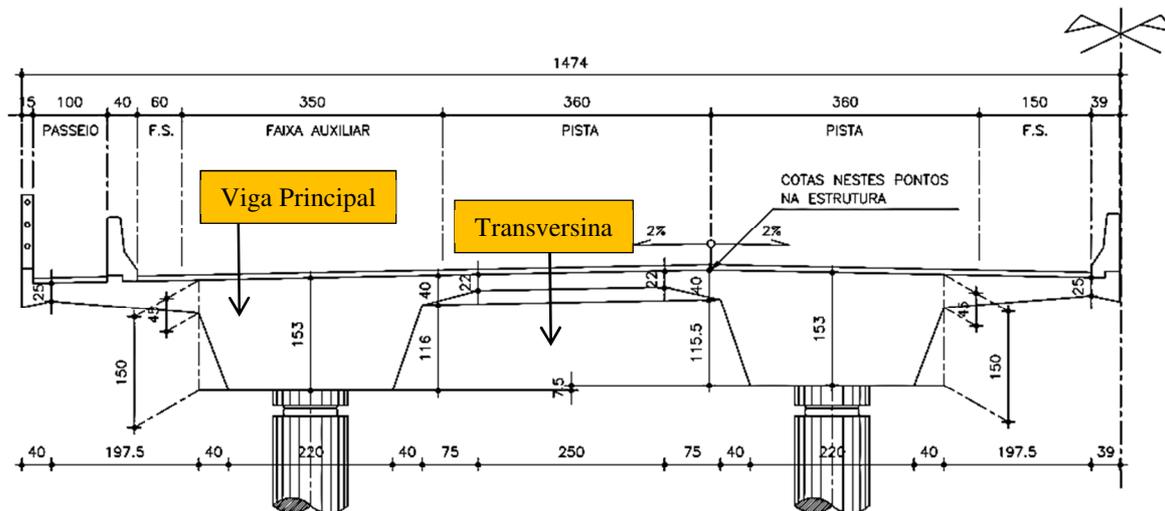


Figura 2 – Seção Transversal do Viaduto.

Este ponto estratégico sofreu na madrugada do dia 03 de janeiro de 2019, quinta-feira, um sinistro com explosão provocada por atividade criminosa na base de um dos pilares do apoio central do viaduto que recebe o fluxo no sentido Fortaleza região interiorana do estado. O fato provocou danos estruturais relevantes levando o pilar danificado ao colapso caracterizado pela completa flambagem das armaduras e destruição de grande região do núcleo de concreto. O viaduto, em uma nova configuração estrutural, com os cinco pilares restantes resistiu aos esforços, entretanto foram constatadas deformações excessivas, exigindo medidas emergenciais para manter a integridade da estrutura. Mostra-se a seguir o processo de análise dos esforços atuantes na estrutura considerando a sequência de etapas de recuperação em conjunto com o processo executivo.

Processo de Análise

Em uma primeira fase emergencial, foram dispostos escoramentos ativos na região próxima ao pilar danificado apoiado diretamente na viga principal para se evitar qualquer progressão nas deformações, até que se tivesse tempo para a análise das etapas de recuperação. Em etapa posterior, este escoramento ativo foi substituído por um escoramento passivo com aluguel mais barato e distribuído tanto na viga principal quanto na transversina do apoio central. Esse procedimento de troca de escoramentos foi baseado em análise de modelos matemáticos em elementos finitos que constatarem esforços excessivos nas transversinas, muito embora as inspeções visuais não tenham mostrado fissuras nas mesmas.

A análise com modelos matemáticos utilizou o software Midas Civil 2015, o que permitiu a modelação das várias etapas de recuperação estrutural como pode ser visto na figura 3. Vigas, pilares, tubulões e transversinas foram simulados como elementos lineares ou de barra. A laje foi representada por elementos de placa, enquanto que revestimento e guarda rodas foram considerados apenas como carregamentos no modelo. Inicialmente se considerou a estrutura de acordo com o seu projeto original Etapa-0. Após a explosão, um dos pilares foi completamente removido do modelo para a Etapa-1. Neste modelo foi encontrada uma flecha de 189 mm, valor que estava compatível com o valor encontrado em

campo e que também serviu para validar o modelo. Verificou-se a situação crítica nas transversinas para o carregamento apenas com peso próprio da estrutura, fato este que justifica a utilização dos escoramentos emergenciais.

