

**Escola Politécnica de Pernambuco**  
**Programa de Pós-Graduação em Engenharia**

**CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM INSPEÇÃO,  
MANUTENÇÃO E RECUPERAÇÃO DE ESTRUTURAS**

**PONTES E VIADUTOS RODOVIÁRIOS:**  
**Conceituação, conservação, segurança e reforço estrutural**

**Disciplina: Reforço e Recuperação de Pontes e Viadutos  
(RRP-2)**

**Professor: José Afonso Pereira Vitório, D.Sc.**

**PONTES E VIADUTOS RODOVIÁRIOS:  
Conceituação, Conservação, Segurança e Reforço  
Estrutural**

**Professor: José Afonso Pereira Vitório, D.Sc.**

Recife, 2015

## APRESENTAÇÃO

As pontes sempre simbolizaram o que há de mais significativo para expressar a criatividade da engenharia, desde os tempos mais remotos quando as pessoas utilizavam troncos, cordas e pedras para viabilizar a transposição dos obstáculos naturais, até os tempos atuais quando obras desafiam a lei da gravidade pela grandiosidade dos vãos e a ousadia das formas.

No Brasil, as pontes típicas das malhas rodoviárias federal, estaduais e municipais, mesmo não sendo obras grandiosas em sua maioria, compõem um patrimônio construído de valor inestimável, pela importância que representam para o desenvolvimento econômico e social do País.

Acontece, que a ausência de políticas e estratégias direcionadas para a conservação das obras públicas faz com que significativa quantidade das pontes existentes no Brasil, muitas delas construídas há várias décadas, estejam atualmente em precárias condições estruturais e funcionais, gerando riscos aos usuários e prejuízos ao setor produtivo nacional que é bastante dependente do transporte rodoviário.

Uma questão preocupante é a ausência de dados consistentes sobre a quantidade de pontes e viadutos que necessitam passar por avaliações de segurança e por intervenções de recuperação e reforço. Na realidade, não existem sequer informações sobre quantas pontes existem no país, pois o último cadastramento de pontes das rodovias federais ocorreu em 2004.

Nesse contexto, elaboramos esta publicação, a partir das notas de aula da disciplina **Reforço e Recuperação de Pontes e Viadutos** que lecionamos desde 2007 no Curso de Especialização em Inspeção, Manutenção e Recuperação de Estruturas na Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco.

Mesmo que inicialmente este trabalho tenha sido elaborado com o objetivo didático de atender à ementa da disciplina, cuja finalidade é qualificar profissionais na área da inspeção e manutenção de estruturas, entendemos que também poderá ser útil aos engenheiros em geral, em especial a aqueles que têm interesse em adquirir conhecimentos sobre os mecanismos relacionados à conservação, à segurança e às soluções mais usuais de reforços estruturais em pontes rodoviárias de concreto.

O autor.

Recife, 2015

## ÍNDICE

INTRODUÇÃO.....	3
1. CONCEITOS GERAIS .....	4
1.1. Definições .....	4
1.2. Principais elementos componentes das pontes .....	4
1.3. Classificação das pontes.....	5
1.3.1. Quanto à finalidade .....	5
1.3.2. Quanto aos materiais .....	5
1.3.3. Quanto ao sistema estrutural .....	5
1.4. Ações consideradas nas estruturas das pontes e viadutos .....	10
1.4.1. Considerações sobre as atuais cargas móveis.....	11
2. CONSERVAÇÃO, SEGURANÇA ESTRUTURAL E GESTÃO DE PONTES E VIADUTOS.....	12
2.1. Aspectos gerais.....	12
2.2. Conceitos de vida útil, conservação, segurança estrutural e gestão aplicados às pontes e viadutos brasileiros .....	12
2.2.1. Vida útil .....	12
2.2.2. Conservação.....	13
2.2.2.1. Panorama das atuais condições de conservação das pontes brasileiras .....	14
2.2.3. Inclusão nos projetos de diretrizes de prevenção às patologias estruturais e de aumento da vida útil .....	20
2.2.4. Segurança estrutural de pontes existentes .....	20
2.2.4.1. Diretrizes adotadas no Brasil para a avaliação das condições de estabilidade de pontes rodoviárias.....	22
2.2.4.2. Método adotado pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) .....	23
2.2.4.3. Pesquisa realizada sobre as condições de estabilidade de pontes rodoviárias brasileiras.....	24
2.2.5. Gestão de pontes e viadutos.....	27
2.2.6. Vistoria de pontes e viadutos .....	28
2.3. Recuperação, reforço e alargamento de pontes e viadutos .....	30

2.3.1.	Recuperação estrutural .....	30
3.	REFORÇO ESTRUTURAL.....	31
3.1.	Reforço do tabuleiro .....	31
3.2.	Reforço da fundação e mesoestrutura.....	40
4.	APARELHOS DE APOIO E JUNTAS DE DILATAÇÃO .....	55
4.1.	Aparelhos de apoio .....	55
4.2.	Juntas de dilatação .....	57
5.	UMA AMOSTRA DAS ATUAIS CONDIÇÕES DE CONSERVAÇÃO DAS PONTES DO RECIFE.....	60
5.1.	Aspectos históricos.....	60
5.2.	Aspectos relacionados à falta de conservação .....	60
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	67

## **INTRODUÇÃO**

Esta publicação, mesmo tendo um cunho didático, tem também a finalidade de transmitir os principais conceitos relacionados à conservação, recuperação, segurança e reforço de pontes e viadutos rodoviários, por meio de uma abordagem prática, aos profissionais da engenharia que mesmo não sendo especializados em estruturas, pretendam melhor entender essa área do conhecimento.

Para atender a tais objetivos, o texto foi organizado em cinco capítulos da forma seguinte:

No primeiro capítulo são apresentados os conceitos de ordem geral relativos às pontes e viadutos, incluindo as informações sobre as ações atuantes nesses tipos de obras, conforme as normas atualmente em vigor no Brasil.

O segundo capítulo mostra os principais tópicos relacionados à conservação, segurança e gestão de pontes, inclusive com os resultados de uma pesquisa realizada pelo autor em 100 pontes de rodovias federais com a finalidade de mostrar um panorama do atual estado de conservação e segurança das Obras de Arte Especiais no Brasil.

O reforço estrutural de pontes existentes, tanto do tabuleiro como das fundações, é abordado no capítulo três

O capítulo quatro trata dos principais conceitos e das manifestações patológicas relacionadas aos aparelhos de apoio e às juntas de dilatação.

O quinto e último capítulo apresenta uma amostra das atuais condições de conservação das pontes da cidade do Recife, obtida dos resultados de três pesquisas de Monografias do Curso de Especialização da UPE que foram orientadas pelo autor.

Para aqueles que pretendem ampliar o conhecimento sobre o tema, recomenda-se consultar as referências bibliográficas relacionadas ao final do texto e a outras publicações disponíveis na literatura.

## 1. CONCEITOS GERAIS

### 1.1. Definições

A norma brasileira NBR 7188(2013) – apresenta as seguintes definições para pontes, viadutos e passarelas:

#### Ponte

Estrutura sujeita a ação de carga em movimento, com posicionamento variável (chamada de carga móvel), utilizada para transpor um obstáculo natural (rio, córrego, vale, etc.).

#### Viaduto

Estrutura para transpor um obstáculo artificial (avenida, rodovia, etc.).

#### Passarela

Estrutura longilínea, destinada a transpor obstáculos naturais e/ou artificiais exclusivamente para pedestres e/ou ciclistas.

### 1.2. Principais elementos componentes das pontes

As pontes em geral são compostas dos seguintes elementos, indicados na figura 1.1.

- superestrutura;
- mesoestrutura;
- infraestrutura.

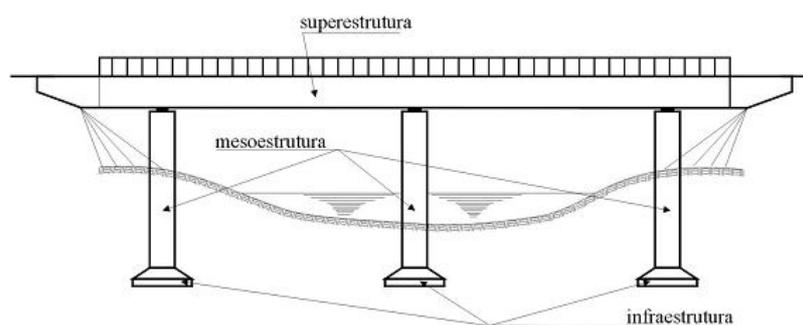


Figura 1.1 – Elementos componentes de uma ponte (Fonte: VITÓRIO, 2002).

#### **Superestrutura**

A superestrutura vence o vão necessário a ser transposto pela ponte e recebe diretamente as cargas provenientes do tráfego dos veículos, transmitindo-as à mesoestrutura. É normalmente denominada de tabuleiro.

#### **Mesoestrutura**

A mesoestrutura, cuja função é conduzir as cargas da superestrutura para as fundações, é constituída pelos pilares, travessas e encontros.

#### **Infraestrutura**

A Infraestrutura, ou fundação, tem a finalidade de receber as cargas da estrutura, transmitindo-as para o solo. Pode ser direta (sapatas) ou profunda (estacas ou tubulões).

#### **Encontros**

Os encontros são elementos de ligação entre a ponte e a rodovia que além de receberem as cargas provenientes da superestrutura, fazem a contenção dos aterros nas extremidades da obra, conforme ilustrado na figura 1.2.

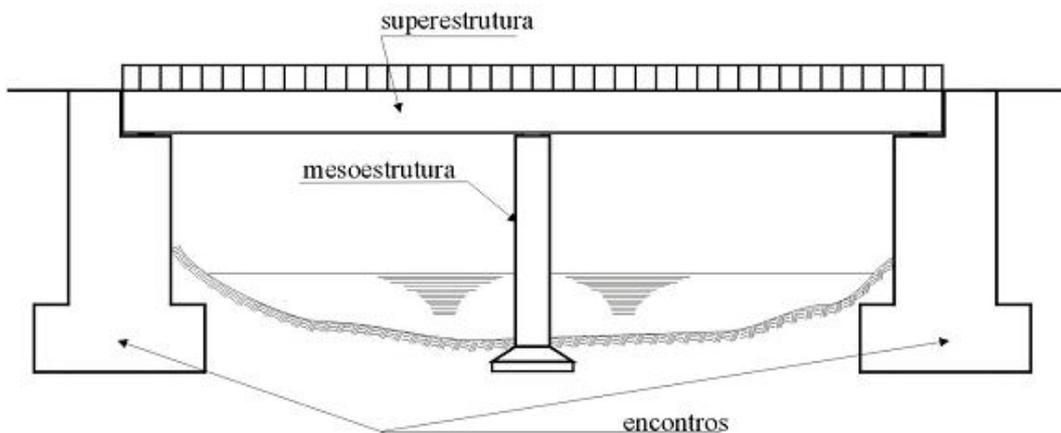


Figura 1.2 – Ponte com encontros nas extremidades (Fonte: VITÓRIO, 2002).

### 1.3. Classificação das pontes

As pontes são geralmente classificadas quanto à finalidade, quanto ao tipo de material empregado e quanto ao sistema construtivo adotado.

#### 1.3.1. Quanto à finalidade

Quanto à finalidade as pontes podem ser classificadas como:

- rodoviária – obra destinada ao tráfego rodoviário;
- ferroviária – obra destinada ao tráfego ferroviário;
- rodoferroviária – obra destinada ao tráfego misto de veículos e trens;
- passarela – obra destinada exclusivamente ao tráfego de pedestres e ciclistas;
- aeroviária – obra destinada ao tráfego de aeronaves nos pátios dos aeroportos.

#### 1.3.2. Quanto aos materiais

Quanto aos materiais empregados, as pontes podem ser classificadas como:

- Pontes de concreto (armado e/ou protendido);
- Pontes metálicas;
- Pontes mistas (aço/concreto, aço/madeira, etc.);
- Pontes de pedras;
- Pontes de madeira.

#### 1.3.3. Quanto ao sistema estrutural

##### Pontes em laje

Pontes cujos tabuleiros são constituídos apenas por laje, sem qualquer tipo de viga. Trata-se de solução adotada apenas para pequenos vãos (da ordem de 15m, no máximo). A figura 1.3 mostra a seção transversal de um tabuleiro em laje.

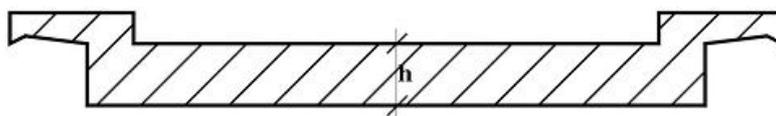


Figura 1.3 – Seção transversal de tabuleiro de ponte em laje maciça (Fonte: VITÓRIO, 2002).

### Pontes em vigas

Pontes cujo sistema estrutural do tabuleiro é constituído por duas ou mais vigas longitudinais (vigas principais ou longarinas) e vigas transversais (transversinas). Neste tipo de estrutura existe uma laje superior na qual situam-se as pistas de rolamento.

Esse tipo de sistema está indicado na figura 1.4

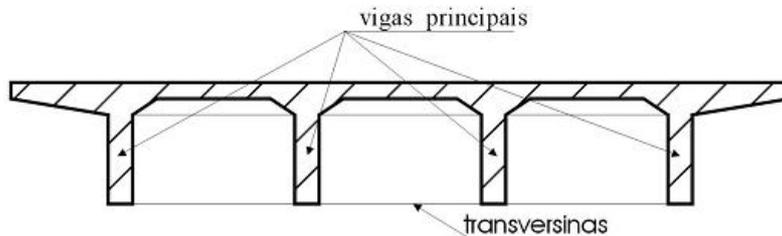


Figura 1.4 – Seção transversal de tabuleiro em viga (Fonte: VITÓRIO, 2002).

### Pontes em tabuleiro celular

Trata-se de tabuleiro formado por duas lajes, uma superior e outra inferior, interligadas por vigas longitudinais e transversais, conforme a figura 1.5. Esse tipo de estrutura tem como vantagem a grande rigidez à torção, sendo por isso indicada para pontes curvas e sobre pilares isolados, ou ainda, quando se dispõe de pequena altura para as vigas principais. Apresenta, também, vantagem de ordem estética, sendo particularmente indicada para vigas contínuas de concreto protendido.

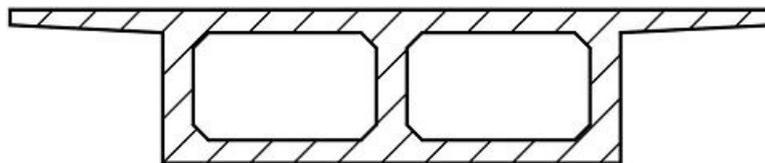


Figura 1.5 – Seção transversal de um tabuleiro celular (Fonte: VITÓRIO, 2002).

### Pontes em pórticos

Nesses tipos de pontes, os pórticos são formados pela ligação das vigas com os pilares ou com as paredes dos encontros, caracterizando a continuidade entre esses elementos em substituição às articulações, conforme a figura 1.6.

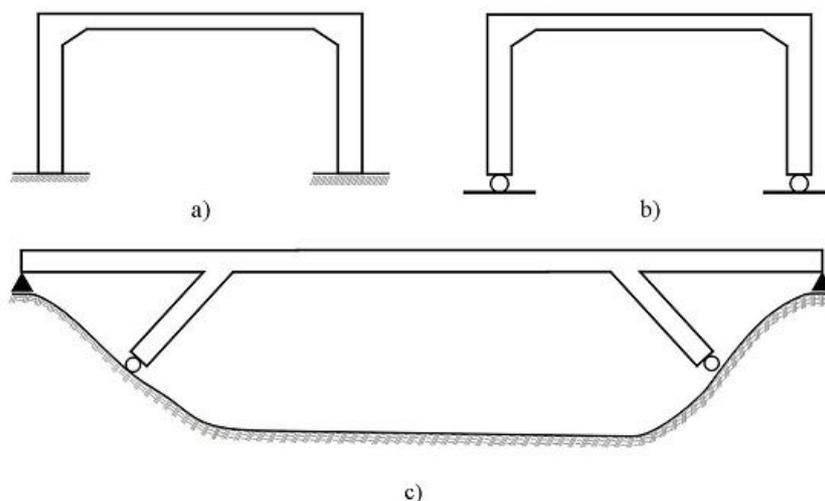


Figura 1.6 – Esquema de pontes em pórticos: a) biengastados; b) biarticulados; c) biarticulados com montantes inclinados (Fonte: VITÓRIO, 2002).

## Pontes em arco

Esse sistema estrutural foi muito utilizado no passado como a única alternativa viável para vencer grandes vãos, principalmente diante da dificuldade da execução de apoios intermediários e escoramentos sobre cursos d'água ou vales profundos.

A predominância dos esforços de compressão com pequena excentricidade e a exigência de pequenas seções de armações, fizeram do arco a estrutura adequada para a utilização do concreto armado. Porém, com a evolução do concreto protendido e das técnicas construtivas que permitiram eliminar os escoramentos, as pontes em arcos passaram a ser substituídas pelas pontes em vigas retas protendidas.

A figura 1.7 mostra os sistemas mais encontrados para esse tipo de ponte.

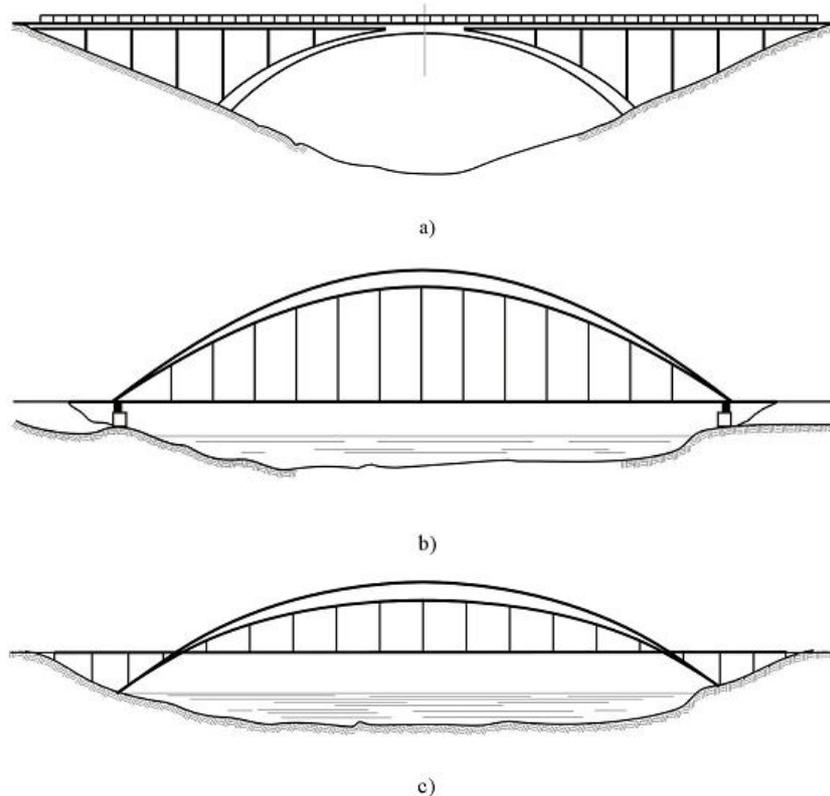


Figura 1.7 – Pontes em arcos: a) com tabuleiro superior; b) com tabuleiro inferior; c) com tabuleiro intermediário (Fonte: VITÓRIO, 2002).

## Pontes pênséis

As pontes pênséis são constituídas por cabos dispostos parabolicamente e pendurais verticais conforme a figura 1.8. Não são estruturas apropriadas para concreto e por isso são executadas geralmente em vigamentos metálicos suspensos em cabos portantes de aço. Os vigamentos, que podem ser em treliças ou vigas de alma cheia, devem ter grande rigidez à flexão e principalmente à torção, de modo a minimizar os efeitos dos movimentos vibratórios transversais que podem causar desconforto aos usuários ou mesmo risco à estrutura.

As pontes pênséis se caracterizam por vencerem grandes vãos. Um dos exemplos mais marcantes é o da Golden Gate, concluída em 1937, em São Francisco, nos Estados Unidos, cujo vão livre tem 1.200m.

Atualmente, o maior vão livre do mundo em estrutura pênsil pertence à ponte Akashi-Kaigo, no Japão, cujo comprimento é 1.991m.

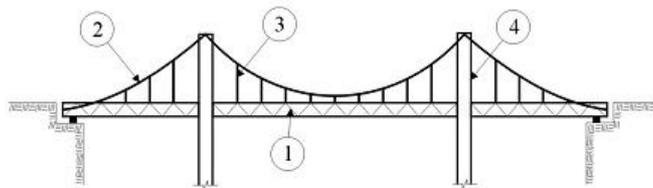


Figura 1.8 – Esquema de uma ponte Pênsil: 1 viga metálica; 2 cabo portante; 3 pendurais de suspensão de vigamento no cabo portante; 4 torres de apoio do cabo portante (Fonte: VITÓRIO, 2002).

### Pontes estaiadas

Nas pontes estaiadas o tabuleiro é suspenso através de cabos inclinados fixados em torres. O tabuleiro, geralmente metálico ou em concreto protendido, deve ter grande rigidez à torção, de modo a reduzir os movimentos vibratórios causados pela ação transversal do vento. A figura 1.9 mostra um esquema típico desse tipo de ponte.

Este tipo de ponte é utilizado para vãos maiores que 200m e são obras bastante sofisticadas, tanto do ponto de vista do projeto como da construção. Para tabuleiros em concreto protendido (executado em balanços sucessivos) é possível obter boas soluções para vãos de até 600m. Para vãos da ordem de 900m devem ser utilizados tabuleiros metálicos ou mistos.

Atualmente o maior vão livre do mundo para pontes estaiadas pertence à ponte da ilha Russky na Rússia, com 1.104m de extensão.

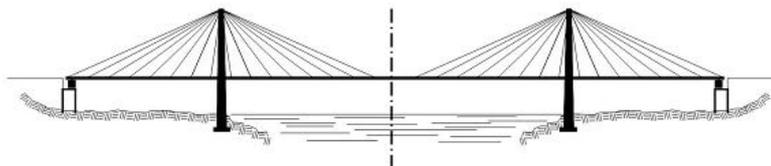


Figura 1.9 – Ponte estaiada com cabos dispostos em leque (Fonte: VITÓRIO, 2002).

### Pontes em balanços sucessivos

Quando se faz necessário vencer vãos cujos comprimentos estão acima dos limites das pontes ditas convencionais, e abaixo dos valores recomendados para as pontes estaiadas, lança-se mão de um sistema construtivo conhecido como balanços sucessivos.

Esse sistema foi criado pelo engenheiro brasileiro Emílio Baumgart, que projetou a primeira ponte desse tipo sobre o Rio do Peixe em Santa Catarina no ano de 1930. A evolução do método ao longo do tempo tem permitido a construção de pontes e viadutos em todo o mundo com vãos livres entre 60m e 200m, cujos tabuleiros são constituídos por aduelas de concreto protendido, moldadas no local ou pré-moldadas, que vão sendo adicionadas à estrutura sem necessidade de escoramentos.

A figura 1.10 mostra o esquema do início da execução de uma ponte em balanços sucessivos, a partir do arranque do qual vão sendo colocadas (ou moldadas) as aduelas. Nas figuras 1.11 e 1.12 estão ilustradas as disposições das aduelas e das protensões. A figura 1.13 mostra o processo construtivo com o emprego de aduelas moldadas no local, enquanto a figura 1.14 representa a montagem de aduelas pré-moldadas.

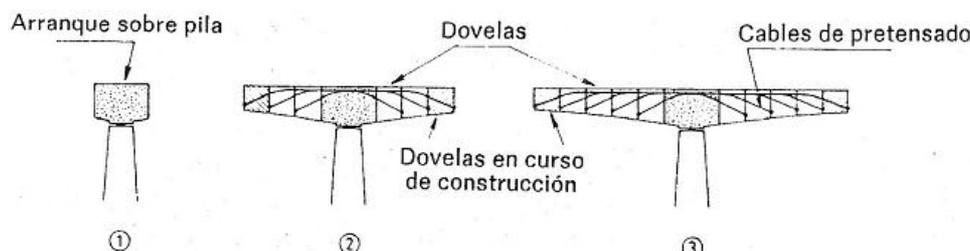


Figura 1.10 – Esquema do início da execução dos balanços sucessivos (Fonte: MATHIVAT, 1980).

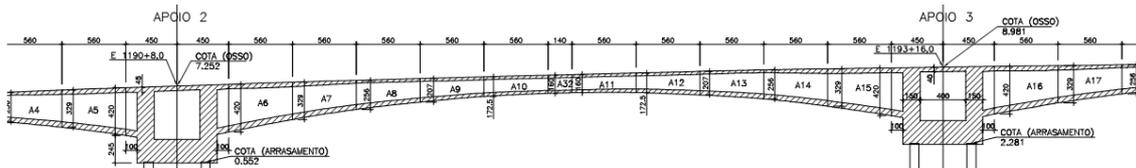


Figura 1.11 – Corte longitudinal de um projeto de ponte em balanços sucessivos (Fonte: VITÓRIO & MELO, 2011).

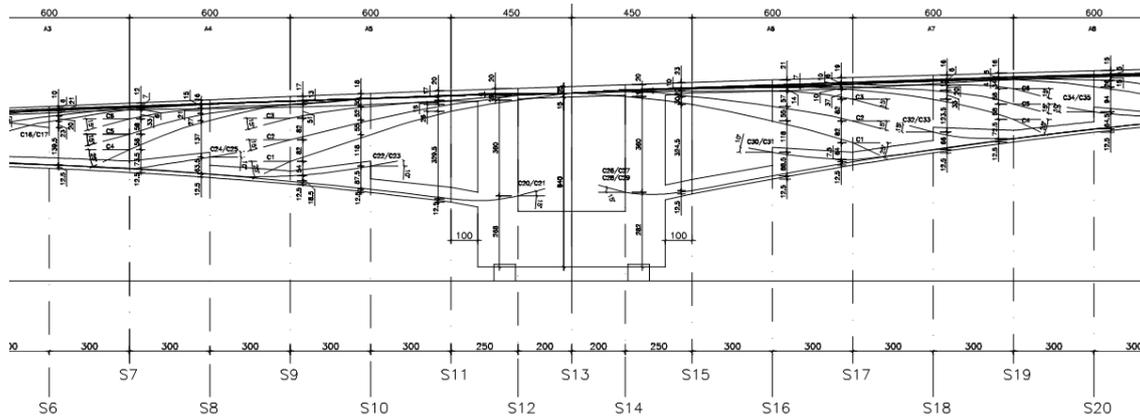


Figura 1.12 – Configuração dos cabos de protensão das aduelas (Fonte: VITÓRIO & MELO, 2011).



Figura 1.13 – Execução de balanços sucessivos com aduelas moldadas no local (Fonte: Revista Infraestrutura, Ed. 21, 2012).

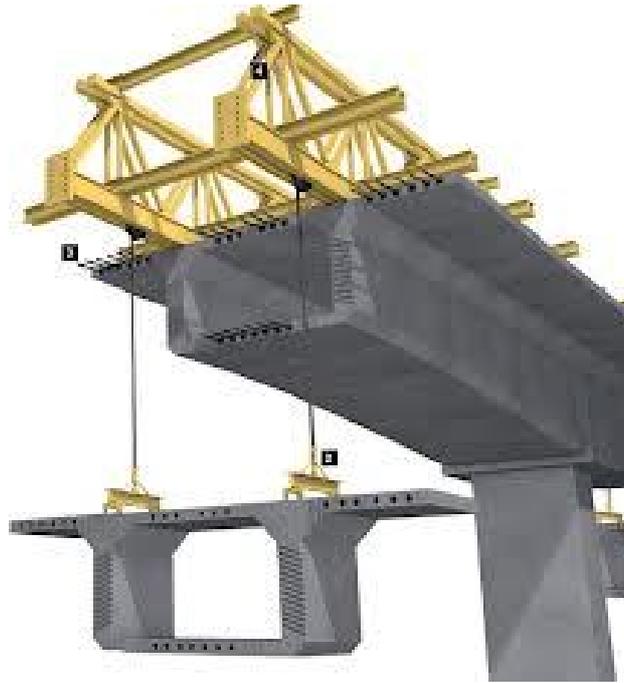


Figura 1.14 – Execução de balanços sucessivos com aduelas pré-moldadas (Fonte: Revista Infraestrutura, Ed 21, 2012).

#### **1.4. Ações consideradas nas estruturas das pontes e viadutos**

De acordo com as normas NBR 8681 (2004) e NBR 7187 (2003), ações são as cargas que provocam o aparecimento de esforços ou deformações nas estruturas. No caso das pontes, podem ser classificadas como:

- Ações permanentes
- Ações variáveis
- Ações excepcionais

##### **Ações permanentes**

Ações que ocorrem com valores constantes ou de pequena variação em torno de sua média, durante praticamente toda a vida da construção. A variabilidade das ações permanentes é medida num conjunto de construções análogas. Compreendem, entre outras:

- As cargas provenientes do peso próprio dos elementos estruturais;
- As cargas provenientes do peso da pavimentação, dos trilhos, dos dormentes, dos lastros, dos revestimentos, das barreiras, dos guarda-rodas, dos guarda-corpos e de dispositivos de sinalização;
- Os empuxos de terra e de líquidos;
- As forças de protensão;
- As deformações impostas, isto é, provocadas por fluência e retração do concreto, por variações de temperatura e por deslocamentos de apoios.

##### **Ações variáveis**

São as ações de caráter transitório que compreendem, entre outras:

- As cargas móveis;
- As cargas de construção;
- As cargas de vento;

- O empuxo de terra provocado por cargas móveis;
- A pressão da água em movimento;
- O efeito dinâmico do movimento das águas;
- As variáveis de temperatura.

### Ações excepcionais

São as ações que têm duração extremamente curta e muito baixa probabilidade de ocorrência durante a vida da construção, mas que devem ser consideradas nos projetos de determinadas estruturas, como é o caso de choques de objetos móveis e fenômenos materiais pouco frequentes, como enchentes catastróficas e sismos, entre outros.

#### 1.4.1. Considerações sobre as atuais cargas móveis

A norma NBR 7188 (1984), que definia as cargas móveis em pontes rodoviárias e passarelas de pedestres, foi revisada e atualizada em 2013.

A nova edição, que entrou em vigor a partir de 11-11-2013, tem abrangência sobre os projetos de pontes, viadutos, galerias, passarelas e edifícios-garagem.

Para os projetos de pontes e viadutos a carga móvel padrão continua sendo o TB-450, definido por um veículo tipo de 450KN com seis rodas (P), cada uma com 75KN, circundado por uma carga uniformemente distribuída (p) de 5KN/m<sup>2</sup>, conforme a figura 1.15.

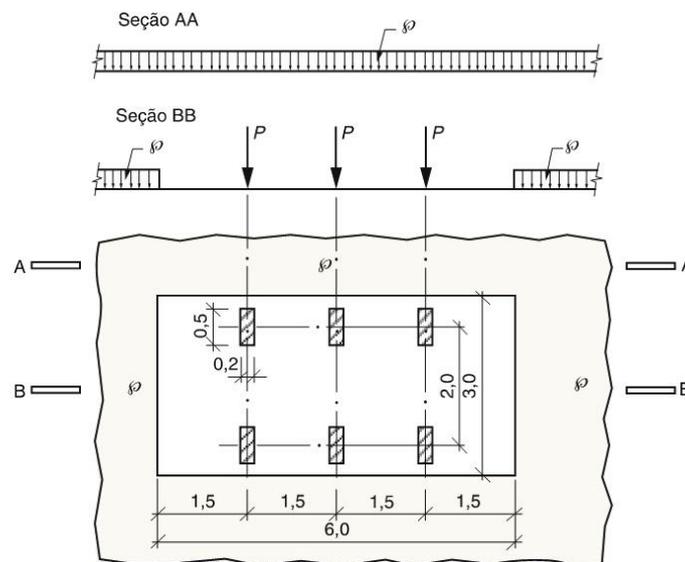


Figura 1.15 – Disposição das cargas do Veículo-Tipo (Fonte: ABNT NBR 7188, 2013).