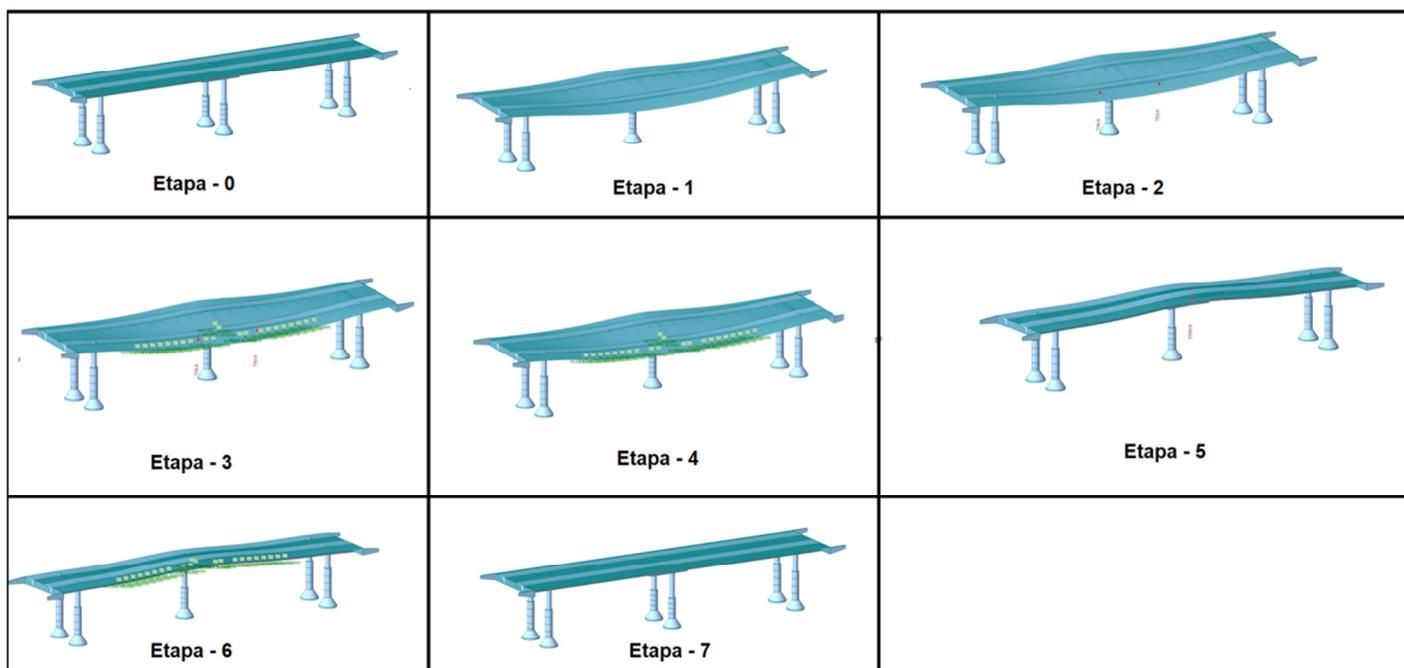


Figura 3 – Modelo numérico com etapas de recuperação.

Na Etapa -2, situação na qual estavam presentes os escoramentos emergenciais, ajustou-se a força que foi introduzida até o valor de 750kN no modelo para simular o escoramento ativo. Este valor provocou uma diminuição da flecha para 136mm. Ressalta-se que as cargas são adicionadas a partir do modelo deformado da Etapa-1.

A troca dos escoramentos ativos por escoramentos passivos se deu com as Etapas-3 e 4, nas quais foram introduzidos apoios elásticos simulando a rigidez dos escoramentos e posterior remoção dos carregamentos que simulavam os escoramentos ativos. Esta troca provocou um acréscimo de flecha de 6mm que representa a acomodação da estrutura na nova configuração.

A Etapa-5 representa a situação de macaqueamento da estrutura a partir do novo pilar até que a flecha abaixo do macaco fosse de 20 mm para cima. A flecha positiva é necessária para a instalação do novo aparelho de apoio. A força necessária para o macaqueamento foi de 5500 kN, valor superior a reação do pilar na Etapa-0 considerando apenas com o peso próprio da estrutura.

A Etapa-6 foi verificada apenas por segurança e não foi uma situação necessária. Ela simula a situação de possível remoção dos escoramentos ativos, nos quais os escoramentos passivos ajustados à posição com flecha positiva passariam a atuar. Durante a execução o equipamento utilizado na Etapa-5 pode ser travado, o que fez com que ele funcionasse como escoramento passivo. Por fim na Etapa -7 remove-se a carga que representa o escoramento passivo, para que a transmissão do carregamento no pilar se de exclusivamente pelo novo aparelho de apoio.

Em todas as etapas foram verificadas a condição das capacidades resistentes das seções serem superiores aos esforços solicitantes conforme exigido na NBR6118 (2014). Nestas verificações as armaduras ativas e passivas da superestrutura foram consideradas iguais às do projeto original para todas as etapas de recuperação tanto para a flexão e esforço normal, quanto para o cisalhamento e torção. A figura 4 mostra um comparativo do diagrama de momento fletor nas vigas da superestrutura nas Etapas-0, 1 e 5. Percebe-se que a viga com um de seus apoios removido altera completamente o seu diagrama de tal maneira que a transversina central têm função importante na redistribuição de esforços nesse instante.

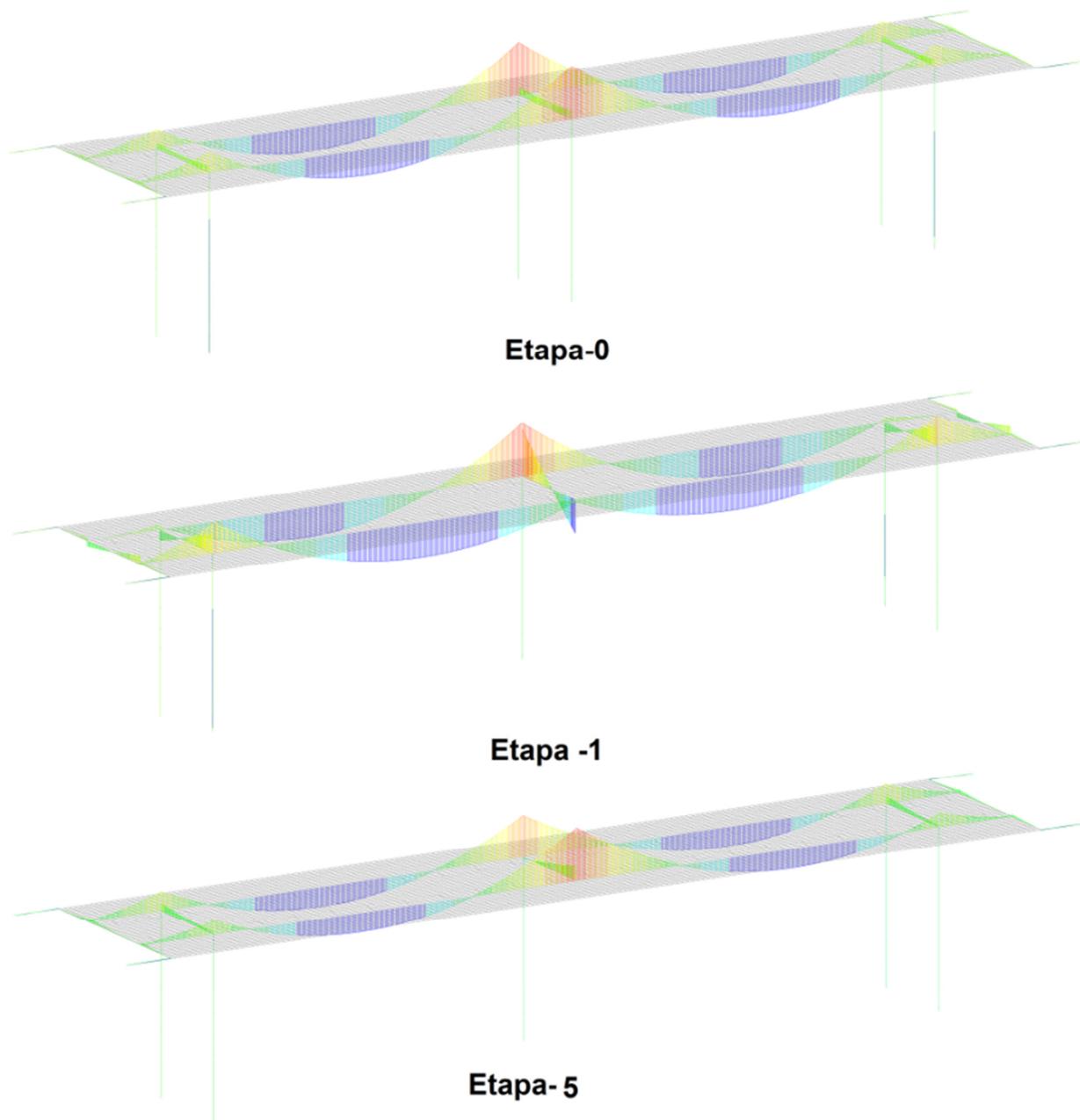


Figura 4 – Modelo numérico com etapas de recuperação.