As principais alterações da norma quanto às cargas móveis referem-se aos coeficientes de ponderação das cargas verticais  $P$  e  $p$  que devem ser majoradas pelo coeficiente de impacto vertical ( $CIV$ ), pelo coeficiente do número de faixas ( $CNF$ ) e pelo coeficiente de impacto adicional ( $CIA$ ), de modo a obter os valores  $Q$  e  $q$  conforme as expressões [1.1] e [1.2].

$$Q = P \times CIV \times CNF \times CIA \quad [1.1]$$

$$q = p \times CIV \times CNF \times CIA \quad [1.2]$$

Antes da edição da NBR 7188 (2013), as cargas móveis eram majoradas por um único coeficiente de impacto vertical ( $\varphi$ ) que dependia do vão teórico ( $\ell$ ) do elemento carregado, de acordo com a expressão seguinte:

$$\varphi = 1,4 - 0,007\ell \geq 1 \quad [1.3]$$

## **2. CONSERVAÇÃO, SEGURANÇA ESTRUTURAL E GESTÃO DE PONTES E VIADUTOS**

### **2.1. Aspectos gerais**

As pontes e viadutos das rodovias federais, estaduais e municipais do Brasil, conhecidas como Obras de Arte Especiais, compõem um acervo público de valor inestimável, pela importância que representam para o desenvolvimento econômico e social da Nação.

Existe, porém, um costume bastante habitual de considerar que a vida das pontes é extraordinariamente longa, talvez até infinita. Isso se deve, em parte, à impressão que, de modo geral, é transmitida por esses tipos de obras, sempre associada à robustez e solidez.

A realidade mostra, porém, que uma ponte, como qualquer outra edificação, também se deteriora com o passar do tempo e necessita de cuidados para não se debilitar e tornar-se vulnerável às ações de agentes, sejam eles endógenos ou exógenos, que ponham em risco às suas condições de estabilidade e funcionalidade. Dados divulgados pelo Tribunal de Contas da União (TCU) informam que algo em torno de 75% das pontes existentes nas rodovias brasileiras que não estão sob o regime de concessão encontram-se em precário estado de conservação e necessitam de intervenções de recuperação, reforço ou alargamento para se adequarem a condições de uso que sejam consideradas satisfatórias. Outros dados, do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), publicados por MENDES (2009), mostram o seguinte perfil do universo de 5.600 pontes cadastradas nas rodovias federais pelo referido Órgão.

- a) 70% do número de pontes, correspondentes a 64% da área de tabuleiro construída, possuem idade superior a 30 anos;
- b) 63% das pontes têm extensão inferior a 50m;
- c) 79% das pontes possuem largura total inferior a 12,0m, considerada estreita pelo padrão atual;
- d) 94% das pontes possuem sistema estrutural em viga de concreto armado ou protendido;
- e) 90% das pontes foram projetadas com trem tipo de 240KN ou de 360KN;
- f) 50% das pontes possuem apenas um vão com dois balanços; e,
- g) 93% das pontes possuem vão máximo inferior a 40,0m.

É possível concluir que esse perfil também se aplica às pontes das rodovias estaduais e municipais, cujas quantidades não estão disponíveis devido à ausência de informações cadastrais na grande maioria dos estados e municípios. Porém, é importante registrar que apenas nas rodovias do Estado de São Paulo que estão sob concessão, existem 4.050 pontes cadastradas.

A simples observação dos índices apresentados acima mostra a necessidade de adequação da grande maioria das pontes existentes aos atuais padrões de geometria, funcionalidade e segurança exigidos para a atualização da malha rodoviária brasileira.

### **2.2. Conceitos de vida útil, conservação, segurança estrutural e gestão aplicados às pontes e viadutos brasileiros**

#### **2.2.1. Vida útil**

Entende-se por vida útil o período de tempo no qual a estrutura é capaz de desempenhar as funções para as quais foi projetada sem a necessidade de intervenções não previstas. Isso quer dizer que as intervenções de manutenção que forem previstas e especificadas durante a fase de projeto, fazem parte do período de tempo durante o qual se admite que a estrutura esteja cumprindo a sua missão.

A previsão da vida útil das estruturas de concreto vem sendo objeto de estudos por diversos pesquisadores, com ênfase para as obras executadas em ambientes agressivos, como é o caso das pontes e estruturas off-shore.

Existem vários modelos para prever a vida útil das estruturas expostas a determinados mecanismos de degradação. Tais modelos devem fornecer aos projetistas estruturais as informações suficientes para avaliar as mudanças que certamente ocorrerão ao longo do tempo de utilização.

A vida útil de uma estrutura depende tanto do desempenho dos componentes estruturais propriamente ditos, como de outros componentes diversos, que possam vir a comprometer a funcionalidade e até a estabilidade da obra, caso não funcionem adequadamente.

Essa situação fica bastante evidente no caso das estruturas das pontes, que muitas vezes têm as suas vidas úteis reduzidas pelo funcionamento inadequado de componentes específicos como juntas de dilatação, aparelhos de apoio, drenos do tabuleiro e porosidade do pavimento, entre outros. Tais componentes, que, de modo geral possuem vidas úteis inferiores à da estrutura da ponte, se transformam em elementos geradores de patologias que aceleram o processo de deterioração estrutural e, em consequência, a diminuição da durabilidade e vida útil da ponte como um todo.

O Eurocódigo 0 (NP EN, 1990). “*Bases para o projeto de estruturas*”, apresenta categorias do tempo de vida útil de projeto, cujos valores também poderão ser utilizados para determinar o desempenho em função do tempo, como é o caso dos cálculos relacionados com a fadiga. Tais valores estão indicados na tabela 2.1.

Tabela 2.1 – Valores indicativos do tempo de vida útil de projeto. (Fonte: NP EN, 1990)

<i>Categoria do tempo de vida útil de projeto</i>	<i>Valor indicativo do tempo de vida útil de projeto (anos)</i>	<i>Exemplos</i>
1	10	<i>Estruturas provisórias<sup>1)</sup></i>
2	10 a 25	<i>Componentes estruturais substituíveis, por exemplo, vigas-carril, apoios</i>
3	15 a 30	<i>Estruturas agrícolas e semelhantes</i>
4	50	<i>Estruturas de edifícios e outras estruturas correntes</i>
5	100	<i>Estruturas de edifícios monumentais, pontes e outras estruturas de engenharia civil</i>

<sup>1)</sup> *As estruturas ou componentes estruturais que podem ser desmontados, tendo em vista a sua reutilização, não deverão ser consideradas como provisórias.*

### 2.2.2. Conservação

Teoricamente, conservação é definida como o conjunto de ações necessárias para manter uma edificação – qualquer que seja ela - com as mesmas características resistentes, funcionais e estéticas apresentadas no momento em que foi projetada e construída.

Acontece que no Brasil essa é ainda uma ideia a ser melhor apreendida. Gasta-se muito tempo, energia e recursos na execução dos bens públicos, mas não existe ainda a devida consciência da importância de manter essas obras em bom estado de funcionamento, não apenas pela importância para a memória coletiva, mas, também, em atenção à relação custo / benefício a que deveríamos estar atentos na hora de conservar as obras edificadas.

Em sociedades mais conscientes, a noção de conservação é hoje uma questão essencial no ambiente construído, conforme destacam Merlin e Choay, urbanistas prestigiados na França contemporânea. Afinal, a ideia de conservação traz implícita a noção de patrimônio, de algo produzido coletivamente, de uma herança recebida e da qual se deve cuidar. Nesse sentido, a ideia de conservação de bens públicos compreende um conjunto de valores por vezes inestimáveis.

Neste texto, são apresentadas algumas ideias e sugestões que podem ajudar a sociedade a melhor cuidar e usufruir dos bens públicos à sua disposição.

Mesmo considerando, conceitualmente, a grande abrangência da ideia de patrimônio público, este trabalho se reporta apenas às obras de engenharia destinadas à infraestrutura rodoviária, como é o caso das pontes e viadutos.

É do conhecimento de todos que a falta de políticas e estratégias voltadas para a conservação dessas obras, (nas esferas federal, estaduais e municipais), está se transformando em um grande problema pelas repercussões negativas desse fato, que vão desde a interferência no funcionamento da cadeia produtiva até o risco à integridade física dos cidadãos. A manutenção, quando ocorre, é apenas corretiva e só é realizada quando a obra está atingindo (ou já atingiu) o seu estado limite de utilização.

É fundamental, portanto, que sejam implantados mecanismos permanentes que viabilizem a manutenção preventiva como uma prática rotineira sistemática. Com isso, seriam evitados os problemas citados e ainda seria minimizado o grande desperdício de recursos gastos em reparos realizados tardiamente que, na maioria das vezes, não conseguem mais estancar o avançado estado de degradação das obras.

#### **2.2.2.1. Panorama das atuais condições de conservação das pontes brasileiras**

Um panorama da situação atual das pontes brasileiras, no que se refere aos danos estruturais, está indicado a seguir com a avaliação das principais manifestações patológicas identificadas em vistorias realizadas pelo autor em 40 pontes de concreto armado, a maioria com mais de 40 anos de construída, em sete rodovias federais brasileiras. A quantidade de pontes inspecionadas por rodovia está indicada na tabela 2.2. Considerando que as 40 obras vistoriadas e analisadas constituem uma amostra típica das pontes existentes nas rodovias brasileiras, no que se refere aos sistemas estruturais, aos materiais empregados, aos vãos e ao período de construção, é possível presumir que as patologias observadas são representativas dos problemas estruturais existentes na grande maioria das pontes antigas brasileiras.

Os principais danos estruturais identificados nas inspeções com as respectivas incidências no conjunto das obras estão indicados nas tabelas 2.3, 2.4, 2.5, e 2.6.

Algumas dessas patologias identificadas estão ilustradas nas figuras 2.1 a 2.11.

Tabela 2.2 – Quantidade de obras inspecionadas por rodovia. (Fonte: VITÓRIO, 2008)

Rodovia	Quantidade de obras inspecionadas
BR-343/PI	03
BR-101/PE	09
BR-101/BA	07
BR-116/CE	02
BR-324/BA	04
BR-428/PE	02
BR-116/BA	13
	40

Tabela 2.3 – Ocorrência de patologias na superestrutura de 40 pontes inspecionadas.  
(Fonte: VITÓRIO, 2008).

<b>Tipo de dano</b>	<b>Quantidade De obras</b>	<b>%</b>
Deslocamento do concreto das vigas principais	31	77,5
Deslocamento do concreto das lajes do tabuleiro	35	87,5
Deslocamento do concreto das transversinas	25	62,5
Fissuras nas vigas principais	21	52,5
Fissuras nas lajes do tabuleiro	15	37,5
Fissuras nas transversinas	10	25,0
Oxidação de armaduras das vigas principais	31	77,5
Oxidação de armaduras das lajes do tabuleiro	25	62,5
Oxidação de armaduras das transversinas	7	17,5
Deformações nas vigas principais	5	12,5
Deformações nas lajes	8	20,0
Fissuras e/ou esmagamento de dente Gerber	1	2,5
Carbonatação	25	62,5
Eflorescências	15	37,5

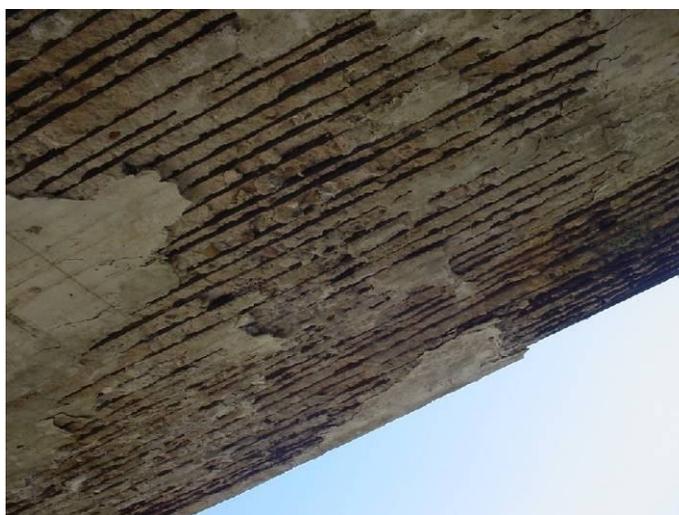


Figura 2.1 – Vista inferior das lajes do tabuleiro, mostrando deslocamento do concreto e corrosão das armaduras. (Fonte: VITÓRIO, 2008).



Figura 2.2 – Detalhe do avançado grau de deterioração do concreto e oxidação das armaduras das vigas principais. (Fonte: VITÓRIO, 2008).



Figura 2.3 – Abertura excessiva da junta do tabuleiro, esmagamento do concreto nos apoios e patologias diversas nas vigas principais. (Fonte: VITÓRIO, 2008).



Figura 2.4 – Abertura excessiva da junta de dilatação do tabuleiro, causando infiltração e desconforto ao tráfego. (Fonte: VITÓRIO, 2008).

Tabela 2.4 – Ocorrência de patologias na mesoestrutura de 40 pontes inspecionadas.  
(Fonte: VITÓRIO, 2008).

<b>Tipo de dano</b>	<b>Quantidade De obras</b>	<b>%</b>
Deslocamento do concreto de pilares e/ou encontros	22	55,0
Lixiviação do concreto de pilares e/ou encontros	15	37,5
Deformações em pilares e/ou encontros	5	12,5
Fissuras em pilares e/ou encontros	25	62,5
Oxidação de armaduras de pilares e/ou encontros	22	55,0
Deformações e/ou travamento de aparelhos de apoio	30	75,0
Carbonatação	10	25,0
Eflorescências	10	25,0
Infiltrações causadas por deficiências de drenagem dos encontros	15	37,5



Figura 2.5 – Fissuras verticais dos dois lados, nas partes onde a ponte foi alargada, e a grande intensidade de lixiviação do concreto. (Fonte: VITÓRIO, 2008).



Figura 2.6 – Destruição do concreto e armaduras além do travamento dos aparelhos de apoio. (Fonte: VITÓRIO, 2008).



Figura 2.7 – Pilar com deslocamento do concreto, corrosão das armaduras e destruição dos estribos na parte inferior. (Fonte: VITÓRIO, 2008).

Tabela 2.5 – Ocorrência de patologias na infraestrutura de 40 pontes inspecionadas. (Fonte: VITÓRIO, 2008).

Tipo de dano	Quantidade de obras	%
Erosão nas fundações de encontros e pilares	18	45,0
Descalçamento das fundações de encontros e pilares	6	15,0
Recalque de fundações de encontros e pilares	5	12,5
Exposição e desconfinamento de estacas	4	10,0
Deterioração do concreto de sapatas, blocos de estacas ou tubulões	10	25,0
Oxidação das armaduras de sapatas, blocos de estacas e cintas	10	25,0
Deterioração de concreto e oxidação de armaduras nos fustes de tubulões	2	5,0
Erosão nos aterros dos encontros	10	25,0

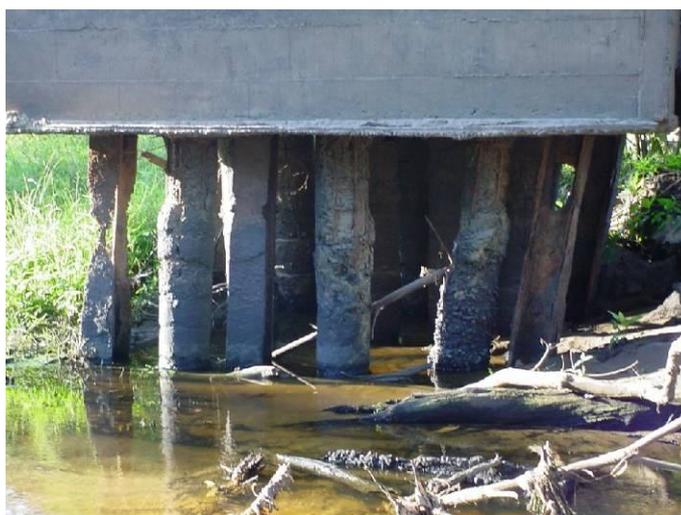


Figura 2.8 – Situação das estacas de fundação da ponte, caracterizando a falta de confinamento lateral. (Fonte: VITÓRIO, 2008).