Processo Executivo

O planejamento do processo executivo se deu após o posicionamento do escoramento ativo emergencial (figura 5). Foram realizadas inspeções visuais com auxílio de drônes onde se observou que a superestrutura permaneceu sem fissuras e que poderia ser preservada. A mesoestrutura, com exceção do pilar danificado pela explosão, também se mostrou íntegra incluindo aparelhos de apoio. A extensão dos danos no pilar se mostrou ampla e em toda a circunferência do pilar circular de 1,0m de diâmetro. As armaduras longitudinais do mesmo estavam deformadas, porém sem perda de seção enquanto que estribos estavam ausentes na região mais danificada. Já o núcleo de concreto se encontrava completamente fragmentado na região da base do pilar. Devido à situação exposta, optou-se pela substituição completa do pilar. Esta alteração se deu em etapa posterior ao posicionamento do escoramento passivo.



Figura 5 – Escoramento ativo emergencial.

A alteração do escoramento ativo para o passivo foi necessária por questões financeiras e disponibilidade no mercado. Ele consiste de escoramento tubular convencional distribuído em região maior que o escoramento anterior. Está posicionado na região das vigas próximas ao apoio central e também foi utilizado na transversina central. Uma vez que o escoramento passivo foi posicionado, removeu-se o escoramento emergencial e se iniciou o processo de demolição do pilar danificado. A figura 6 mostra esta situação com o pilar já cuidadosamente demolido e guiado por cabos para evitar qualquer colisão com os perfis tubulares do escoramento.



Figura 6 – Escoramento passivo durante demolição do pilar danificado.

Um novo pilar de mesmo diâmetro e mesma armadura do original foi construído, porém foi executado um console no topo protendido com barras dywidag para possibilitar o macaqueamento da superestrutura até cota 200mm superior a original. A figura 7 mostra um esquema do posicionamento dos macacos hidráulicos e a elevação do viaduto. Após o posicionamento dos aparelhos de apoio a superestrutura foi baixada para que a carga fosse transferida diretamente para o conjunto pilar aparelho de apoio.

Na fase 1 os macacos hidráulicos são posicionados de acordo com o projeto de recuperação. Uma vez posicionados, inicia-se a fase 2 em que a superestrutura é macaqueada de mais 15 cm com posterior ajuste do escoramento passivo para a nova posição. As fases 3 a 6 dizem respeito à confecção dos calços do novo aparelho de apoio que por ser do tipo vasoflon exige que parte de sua base esteja interna ao concreto e por isso nestas etapas é executado um complemento do pilar. Ainda na fase 5, ergue-se a superestrutura de mais 5cm para facilitar o posicionamento da parte central do aparelho de apoio com novo ajuste do escoramento passivo. Na fase 7 são feitas camadas de regularização e colocação da parte central do aparelho de apoio. Por fim na fase 8 o escoramento passivo e ativo são removidos.