Figura 2.9 – Retenção de sólidos e ocorrência de erosões e descalçamento das fundações. (Fonte: VITÓRIO, 2008).

Tabela 2.6 – Ocorrência de patologias em componentes diversos de 40 pontes inspecionadas. (Fonte: VITÓRIO, 2008).

Tipo de dano	Quantidade de obras	%
Destruição parcial de guarda-corpos e barreiras	30	75,0
Destruição total de guarda-corpos e barreiras	10	25,0
Deterioração do concreto, fissuras e oxidação de armaduras em guarda-rodas	20	50,0
Obstrução e/ou destruição de buzinetes	35	87,5
Destruição parcial do pavimento sobre a ponte	18	45,0
Deformação dos aterros de acesso	23	57,5



Figura 2.10 – Vista superior mostrando a destruição dos guarda-corpos, empoçamento de água sobre o tabuleiro. (Fonte: VITÓRIO, 2008).



Figura 2.11 – Erosão no aterro de acesso na ligação ponte/rodovia. (Fonte: VITÓRIO, 2008).

### **2.2.3. Inclusão nos projetos de diretrizes de prevenção às patologias estruturais e de aumento da vida útil**

A partir dos conceitos e dos casos reais aqui analisados, fica evidente a necessidade da adoção de diretrizes, em nível de projetos, para a prevenção contra as manifestações patológicas, garantindo assim melhores desempenho e vida útil para as estruturas das pontes rodoviárias.

Deverão ser incluídas providências que, quando adotadas ainda na fase de projeto, reduzirão e até eliminarão, os efeitos deletérios dos agentes que mais danificam as estruturas de pontes por causa das falhas de algum componente estrutural, como é exemplo típico da infiltração de água no tabuleiro, que se dá principalmente por quatro fatores: mau funcionamento das juntas de dilatação, ausência de pingadeiras nas extremidades das lajes, insuficiências dos drenos da superestrutura e porosidade do concreto.

Também se faz necessário adotar concretos com resistência mais elevada e cobrimentos mais adequados para a proteção das armaduras, melhorando o desempenho da estrutura e evitando a corrosão sob a ação da carbonatação e/ou cloretos, conforme a classe de agressividade ambiental do local onde a ponte esteja situada.

Convém lembrar que tais questões tornam-se ainda mais complexas, e também mais relevantes, para o caso de uma ponte antiga, com 30 ou 40 anos de construída, que necessite ter o seu tabuleiro alargado e a sua estrutura reforçada para suportar as novas condições impostas pelo volume de tráfego atual.

### **2.2.4. Segurança estrutural de pontes existentes**

Uma das questões mais importantes, e também mais complexas, é a correta avaliação da capacidade de carga e das condições de estabilidade das pontes existentes.

É possível afirmar, sem maiores investigações, que a capacidade de carga de uma ponte, mesmo que aparentemente não tenha grandes avarias, é alterada com o passar do tempo pela própria utilização, alteração essa que varia mais conforme a agressividade do meio ambiente onde ela esteja implantada.

Os procedimentos mais utilizados para avaliação da capacidade de carga de uma ponte convencional de concreto armado ou protendido são:

- a) Inspeção minuciosa, realizada por engenheiro especialista em estruturas, com enfoque nas fundações e em outras partes vitais para a garantia da estabilidade.
- b) Realização de ensaios para a comparação entre os valores das resistências atuais dos materiais e aquelas para as quais a ponte foi projetada, com ênfase para a influência dos efeitos deletérios das manifestações patológicas instaladas ao longo do tempo na estrutura. Os ensaios imediatos e mais comumente utilizados para avaliar preliminarmente a resistência da estrutura existente das pontes de concreto são os

destrutivos (extração de corpos de provas cilíndricos) e os não destrutivos (esclerometria). Nas figuras 2.12, 2.13 e 2.14 estão ilustradas as realizações desses tipos de ensaios.

- c) Análise estrutural dos esforços solicitantes e das deformações da ponte original, incluindo o estudo da fadiga, os efeitos da fluência do concreto e da relaxação dos aços de protensão ao longo do tempo. A análise, geralmente linear elástica, deve ser realizada com a utilização de softwares de elementos finitos, para a modelagem da estrutura, estabelecendo-se dessa forma, condições de avaliação da capacidade de carga, dos limites da estrutura para o acréscimo dos novos carregamentos e de futuras intervenções de reforço.
- d) Realização de provas de carga estáticas, ou dinâmicas, para aferir na prática qual o limite de resistência da estrutura.

Alguns dos fatores que dificultam uma avaliação consistente da capacidade de carga das pontes existentes é a ausência dos projetos originais e a carência de normas e de literatura especializada sobre este assunto no Brasil, o que leva o engenheiro estrutural a definir diretrizes baseadas nas normas existentes para pontes novas. Isso, muitas vezes, torna bastante conservador o dimensionamento dos reforços de tais obras, por causa das muitas incertezas que ainda existem sobre o tema.

Alguns países dispõem de normas e regulamentos especiais para a avaliação da segurança de pontes existentes, como é o caso da Dinamarca, Canadá, Estados Unidos, Reino Unido e República Tcheca.

Na Europa foram financiados nas três últimas décadas diversos projetos de pesquisa que incluíram nos relatórios finais recomendações para a avaliação da segurança de pontes existentes.

Tais pesquisas, relacionadas à Conservação, Segurança e Gestão de Pontes, financiadas pela Comissão Europeia, recomendam a avaliação estrutural em cinco níveis com complexidade crescente, começando pelo mais simples (nível 1), que usa o modelo das normas de projetos de estruturas, até o mais sofisticado (nível 5) que combina a análise não linear com a análise probabilística.



Figura 2.12 – Extração de corpos de prova cilíndricos de uma estrutura de ponte. (Fonte: DELTACON ENGENHARIA, 2011).



Figura 2.13 – Ensaio de ruptura à compressão axial do corpo de prova. (Fonte: DELTACON ENGENHARIA, 2011).



Figura 2.14 – Ensaio de esclerometria em pilar de ponte. (Fonte: DELTACON ENGENHARIA, 2011).

#### **2.2.4.1. Diretrizes adotadas no Brasil para a avaliação das condições de estabilidade de pontes rodoviárias**

O DNIT (2010) em seu *Manual de Recuperação de Pontes e Viadutos Rodoviários*, afirma que a norma estrutural não deve ser usada diretamente na avaliação de estruturas existentes; para esta avaliação são usadas diretrizes que devem especificar:

- Critérios de avaliação;
- Propriedades estruturais e cargas;
- Avaliação dos resultados da inspeção;
- Análise estrutural;
- Critérios de aceitação.

O mesmo Manual, define que a avaliação da capacidade de carga de uma ponte é baseada em condições estruturais existentes, propriedades dos materiais, cargas e tráfego local. Para conservar a capacidade de carga a ser calculada, a ponte deve ser mantida nas mesmas condições iniciais, comprovadas por inspeções realizadas a intervalos regulares e manutenção constante; qualquer alteração nas condições estruturais, nas propriedades dos materiais, nas cargas solicitantes ou no tráfego local, implica em nova avaliação da capacidade de carga.

#### 2.2.4.2. Método adotado pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT)

A norma DNIT 010/2004-PRO (2004), que fixa os procedimentos para a realização de inspeções em pontes e viadutos de concreto armado e pretendido das rodovias federais do Brasil, estabelece que durante a realização das inspeções devem ser atribuídas aos principais elementos da superestrutura, mesoestrutura e infraestrutura uma nota de avaliação, variável de 1 a 5, a qual refletirá a maior ou menor gravidade dos problemas existentes em cada elemento, de modo a estabelecer uma avaliação preliminar das condições de segurança da ponte. Cada nota é relacionada com a categoria dos problemas existentes no elemento estrutural, conforme a tabela 2.7 a seguir.

A aplicação desta avaliação é uma condição obrigatória nas inspeções voltadas para a elaboração de projetos de recuperação, alargamento ou reforço estrutural das pontes existentes nas rodovias federais do Brasil.

Tabela 2.7 – Correlações entre as notas atribuídas e a categoria dos problemas estruturais detectados nas inspeções de pontes rodoviárias. (Fonte: DNIT, 2004).

NOTA	DANOS NO ELEMENTO / INSUFICIÊNCIA ESTRUTURAL	AÇÃO CORRETIVA	CONDIÇÕES DE ESTABILIDADE	CLASSIFICAÇÃO DAS CONDIÇÕES DA PONTE
	Não há danos nem insuficiência estrutural	Nada a fazer.		
5			Boa	Obra sem problemas
4	Há alguns danos, mas não há sinais de que estejam gerando insuficiência estrutural	Nada a fazer; apenas serviços de manutenção	Boa	Obra sem problemas importantes
3	Há danos gerando alguma insuficiência estrutural, mas não há sinais de comprometimento da estabilidade da obra.	A recuperação da obra pode ser postergada, devendo-se, porém, neste caso, colocar-se o problema em observação sistemática.	Boa aparentemente	Obra potencialmente problemática Recomenda-se acompanhar a evolução dos problemas através das inspeções rotineiras, para detectar, em tempo hábil, um eventual agravamento da insuficiência estrutural.
2	Há danos gerando significativa insuficiência estrutural na ponte, porém não há ainda, aparentemente, um risco tangível de colapso estrutural.	A recuperação (geralmente com reforço estrutural) da obra deve ser feita no curto prazo.	Sofrível	Obra problemática Postergar demais a recuperação da obra pode levá-la a um estado crítico, implicando também sério comprometimento da vida útil da estrutura. Inspeções intermediárias <sup>1</sup> são recomendáveis para monitorar os problemas.
1	Há danos gerando grave insuficiência estrutural na ponte; o elemento em questão encontra-se em estado crítico, havendo um risco tangível de colapso estrutural.	A recuperação (geralmente com reforço estrutural) – ou em alguns casos, substituição da obra – deve ser feita sem tardar.	Precária	Obra crítica Em alguns casos, pode configurar uma situação de emergência, podendo a recuperação da obra ser acompanhada de medidas preventivas especiais, tais como: restrição de carga na ponte, interdição total ou parcial ao tráfego, escoramentos provisórios, instrumentação com leituras contínuas de deslocamentos e deformações, etc.

### 2.2.4.3. Pesquisa realizada sobre as condições de estabilidade de pontes rodoviárias brasileiras

No Brasil ainda não existe a produção de um conhecimento técnico-científico aprofundado sobre a avaliação das condições de estabilidade estrutural das Obras de Arte Especiais existentes, em especial das mais antigas.

De modo geral, tal avaliação, quando necessária, é feita de acordo com as peculiaridades de cada situação que se apresenta e conforme as experiências e conhecimentos dos profissionais especializados em projetos e execução de pontes e viadutos.

Para a elaboração de projetos de recuperação, alargamento e reforço de pontes rodoviárias é de fundamental importância o conhecimento das condições de estabilidade das obras originais, de modo a permitir a melhor escolha possível dentre as premissas e os métodos que serão adotados para garantir as condições de segurança e funcionalidade após as intervenções.

Quando os projetos referem-se a pontes das rodovias federais é obrigatório o preenchimento de fichas de inspeção com a descrição de todos os danos estruturais existentes e a apresentação da avaliação das condições de estabilidade por meio das notas técnicas estabelecidas pela tabela 2.7, conforme a norma DNIT 010/2004-PRO.

Quando se tratam de projetos cujas pontes fazem parte das malhas rodoviárias estaduais e municipais, de modo geral não existem procedimentos diferentes para a realização de inspeções e avaliação, pois a grande maioria dos estados e municípios segue as normas e procedimentos do DNIT.

Buscando obter uma amostra das reais condições do estado de conservação e da avaliação das condições estruturais das pontes típicas que compõem a malha rodoviária federal da região nordeste do Brasil, o autor realizou uma pesquisa com 100 Obras de Arte em oito rodovias utilizando a metodologia do DNIT (2004), cujos resumos dos resultados estão apresentados a seguir.

Tomando como base os dados das fichas de inspeção; os elementos geométricos e estruturais obtidos do levantamento de campo; o mapeamento dos danos existentes; a idade da obra e as condições e intensidade de tráfego, foi possível atribuir a cada ponte uma das notas previstas pela norma DNIT 010/2004-PRO, que fixa os procedimentos para a inspeção de pontes e viadutos de concreto das rodovias federais. A tabela 2.8 mostra a distribuição das pontes inspecionadas por rodovia.

Tabela 2.8 – Quantidade de obras inspecionadas por rodovia. (Fonte: VITÓRIO, 2010)

Rodovia	Quantidade de obras inspecionadas
BR-343/PI	02
BR-402/PI	03
BR-316/PI	05
BR-230/PB	02
BR-408/PE	02
BR-428/PE	30
BR-232/PE	29
BR-116/BA	27
	100

Como os projetos da maioria das obras inspecionadas não mais existem nos arquivos dos órgãos que as construíram décadas atrás, a idade das mesmas foi presumida por meio das dimensões da seção transversal do tabuleiro, considerando a evolução do gabarito transversal de acordo com o período em que a ponte foi projetada e construída. Das 100 pontes avaliadas neste estudo foram obtidos os projetos de apenas 29 delas, as que fazem parte da BR-232/PE, que foram construídas e entraram em operação no ano de 2002.

Outra forma de obter a idade das obras cujos projetos não mais existem, foi buscando informações disponíveis em placas de inauguração, depoimento de moradores das proximidades e observação das tipologias estruturais que caracterizaram as épocas em que foram construídas.

A tabela 2.9 mostra a classificação das 100 obras de acordo com os respectivos períodos em que foram construídas.

Tabela 2.9 – Classificação das obras pelo período de construção. (Fonte: VITÓRIO, 2010)

Período	Quantidade de obras
1940 a 1960	27
1960 a 1975	40
1975 a 1985	2
1985 a 2000	2
2000 em diante	29

O estudo contemplou a classificação das obras conforme a tipologia estrutural do tabuleiro e das fundações, que estão indicadas nas figuras 2.15 e 2.16. Percebe-se que o sistema estrutural predominante é o tabuleiro em vigas de concreto armado (40%) seguido do tabuleiro em laje maciça de concreto armado (29%), que era muito utilizado nas pontes com até 15m de vão. O tabuleiro em concreto protendido (24%) foi observado nas pontes mais recentes. Também foram identificadas 7% de tabuleiros tipo caixão celular.

Nas fundações observou-se uma grande incidência de sapatas de concreto armado para os pilares e de blocos de alvenaria de pedras para os encontros, que também, na grande maioria, foram construídos com esse tipo de material. As fundações em tubulões foram observadas nas pontes maiores. Em nenhuma das pontes inspecionadas foi possível identificar fundações em estacas.

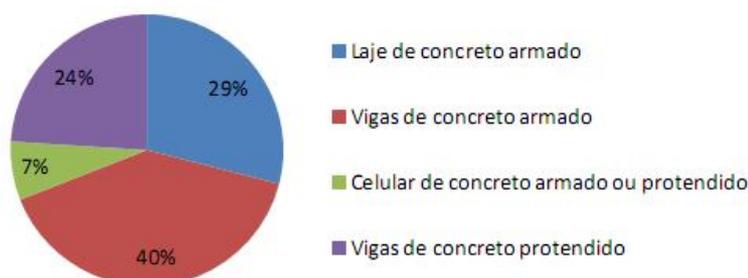


Figura 2.15 – Percentual de obras por tipo de tabuleiro.



Figura 2.16 – Percentual de obras por tipo de fundação. (Fonte: VITÓRIO, 2010)

### Identificação dos principais danos estruturais

Para efetuar a avaliação de cada obra isoladamente, bem como o seu enquadramento nas condições de estabilidade adotadas pelo DNIT (2004), foram analisados detalhadamente os principais danos existentes na estrutura, de modo a classificá-la conforme as notas previstas na

tabela 2.6. A incidência de tais danos no universo das obras pesquisadas está ilustrada na figura 2.17.

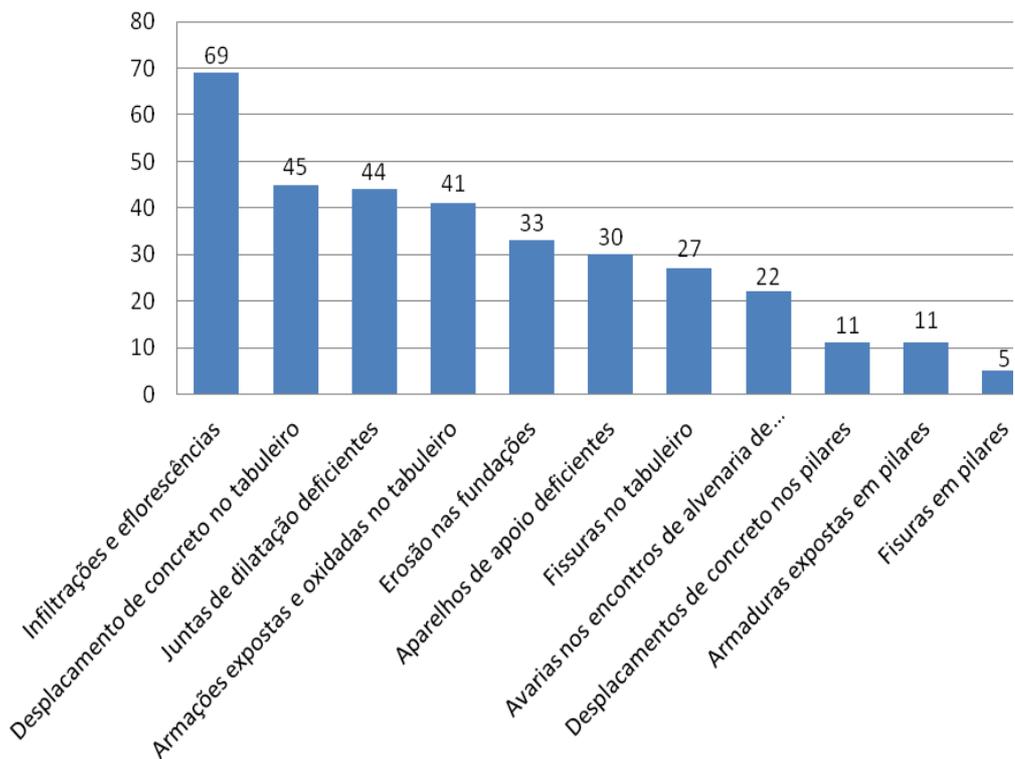


Figura 2.17 – Incidência dos danos estruturais nas 100 pontes pesquisadas. (Fonte: VITÓRIO, 2010)

### Classificação das condições de estabilidade

A quantificação das pontes conforme a classificação das condições de estabilidade estrutural no universo analisado, está indicada na figura 2.18. As condições de estabilidade foram também avaliadas de acordo com o período de construção de cada obra, conforme os dados constantes da tabela 2.10.

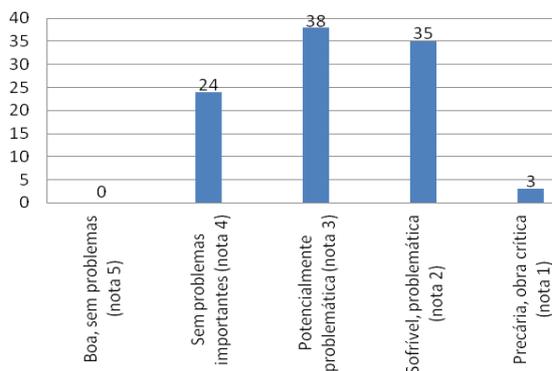


Figura 2.18 – Quantidade de obras segundo as condições de estabilidade estrutural. (Fonte: VITÓRIO, 2010)

Tabela 2.10 – Condições de estabilidade de acordo com o período de construção.  
(Fonte: VITÓRIO, 2010)

Período	Nota (Condição de estabilidade)				
	Nota 5 (Boa)	Nota 4 (Sem problemas importantes)	Nota 3 (Potencialmente problemática)	Nota 2 (Sofrível)	Nota 1 (Precária)
1940 a 1960	-----	-----	8	17	1
1960 a 1975	-----	-----	22	18	2
1975 a 1985	-----	-----	1	-----	-----
1985 a 2000	-----	1	1	-----	-----
2000 em diante	-----	23	6	-----	-----
Total		24	38	35	3

### Conclusões da pesquisa

Pelos resultados obtidos na pesquisa, observa-se que nenhuma das 100 obras analisadas atingiu a pontuação máxima, que corresponde a obra boa, sem problemas. A avaliação predominante foi a de obras potencialmente problemáticas (38%), seguida de obras sofríveis (35%), obras sem problemas importantes (24%) e 3% de obras cujas situações são consideradas críticas, podendo vir a sofrer colapso estrutural.

A pesquisa também mostrou que só obtiveram a nota 4 (sem problemas importantes) as pontes construídas a partir do ano 2000, mesmo assim, seis delas foram enquadradas como potencialmente problemáticas, fato que revela grandes deficiências na conservação, pela pouca idade de tais obras. As pontes sofríveis e críticas estão relacionadas aos períodos cujas construções vão vai até 1975, ou seja, são obras com pelo menos 38 anos de construídas que padecem das manifestações patológicas decorrentes da própria idade, por sua vez agravadas pela precariedade do sistema de conservação das pontes brasileiras, confirmada pela simples leitura dos resultados obtidos das 100 pontes que foram objeto deste estudo que, na realidade significa uma espécie de radiografia do estado em que se encontra a grande maioria das pontes antigas que compõem o sistema rodoviário brasileiro.

#### 2.2.5. Gestão de pontes e viadutos

A garantia de maior vida útil e de satisfatórios desempenhos estrutural e funcional só será obtida através de uma adequada manutenção, que por sua vez deverá fazer parte de um processo mais amplo de gestão, que identifique, através de vistorias periódicas, as avarias existentes, diagnosticando-as e indicando as ações de recuperação.

Um sistema de gestão de pontes representa um instrumento de fundamental importância, pelo fato de permitir decisões rápidas e eficazes baseadas em parâmetros técnicos e científicos voltados para a otimização do funcionamento e dos custos de manutenção desses importantes patrimônios públicos.

Uma gestão de pontes eficaz deve basear-se em um rigoroso cadastro de todas as obras nos trechos de sua jurisdição e num programa de vistorias sistemáticas. Deve, ainda, incluir diversas atividades técnicas, organizacionais e administrativas com o objetivo de instruir e por em prática uma política que contemple a conservação, a recuperação, a ampliação e a substituição de obras.

A eficácia do sistema dependerá da constante interação entre as seguintes atividades:

- desenvolvimento de uma base de dados mais completa possível e facilmente acessível;
- atualização permanente das informações cadastrais;
- utilização dos dados obtidos para identificar os tipos de intervenção por obra, com estimativas de custos;
- qualificação, através de treinamento, de pessoal técnico e administrativo para operar o sistema.

Atualmente é possível o desenvolvimento de sistemas de gestão totalmente informatizados e de fácil manuseio no que se refere à introdução de dados e ao acesso às informações cadastrais. Na figura 2.19 está indicado um modelo típico de um sistema de gestão de pontes.

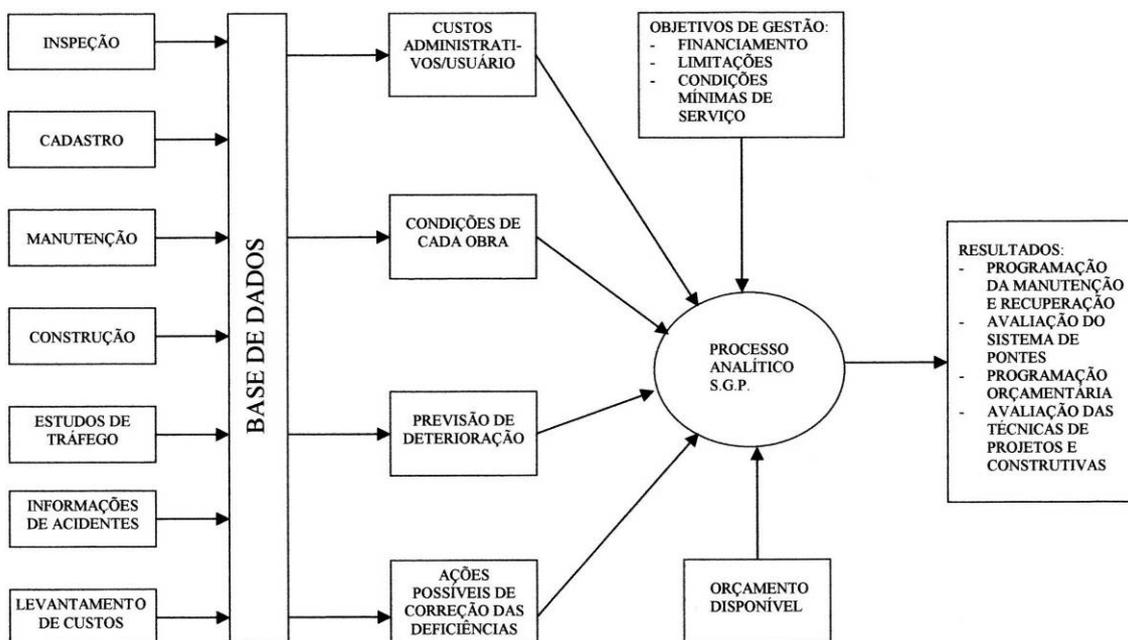


Figura 2.19 - Diagrama de um sistema típico de gestão de pontes.  
(Fonte: ORTEGA,1990).

### 2.2.6. Vistoria de pontes e viadutos

No Brasil as vistorias devem ser feitas conforme a NBR-9452 da ABNT, que dispõe sobre “Vistorias de Pontes e Viadutos de Concreto” e encontra-se atualmente em revisão.

A NBR-9452 considera os seguintes tipos de vistoria:

#### a) Vistoria Cadastral

Trata-se de uma vistoria de referência quando são anotados os primeiros elementos relacionados à segurança e durabilidade da obra. Esse tipo de vistoria é complementada com o levantamento dos principais documentos e informações construtivas da obra vistoriada;

#### b) Vistoria Rotineira

É uma vistoria destinada a manter atualizado o cadastro da obra, devendo ser realizada a intervalos de tempo não superiores a um ano. Esta vistoria também pode ser motivada por ocorrências excepcionais;

#### c) Vistoria Especial

Vistoria pormenorizada da obra, visual e / ou instrumental, realizada por engenheiro especialista, com a finalidade de interpretar e avaliar ocorrências danosas detectadas pela vistoria rotineira.

A tabela 2.11 mostra um modelo de ficha de inspeção proposta pelo autor para a realização de Vistoria Cadastral.

Tabela 2.11 – Modelo de Ficha de Inspeção para vistoria de pontes. (Fonte: VITÓRIO, 2008)

<b>1. IDENTIFICAÇÃO DA OBRA:</b>	
1.1. Rodovia:	
1.2. Trecho:	
1.3. Sub-trecho:	
1.4. Quilometro:	
1.5. Jurisdição:	
1.6. Denominação:	
1.7. Data da Inspeção:	
1.8. Engenheiro responsável pela inspeção:	
<b>2. INFORMAÇÕES GERAIS:</b>	
2.1. Projetista:	
2.2. Construtora:	
2.3. Data da conclusão da Obra:	
2.4. Trem-tipo Classe:	
<b>3. CARACTERÍSTICAS DA OBRA:</b>	
3.1. Traçado em planta:	<input type="checkbox"/> tangente <input type="checkbox"/> curva
3.2. Traçado em relação ao obstáculo:	<input type="checkbox"/> normal <input type="checkbox"/> esconsa, aproximadamente [ ]°
3.3. Inclinação longitudinal:	<input type="checkbox"/> nível <input type="checkbox"/> rampa
3.4. Inclinação transversal:	<input type="checkbox"/> nível <input type="checkbox"/> inclinada para os dois bordos da pista <input type="checkbox"/> superelevação
3.5. Comprimento total (m):	
3.6. Largura total do tabuleiro:	
3.7. N° de vãos/comprimentos:	
3.8. N° de balanços:	
3.9. N° de faixas de rolamento:	
3.10. Altura máxima dos pilares ou encontros (m):	
3.11. Largura dos acostamentos (m):	<input type="checkbox"/> não existem <input type="checkbox"/> lado direito <input type="checkbox"/> lado esquerdo
3.12. Quantidade de passeios:	<input type="checkbox"/> não existem <input type="checkbox"/> lado direito <input type="checkbox"/> lado esquerdo
3.13. Largura dos passeios (m):	
3.14. Tipo de obstáculos a vencer:	<input type="checkbox"/> rio <input type="checkbox"/> lago <input type="checkbox"/> várzea <input type="checkbox"/> estrada de ferro <input type="checkbox"/> rodovia <input type="checkbox"/> bacia <input type="checkbox"/> vias marginais
<b>4. SUPERESTRUTURA</b>	
4.1. Material:	<input type="checkbox"/> concreto armado <input type="checkbox"/> concreto protendido <input type="checkbox"/> aço <input type="checkbox"/> madeira
4.2. Sistema estrutural	<input type="checkbox"/> vigas retas <input type="checkbox"/> vigas com inércia variável <input type="checkbox"/> laje <input type="checkbox"/> greiha <input type="checkbox"/> caixão celular <input type="checkbox"/> outro
4.3. Quantidade de transversinas:	<input type="checkbox"/> nos apoios <input type="checkbox"/> intermediárias
4.4. Fissuras:	<input type="checkbox"/> sim <input type="checkbox"/> não
4.5. Deformações:	<input type="checkbox"/> sim <input type="checkbox"/> não
4.6. Falhas de concretagem:	<input type="checkbox"/> sim <input type="checkbox"/> não
4.7. Exposição de armaduras:	<input type="checkbox"/> sim <input type="checkbox"/> não
4.8. Deterioração do concreto:	<input type="checkbox"/> sim <input type="checkbox"/> não
<b>5. MESOESTRUTURA</b>	
5.1. Encontros:	<input type="checkbox"/> concreto armado <input type="checkbox"/> concreto ciclópico <input type="checkbox"/> alvenaria de pedras <input type="checkbox"/> extremidades em balanço <input type="checkbox"/> outros
5.2. Drenagem dos encontros	<input type="checkbox"/> barbacans <input type="checkbox"/> drenos <input type="checkbox"/> outro <input type="checkbox"/> não existe
5.3. Avarias nos encontros:	<input type="checkbox"/> fissuras <input type="checkbox"/> abatimentos <input type="checkbox"/> exposição de armaduras <input type="checkbox"/> erosão <input type="checkbox"/> outros
5.4. Pilares:	<input type="checkbox"/> pilar-parede <input type="checkbox"/> pórtico <input type="checkbox"/> rotulado <input type="checkbox"/> outros
5.5. Geometria dos pilares:	<input type="checkbox"/> circular <input type="checkbox"/> retangular <input type="checkbox"/> poligonal <input type="checkbox"/> outra
5.6. Seção transversal dos pilares:	<input type="checkbox"/> cheia <input type="checkbox"/> oca
5.7. Material dos pilares	<input type="checkbox"/> concreto armado <input type="checkbox"/> concreto protendido <input type="checkbox"/> alvenaria de pedras <input type="checkbox"/> concreto ciclópico <input type="checkbox"/> outro
<b>6. INFRAESTRUTURA</b>	
6.1. Fundações	<input type="checkbox"/> sapatas isoladas <input type="checkbox"/> blocos de concreto ciclópico <input type="checkbox"/> estacas de concreto <input type="checkbox"/> estacas metálicas <input type="checkbox"/> tubulões <input type="checkbox"/> outros
6.2. Condições atuais:	<input type="checkbox"/> totalmente enterrada <input type="checkbox"/> parcialmente enterrada <input type="checkbox"/> totalmente exposta <input type="checkbox"/> submersa
6.3. Anomalias identificadas:	<input type="checkbox"/> fissuras <input type="checkbox"/> deformações <input type="checkbox"/> exposição de armaduras <input type="checkbox"/> lixiviação <input type="checkbox"/> recalques <input type="checkbox"/> erosão
<b>7. APARELHOS DE APOIO</b>	
7.1. Tipos:	<input type="checkbox"/> placas de chumbo <input type="checkbox"/> rótula metálica <input type="checkbox"/> rótula de concreto <input type="checkbox"/> Neoprene <input type="checkbox"/> pêndulo <input type="checkbox"/> outro <input type="checkbox"/> não existe
<b>8. ELEMENTOS COMPLEMENTARES</b>	
8.1. Pavimento	<input type="checkbox"/> asfalto <input type="checkbox"/> concreto <input type="checkbox"/> outro <input type="checkbox"/> não existe
8.2. Guarda-rodas	<input type="checkbox"/> barreira de concreto <input type="checkbox"/> guarda-rodas nos passeios <input type="checkbox"/> outro
8.3. Drenagem do tabuleiro	<input type="checkbox"/> existe <input type="checkbox"/> não existe
8.4. Tipo de drenagem	<input type="checkbox"/> barbacans <input type="checkbox"/> outros
8.5. Pingadeiras	<input type="checkbox"/> existe <input type="checkbox"/> não existe
8.6. Juntas de dilatação	<input type="checkbox"/> existe <input type="checkbox"/> não existe
8.7. Lajes de aproximação	<input type="checkbox"/> existe <input type="checkbox"/> não existe
8.8. Guarda-corpo	<input type="checkbox"/> concreto <input type="checkbox"/> metálico <input type="checkbox"/> outro
8.9. Situação do guarda-corpo	<input type="checkbox"/> bom estado <input type="checkbox"/> deteriorado <input type="checkbox"/> danificado <input type="checkbox"/> parcialmente destruído <input type="checkbox"/> totalmente destruído
8.10. Aterro das cabeceiras	<input type="checkbox"/> íntegros <input type="checkbox"/> pequena erosão <input type="checkbox"/> grande erosão <input type="checkbox"/> protegidos <input type="checkbox"/> não protegidos
8.11. Proteção dos aterros	<input type="checkbox"/> alas <input type="checkbox"/> gabiões <input type="checkbox"/> terra armada <input type="checkbox"/> outros