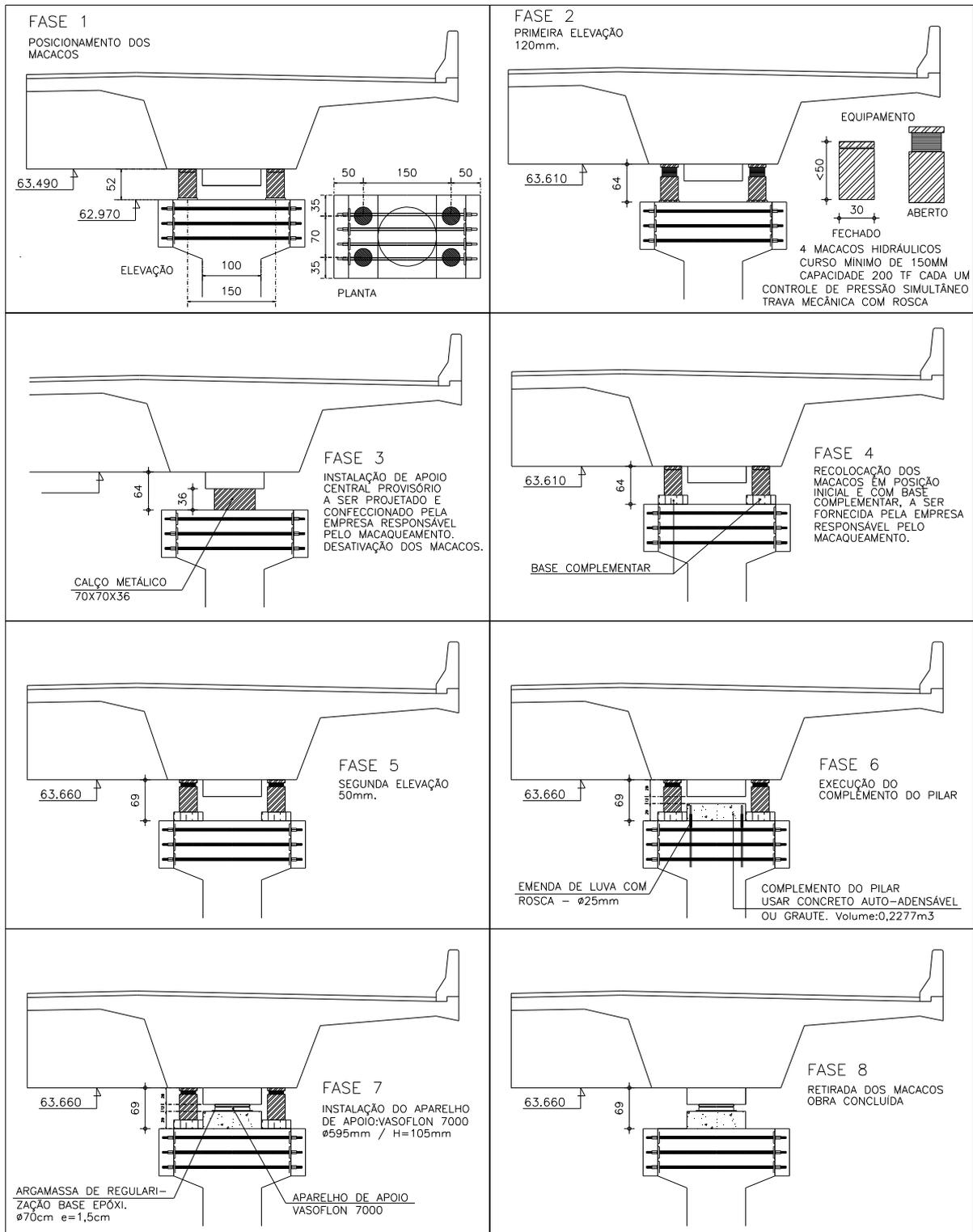


Figura 7 – Esquema do macaqueamento.

Com o viaduto em sua posição final foi realizado uma prova de carga com a medição de flechas em pontos pré-determinados com um veículo especial disposto em diversas posições. Nesta situação mais uma vez se verificou a boa concordância entre o comportamento estrutural e os modelos matemáticos em elementos finitos. O viaduto foi liberado para o tráfego em maio de 2019 aproximadamente cinco meses após a data do sinistro.

Conclusões

Apesar de a superestrutura não ter sido projetada para a situação extrema do colapso de um de seus pilares centrais, a redistribuição de esforços não provocou solicitações maiores do que aquelas das verificações dos estados limites últimos, quando foram considerados todos os carregamentos, inclusive o TB-45, na situação original. Acreditamos que o excepcional e surpreendente desempenho da estrutura após o sinistro, sem apresentação de fissuras, se deve em muito ao grau de protensão completa adotado no projeto e à robustez das transversinas. Deve-se ressaltar que a rápida interdição do tráfego e o correto posicionamento de escoramentos ativos emergenciais foram vitais para o salvamento da estrutura. A estabilização da estrutura permitiu que uma análise mais detalhada e um planejamento executivo fossem elaborados. A modelação do comportamento estrutural nas diversas etapas de recuperação mostrou-se bastante precisa sendo possível dimensionar os escoramentos passivos e ativos nas situações de demolição e reconstrução do pilar e nas situações de macaqueamento. A execução foi feita com valores de referência para as flechas das vigas e forças aplicadas nos escoramentos ativos, conferindo uma maior segurança e precisão nas etapas da recuperação.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 6118 Projeto de estruturas de concreto procedimento, Rio de Janeiro., 2014.