## **2.3. Recuperação, reforço e alargamento de pontes e viadutos**

### **2.3.1. Recuperação estrutural**

O processo de recuperação estrutural de uma ponte de concreto depende de cada situação específica, mas geralmente é feito de acordo com os procedimentos usualmente adotados para as obras de concreto armado e protendido.

A seguir, está indicado, de forma sumária, um procedimento típico utilizado para a recuperação de pontes antigas de concreto armado, cujas patologias são oriundas da ação do tempo e da falta de manutenção.

#### **Recuperação das lajes**

Apicoamento manual das superfícies lateral e inferior das lajes. Remover as partes de concreto desagregado;

Jateamento d'água sobre pressão para limpeza da superfície de concreto apicoada;

Colocação das armaduras adicionais indicadas no desenho correspondente;

Aplicação de concreto projetado.

#### **Recuperação das vigas principais e transversinas**

Demolição do concreto do fundo das vigas na espessura de 5cm, até descobrir a 1ª camada de ferros da armação positiva;

Jateamento d'água sob pressão nas superfícies a recuperar;

Execução do concreto projetado.

#### **Recuperação dos pilares**

Demolição do concreto nos trechos de armaduras expostas na espessura de 5cm, até descobrir as barras da armação longitudinal;

Jateamento d'água sob pressão nas superfícies a recuperar;

Colocação das armaduras adicionais indicadas no desenho correspondente;

Aplicação de concreto projetado.

#### **Recuperação das armaduras oxidadas**

Apicoamento da superfície e remoção do concreto deteriorado em torno das armaduras;

Lixamento ou escovamento para remoção dos produtos de corrosão incrustados nas armaduras;

Adição de armaduras complementares quando a redução da seção for maior que 10%;

Aplicação de primer rico em zinco sobre as armaduras nos trechos de reparos;

#### **Recuperação das fissuras e trincas**

Demolição do concreto no trecho ao longo da fissura ou trinca;

Limpeza com jato de água do concreto remanescente e das armaduras na região do reparo;

Aplicação de adesivo epóxi de pega lenta Nitbond EPPL ou similar para aderência entre concreto velho e novo;

Aplicação de argamassa polimérica à base de cimento;

Efetuar reforço conforme os detalhes, procedimentos e especificações nos desenhos correspondentes.

### **3. REFORÇO ESTRUTURAL**

Sempre que há a necessidade de aumentar a capacidade de carga de uma ponte ou viaduto realiza-se um reforço estrutural.

O aumento da capacidade de carga pode ser motivado por diversas causas, sendo uma das mais frequentes a necessidade da adequação das pontes antigas às cargas móveis atuais, com ou sem o alargamento do tabuleiro.

Outros fatores determinantes para a realização de reforço estrutural são as intensidades das manifestações patológicas instaladas, a ocorrência de erosões ao longo do tempo nas fundações, avarias causadas pela ação das cheias nos rios, o choque de embarcações ou de veículos e a detecção de resistência insuficiente em determinados elementos estruturais.

O trânsito dos veículos cujas cargas estejam acima daquelas para as quais a ponte foi projetada, também provoca danos que muitas vezes implicam na necessidade de reforço da estrutura.

#### **3.1. Reforço do tabuleiro**

O tabuleiro de uma ponte também conhecido na literatura por superestrutura, é constituído, no caso das pontes rodoviárias típicas, por vigas longitudinais (longarinas), vigas transversais (transversinas) e lajes.

Existem determinadas pontes, geralmente de pequenos vãos cujos tabuleiros são constituídos apenas por lajes.

No Brasil são usualmente adotados dois tipos de reforço para os tabuleiros de pontes antigas. O primeiro método utiliza concreto armado convencional e concreto projetado para reforçar as longarinas, transversinas e lajes com o aumento das seções transversais desses elementos e com a incorporação de novas armaduras passivas.

O segundo método utiliza a protensão longitudinal externa para o reforço das longarinas e, algumas vezes, a protensão transversal para o reforço da laje do tabuleiro.

Evidentemente, também podem ser adotados outras concepções de reforço, mas os dois métodos citados ainda continuam sendo os mais utilizados no país.

#### **Reforço do tabuleiro com a utilização de concreto convencional**

Considerando que a grande maioria dos reforços realizados nas pontes rodoviárias é motivada pela necessidade do alargamento do tabuleiro para atender aos novos gabaritos das rodovias e também para atender às exigências das normas atuais quanto à atualização das cargas móveis transmitidas pelos veículos, estão ilustrados a seguir alguns casos de reforço estrutural com alargamento do tabuleiro com esse método construtivo.

A figura 3.1 mostra a seção transversal de uma ponte que foi reforçada, alargada e atualizada para as cargas móveis do trem-tipo Classe 450KN (as cargas originais eram da Classe 360KN).

Nesse caso, observa-se que as antigas longarinas necessitaram de acréscimo das armaduras de flexão, que foram distribuídas em um talão na parte inferior. Também foram adicionadas novas armaduras de cisalhamento (estribos) conforme a figura 3.2. A figura 3.3 mostra a fase de colocação das armaduras de reforço.

Nas figuras 3.4 a 3.8 estão ilustradas as etapas do reforço do tabuleiro de outra ponte na qual não houve a necessidade de alargamento.





Figura 3.4 - Posicionamento dos ferros longitudinais, estribos e armadura de pele de reforço das vigas principais. (Fonte: VITÓRIO, 2007)



Figura 3.5 - Posicionamento da forma para a concretagem convencional do talão de reforço da viga principal. (Fonte: VITÓRIO, 2007)



Figura 3.6 - Talão de reforço após a concretagem. (Fonte: VITÓRIO, 2007)



Figura 3.7 - Aplicação de concreto projetado na face lateral da viga principal. (Fonte: VITÓRIO, 2007)



Figura 3.8 - Vista superior do lastro, mostrando a concretagem convencional da sobrelaje as armaduras transversais das vigas. (Fonte: VITÓRIO, 2007)

A figura 3.9 mostra a seção transversal de uma ponte cujo tabuleiro original com duas longarinas, foi alargado para 12,80m com a adição de duas novas vigas de concreto armado convencional, de modo que a nova superestrutura ficou constituída por uma grelha de quatro vigas. Mesmo com o novo cálculo para o Trem-tipo Classe 450KN (na ponte antiga o Trem-tipo era Classe 360KN), as duas vigas antigas não tiveram acréscimo nos esforços, devido ao efeito de grelha e por isso não necessitaram ser reforçadas. Os pilares existentes necessitaram ser recuperados por causa das patologias instaladas e receberam consoles de concreto para a realização da troca dos aparelhos de apoio, que também estavam deteriorados.

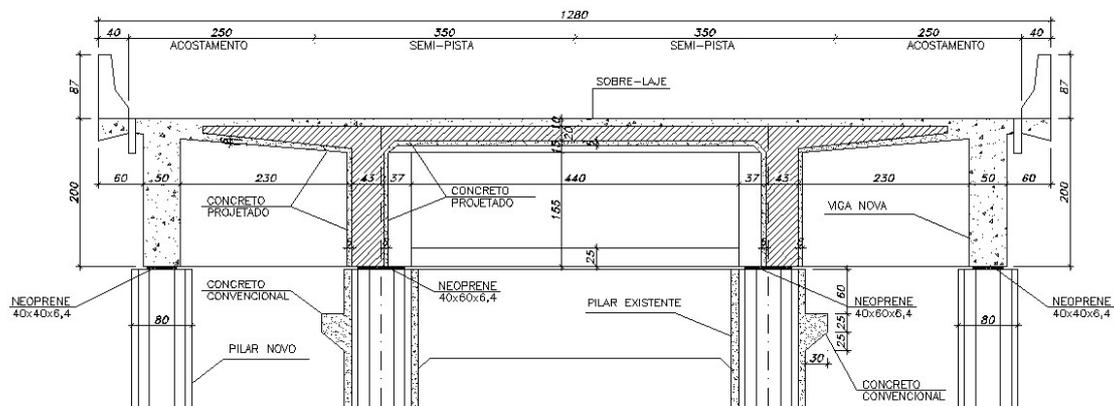


Figura 3.9 – Seção transversal do alargamento de uma ponte com a adição de novas vigas e pilares de concreto armado sem necessidade de reforço das vigas antigas. (Fonte: VITÓRIO, 2013)

### Reforço do tabuleiro com a utilização de protensão externa

A utilização de protensão externa para reforço de pontes danificadas, ou que necessitam ter a capacidade de carga ampliada, é praticada há algumas décadas porém, quando se procura aprofundar esse tema por meio do acesso a estudos publicados e à literatura técnica especializada no Brasil, percebe-se que existe uma grande lacuna quanto ao conhecimento disponível.

Esse método de reforço é bastante apropriado para a adequação da capacidade de carga das pontes antigas que necessitam ser reforçadas para atender aos esforços provenientes da nova distribuição das cargas móveis nos tabuleiros alargados.

É possível afirmar de imediato que a protensão externa melhora o desempenho estrutural das pontes antigas, aumenta a capacidade de carga das longarinas (casos de protensão longitudinal) e da laje do tabuleiro (casos de protensão transversal). O efeito da protensão ainda aumenta a rigidez da estrutura, diminui significativamente a fissuração e melhora a resistência ao cisalhamento.

Outra das principais vantagens é a aplicação em vigas e lajes carregadas e deformadas, sem a necessidade de ter que descarregar tais peças nem eliminar antecipadamente as deformações, pois a recuperação das condições iniciais se dará por meio da aplicação das forças de protensão nos cabos colocados externamente e sem aderência ao longo das peças, e nelas fixados por meio de dispositivos conhecidos com desviadores, conforme a figura 3.10 que ilustra a utilização da protensão externa não aderente no reforço de uma viga de ponte.

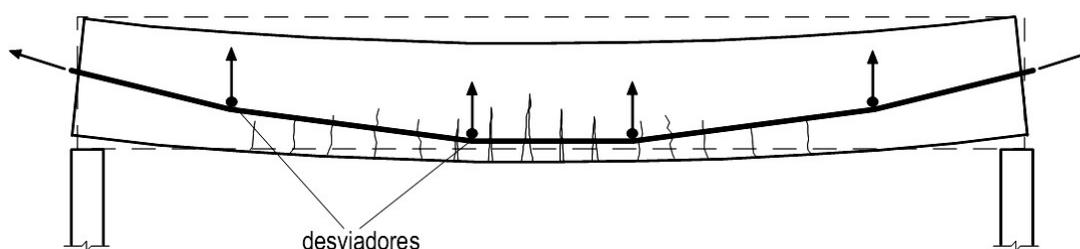


Figura 3.10 – Protensão externa sem aderência para reforço de vigas de pontes. (Fonte: VERÍSSIMO, 1988).

Como os demais sistemas construtivos, tem também as suas desvantagens de modo que a utilização precisa ser muito bem avaliada pelo projetista estrutural, em especial quanto à grande dificuldade de execução em determinados tipos de ponte.

Uma dificuldade a ser vencida na fase de projeto é a correta avaliação da força de protensão que deve ser aplicada para garantir o reforço da ponte, considerando que as obras antigas foram executadas com um concreto de resistência à compressão bastante inferior à utilizada pelas estruturas atuais e que os limites das tensões de compressão no concreto precisam ser atendidos para não provocar a ruptura durante a operação de protensão, situação que se torna ainda mais delicada quando o concreto encontra-se muito deteriorado. Outra dificuldade a ser vencida é a maior vulnerabilidade à corrosão das cordoalhas externas, especialmente nos dispositivos de ancoragens, o que implica na necessidade de uma eficiente proteção, com especial atenção quando a ponte estiver localizada em um meio de forte agressividade ambiental.

A protensão pode ser efetuada em três modalidades: total, limitada e parcial.

A protensão total caracteriza-se por não ter tensões de tração no concreto para as combinações desfavoráveis das cargas em serviço.

Na protensão limitada existem tensões de compressão mais moderadas no concreto e são admitidas tensões de tração limitadas.

Na protensão parcial adotam-se tensões de compressão ainda menos intensas do que na modalidade limitada, de modo que as tensões de tração no concreto para as combinações desfavoráveis das cargas são bem mais elevadas.

De modo geral, recomenda-se que para o projeto de pontes seja adotada a protensão limitada, pelo fato de possibilitar soluções mais econômicas.

No caso de reforço e alargamento de pontes, a aplicação da protensão tem diversas peculiaridades que a diferenciam da protensão tradicional utilizada nas novas estruturas e que, por isso, necessitam ser avaliadas.

O sistema mais usualmente empregado para o reforço de vigas de pontes convencionais de concreto armado é o que utiliza monocordoalhas de aço para concreto protendido, agrupadas em feixes rentes às faces laterais das vigas e fixadas à estrutura por meio de dispositivos de aço especial, fabricados para cada caso específico. Tais dispositivos, denominados desviadores, são geralmente fixados à estrutura por meio de barras rígidas do tipo Dywidag protendidas transversalmente à longarina.

A figura 3.11 mostra a metade de um corte longitudinal de uma ponte cujas vigas foram reforçadas por esse sistema para suportar o acréscimo de cargas devido ao alargamento do tabuleiro. Nesse caso foi utilizado um feixe com 18 cordoalhas de 12.7mm de Aço CP-190RB de cada face lateral da viga. A força de protensão aplicada em cada cordoalha foi de 135kN, totalizando uma força total de protensão de 4.860kN em cada viga.

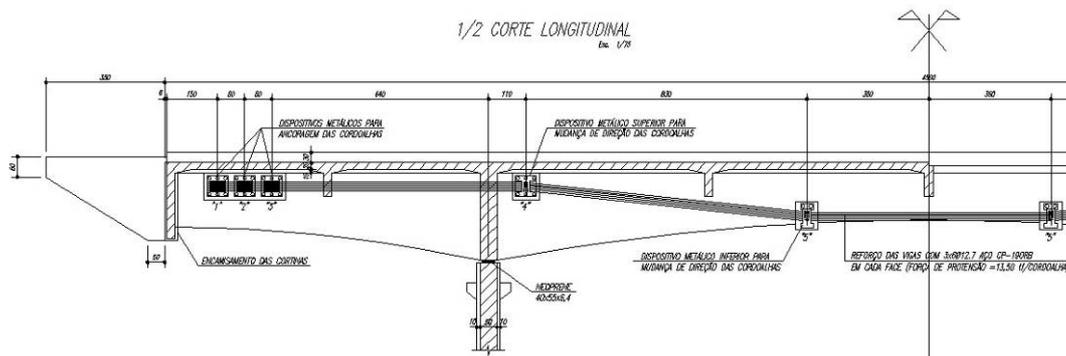


Figura 3.11 – Reforço das vigas de uma ponte com feixe de monocordoalhas fixadas por dispositivos metálicos. (Fonte: VITÓRIO, 2013)

Nas figuras 3.12 a 3.15 são mostrados alguns detalhes da fixação dos desviadores metálicos e dos feixes de monocordoalhas no reforço de uma ponte rodoviária. Na figura 3.16 a operação de protensão já se encontra encerrada e tanto as cordoalhas como os dispositivos já estão devidamente protegidos com concreto, para evitar os efeitos deletérios da agressividade ambiental.



Figura 3.12 – Dispositivos metálicos utilizados para a ancoragem das cordoalhas nas extremidades da viga. (Fonte: VITÓRIO, 2013)



Figura 3.13 – Detalhe de um desviador metálico das cordoalhas na parte inferior da viga (no vão). (Fonte: VITÓRIO, 2013)



Figura 3.14 – Detalhe de um desviador metálico das cordoalhas na parte superior da viga (no apoio). (Fonte: VITÓRIO, 2013)



Figura 3.15 – Aplicação da protensão em cada cordoalha. (Fonte: VITÓRIO, 2013)

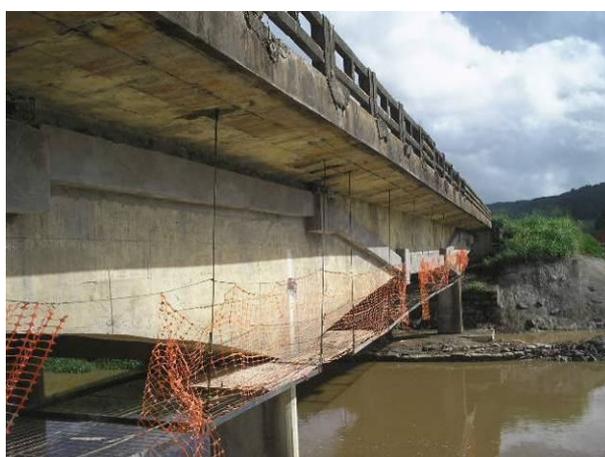


Figura 3.16 – Conclusão da protensão de reforço e envolvimento das cordoalhas e desviadores metálicos com concreto para evitar a corrosão. (Fonte: VITÓRIO, 2013)

### **Protensão transversal na laje do tabuleiro**

Quando em um projeto de alargamento de ponte se faz a opção pelo reforço das vigas com protensão externa, sem a adição de novas vigas ao tabuleiro, torna-se necessário aumentar as dimensões das lajes, adequando-as à nova largura da ponte, o que acarreta um significativo acréscimo no comprimento dos dois balanços laterais. Tal acréscimo conduz a grandes deformações, caso o novo balanço seja dimensionado pelos métodos do concreto armado convencional.

A situação torna-se ainda mais crítica pelo fato de o balanço representar a situação mais desfavorável para a nova distribuição das cargas móveis no tabuleiro alargado, chegando a haver situações em que todo o veículo fica contido no trecho do balanço, como é o caso da ponte cuja seção transversal alargada está na figura 3.17. Observa-se que os balanços da laje original tinham 1,65m e com o acréscimo de 2,10m do alargamento em cada lado passaram a ter 3,75m, o que representa um significativo aumento desses balanços, cujas limitações das deformações só serão possíveis com a utilização da protensão transversal.

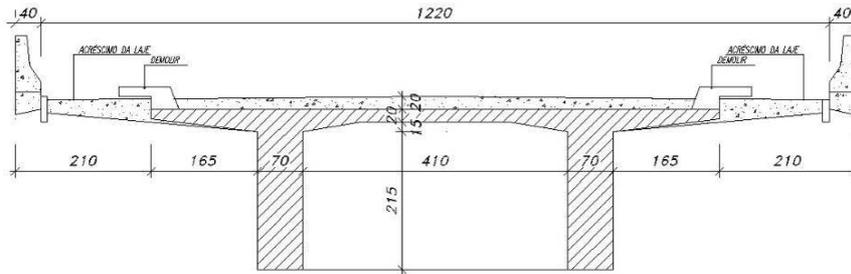


Figura 3.17 – Grande acréscimo nos comprimentos dos balanços transversais da laje do tabuleiro, causado pelo alargamento da ponte. (Fonte: VITÓRIO, 2013)

Nesse caso, a protensão transversal da laje é feita por meio de cabos constituídos por uma ou duas cordoalhas, envolvidas em bainhas metálicas chatas, espaçadas conforme o dimensionamento das armaduras ativas. Para essa situação a protensão é aderente porque após a sua aplicação é feita injeção de nata de cimento nas bainhas com a utilização de purgadores.

O dimensionamento da protensão é feito por metro linear de laje, sendo também utilizadas armaduras passivas para complementar a ligação entre o concreto novo e o concreto antigo.

A figura 3.18 mostra o posicionamento e a especificação da armadura de protensão transversal para o alargamento da laje. Na figura 3.19 estão indicados os detalhes dos nichos de ancoragem dos cabos.



Figura 3.18 – Posicionamento e especificação da armadura transversal de protensão para o alargamento e reforço da laje do tabuleiro. (Fonte: VITÓRIO, 2013)

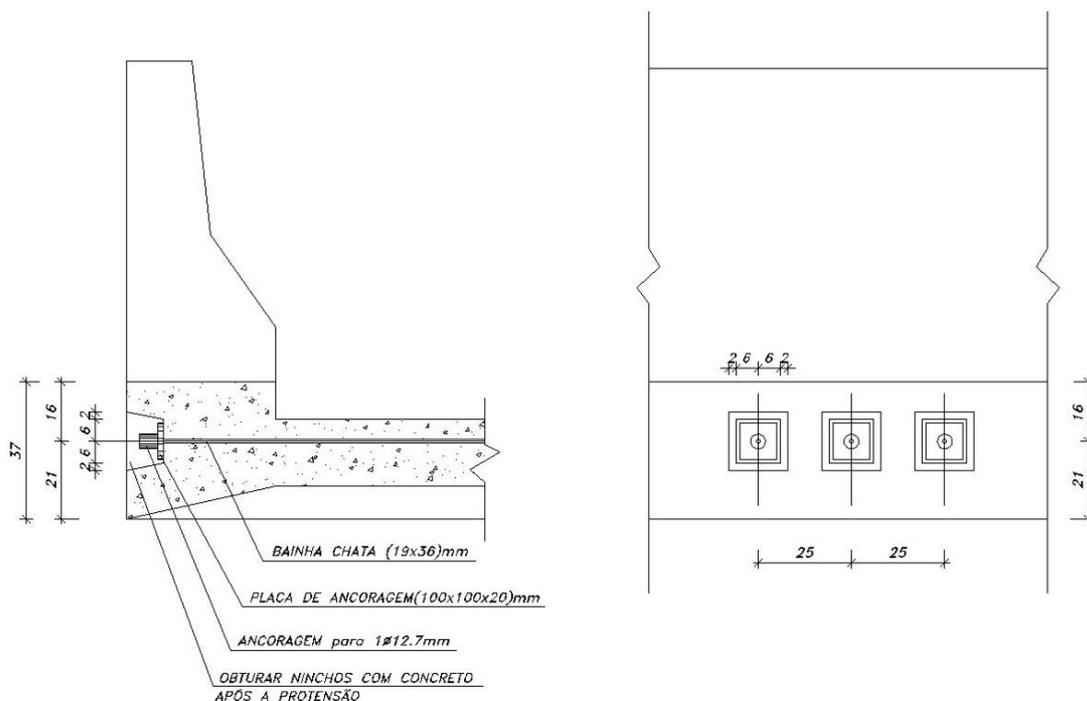


Figura 3.19 – Detalhe dos nichos de ancoragem dos cabos de protensão nas extremidades da laje alargada. (Fonte: VITÓRIO, 2013)

### **3.2. Reforço da fundação e mesoestrutura**

Reforçar as fundações de uma ponte existente significa uma atividade bastante complexa, pelo fato de envolver uma série de incertezas quanto à real capacidade de carga de tais estruturas, muitas vezes dimensionadas há várias décadas, com a utilização de normas já ultrapassadas e ainda calculadas para suportar carregamentos atualmente defasados. A tais problemas ainda devem ser acrescentados o desconhecimento sobre o projeto original e as dificuldades para a realização de inspeções e ensaios sobre a resistência de materiais enterrados e/ou submersos.

Neste texto são apresentadas algumas soluções adotadas pelo autor em projetos de reforço de fundações de pontes e viadutos cujas capacidades de carga necessitaram ser ampliadas por diversos motivos, entre eles o alargamento do tabuleiro original, a adequação às cargas móveis exigidas pelas normas atuais e erosões nos leitos dos rios. Também houve casos de obras novas cujas fundações necessitaram ser reforçadas ainda na fase de construção por causa da não conformidade da resistência à compressão do concreto. Também é mostrada uma situação de reforço motivada por falhas nas sondagens geotécnicas realizadas.

A seguir são ilustrados alguns exemplos de pontes que tiveram as fundações reforçadas pelos motivos acima relacionados.

#### **Reforço causado pelo alargamento do tabuleiro original**

Nas figuras 3.20, 3.21, 3.22 e 3.23 são mostradas duas situações de pontes que tiveram as fundações e os pilares reforçados com a adição de novas estacas para atender ao acréscimo de esforços causado pelo alargamento do tabuleiro e a ampliação dos valores das cargas móveis.

A primeira situação mostra uma ponte cujas fundações originais eram em tubulões, mas que devido ao acréscimo de cargas causado pelo alargamento do tabuleiro necessitou de fundações adicionais para os novos pilares, tendo sido feita a opção por estacas raiz.

Na segunda situação, a ponte original tinha fundações em estacas de concreto às quais foram acrescentadas estacas raiz para as fundações dos novos pilares e da ampliação dos encontros existentes.

Nesses tipos de reforço são usualmente utilizadas estacas raiz pela grande facilidade de execução e da boa mobilidade dos equipamentos de cravação sob a estrutura da ponte, condições difíceis de conseguir com outro tipos de estacas que necessitam de grandes equipamentos que às vezes nem cabem sob o tabuleiro.

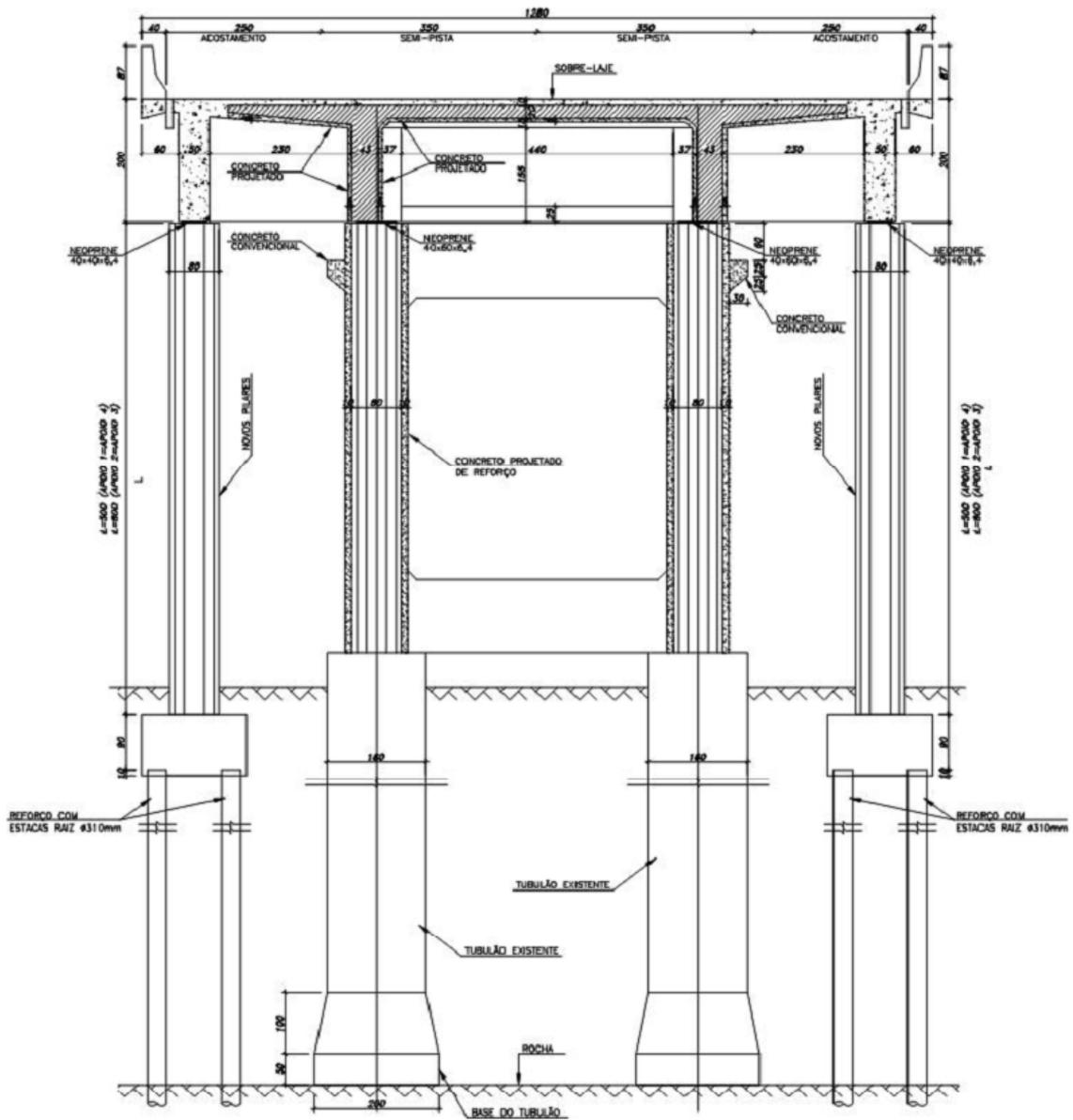


Figura 3.20 - Seção transversal após alargamento, mostrando o reforço das fundações originais em tubulões com a adição de estacas raiz. (Fonte: VITÓRIO, 2013)

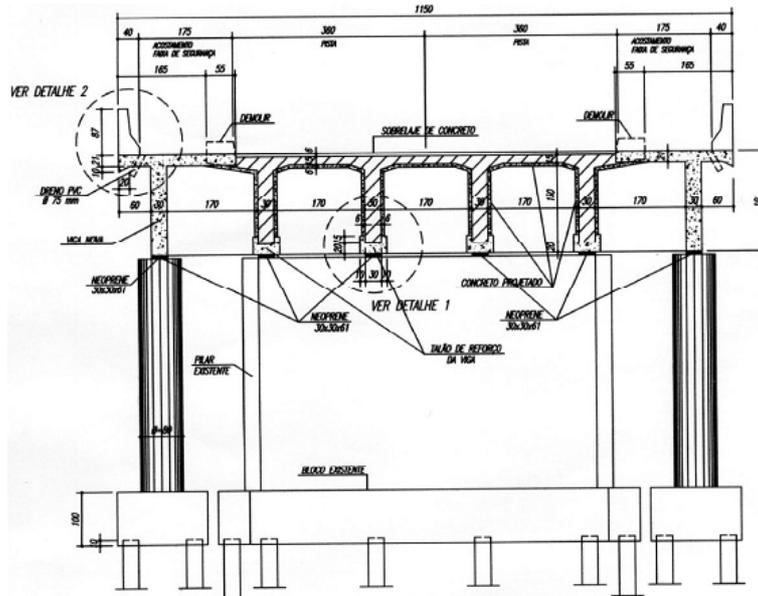


Figura 3.21 - Reforço para alargamento com a adição de estacas raiz. (Fonte: VITÓRIO, 2014)



Figura 3.22 - Execução de estacas raiz para reforço dos encontros. (Fonte: VITÓRIO, 2014)



Figura 3.23 - Blocos e pilares adicionados ao apoio central durante a concretagem. (Fonte: VITÓRIO, 2014)



Figura 3.24 - Fundações existentes e fundações adicionais do apoio central. (Fonte: VITÓRIO, 2014)

### **Reforços causados pela ocorrência de erosão**

Sabe-se que um dos fatores que mais influenciam o aparecimento de graves problemas em fundações de pontes é a erosão (ou solapamento) ao longo tempo, sendo esse fenômeno responsável por significativa quantidade de acidentes com tais tipos de obras em todo o mundo.

Um exemplo desse tipo de reforço está ilustrado nas figuras 3.25 a 3.29, as quais mostram o caso de uma ponte cujas fundações em estacas ficaram desconfinadas por causa do rebaixamento do leito do rio ao longo do tempo. Isso causou uma grande perda da capacidade de carga do estaqueamento, pondo em risco a estabilidade da obra.

A solução adotada para o reforço foi a cravação de novas estacas, com o envolvimento dos blocos originais por outro bloco, solidarizando-os por meio de protensão com barras rígidas Dywidag.



Figura 3.25 - Estacas expostas e desconfinadas por causa do rebaixamento do leito do rio. (Fonte: VITÓRIO e BARROS, 2012)



Figura 3.26 - Detalhe da deterioração e perda de seção transversal das estacas.  
(Fonte: VITÓRIO e BARROS, 2012)

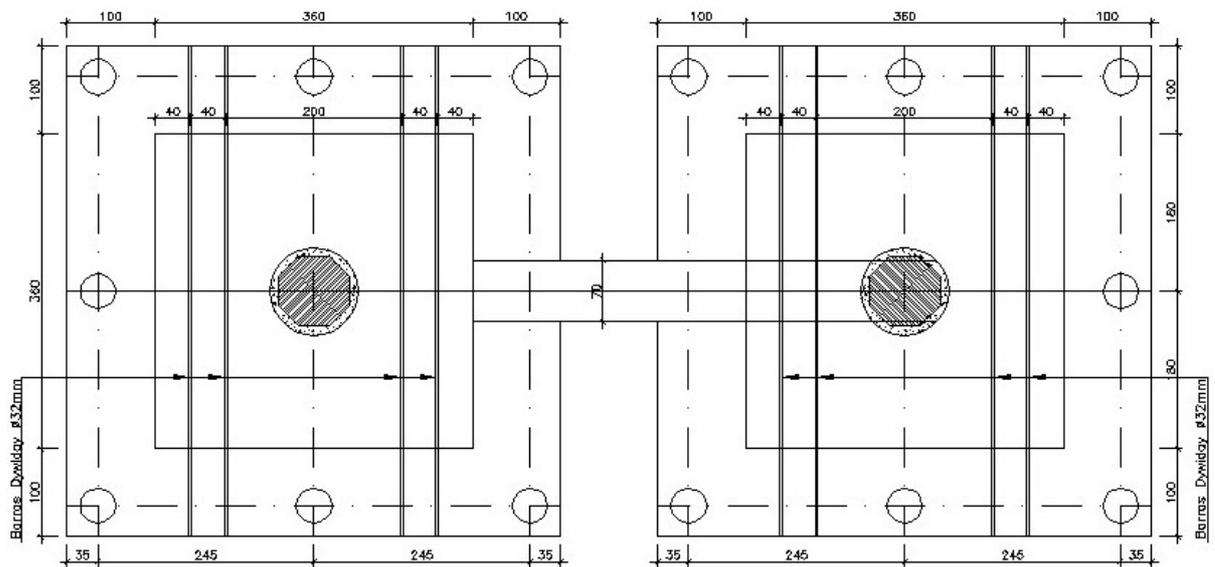


Figura 3.27 - Configuração do reforço do estaqueamento. (Fonte: VITÓRIO e BARROS, 2012)

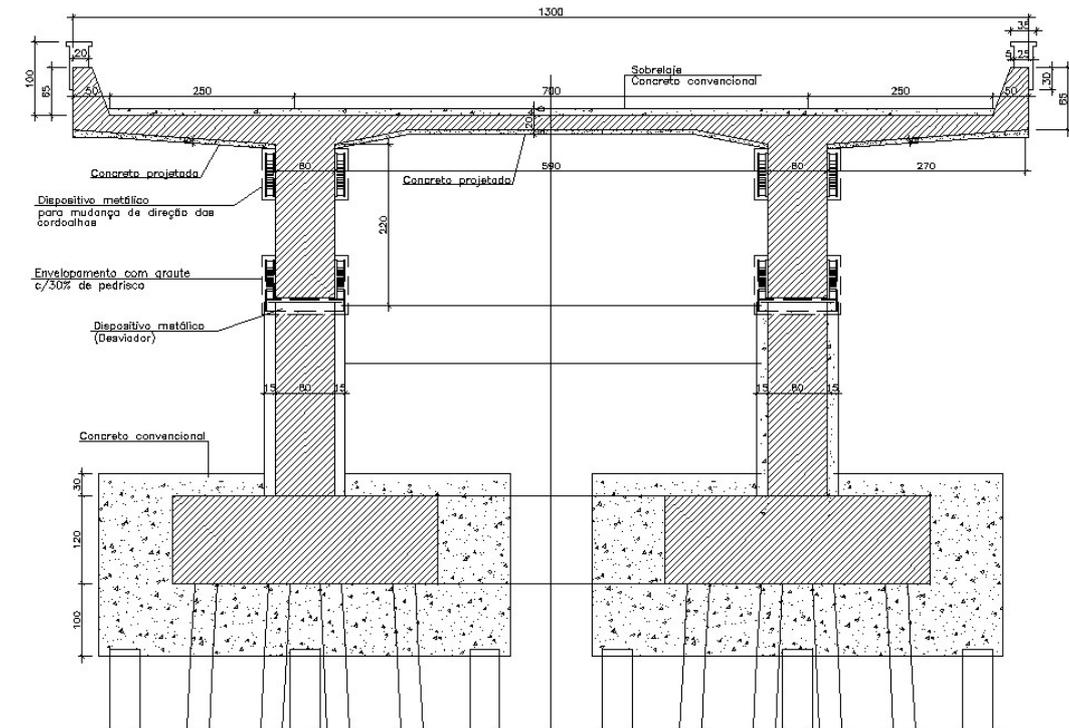


Figura 3.28 - Seção transversal da ponte cujas fundações foram reforçadas com a adição de novas estacas e utilização de protensão nos blocos. (Fonte: VITÓRIO e BARROS, 2012)

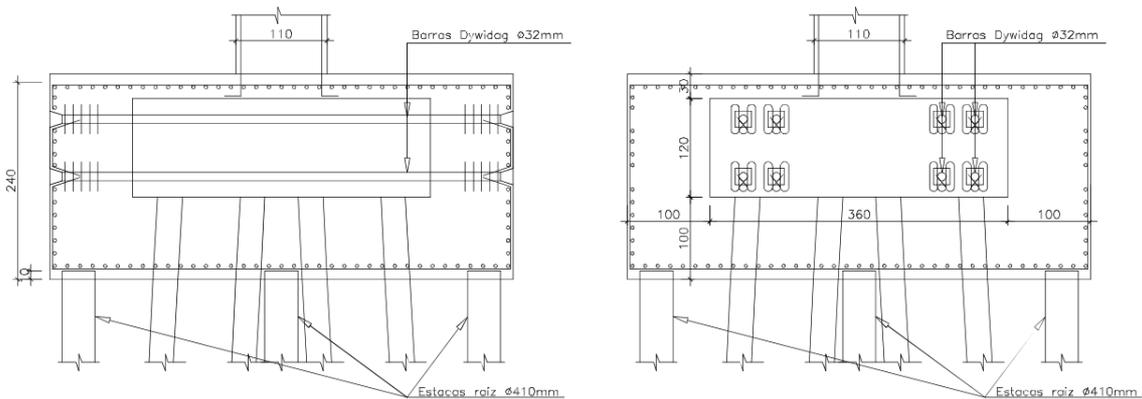


Figura 3.29 - Detalhes do envolvimento do bloco original pelo novo bloco, e das armaduras de protensão. (Fonte: VITÓRIO e BARROS, 2012)

### Reforços causados pela não conformidade da resistência à compressão do concreto das fundações

A não conformidade do concreto estrutural é um tema bastante controverso pelo fato de permitir distintas interpretações na literatura disponível sobre o tema e pela forma diversificada como é tratado pelas normas brasileiras e internacionais.

De modo geral, quando a moldagem dos corpos de prova não garante a conformidade, a estrutura só poderá ser aceita após a realização de contraprova que venha a contradizer os resultados do controle inicial ou confirmar tais resultados, ficando a critério do projetista da estrutura definir se o concreto cuja resistência foi avaliada com um valor inferior pode ser empregado, ou haverá a necessidade de um reforço estrutural.

Ou seja, sempre que ocorre uma questão dessa natureza, tanto as normas como a literatura técnica que tratam do tema dividem o problema em duas etapas distintas:

A primeira etapa trata dos ensaios, que significa passar de  $fck_{extraido}$  a  $fck_{equivalente}$ , o que corresponde à inspeção da estrutura, extração de testemunhos, realização de esclerometria ou de outros ensaios que possam avaliar a resistência do concreto existente. Essa etapa é normalmente realizada por especialistas em tecnologia do concreto.

A segunda etapa corresponde à verificação da segurança estrutural, realizada pelo projetista da estrutura, na qual é alterado o coeficiente de minoração da resistência do concreto, ou o coeficiente global de segurança.

É representado a seguir nas figuras 3.30 a 3.39 um caso recente, no qual um bloco de fundação de um viaduto teve que ser reforçado pelo fato de a resistência à compressão obtida após o rompimento dos corpos de prova que foram moldados durante a concretagem, ter sido inferior à tensão característica determinada pelo projeto estrutural.

Foi então realizada contraprova, com a extração e ruptura de testemunhos do concreto executado, que confirmou o valor insuficiente para o  $fck$  do bloco, que necessitou ser reforçado. Para o reforço foi usado concreto auto adensável, com armaduras principais horizontais protendidas, por se tratar de um bloco de grande rigidez, com ângulo de inclinação das bielas maior que  $60^\circ$ . O pilar não necessitou de reforço.



Figura 3.30 - Extração dos testemunhos do pilar. (Fonte: VITÓRIO, 2014)



Figura 3.31 - Amostras de testemunhos extraídos do pilar e do bloco de estacas. (Fonte: VITÓRIO, 2014)

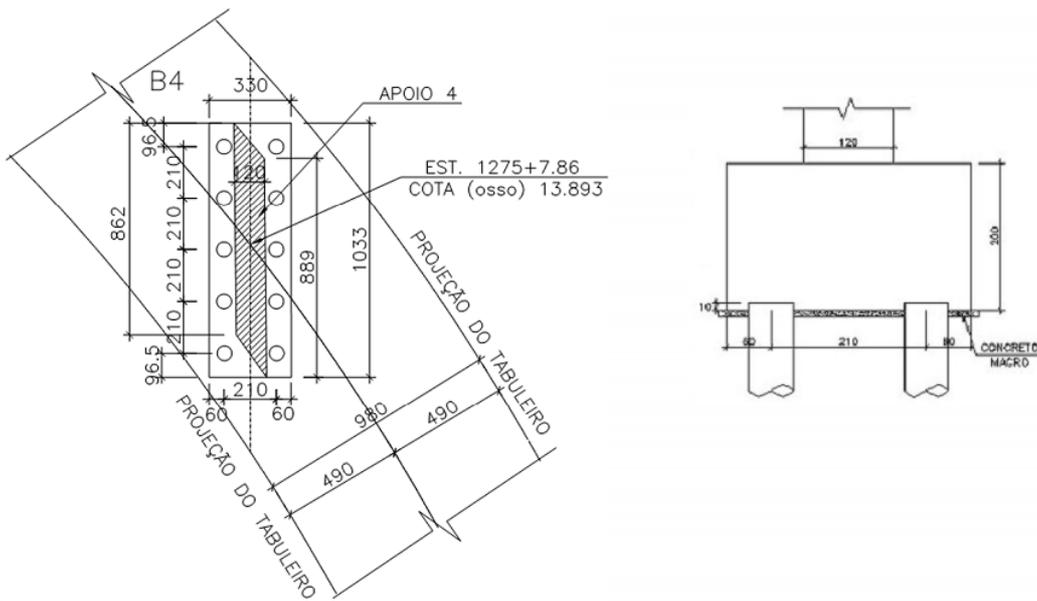


Figura 3.32- Geometria original do Bloco que foi reforçado. (Fonte: VITÓRIO, 2014)

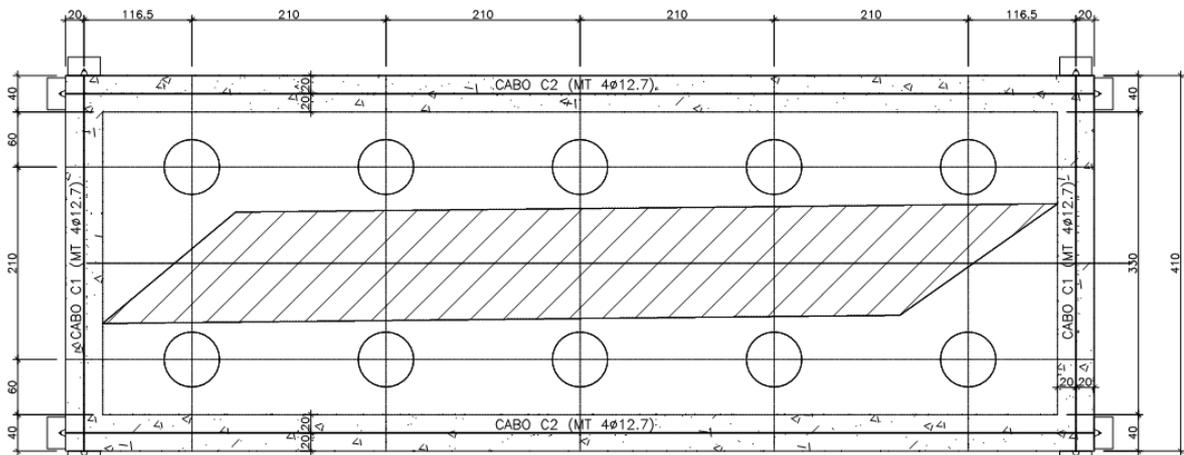


Figura 3.33 - Configuração dos cabos horizontais da protensão de reforço. (Fonte: VITÓRIO, 2014)

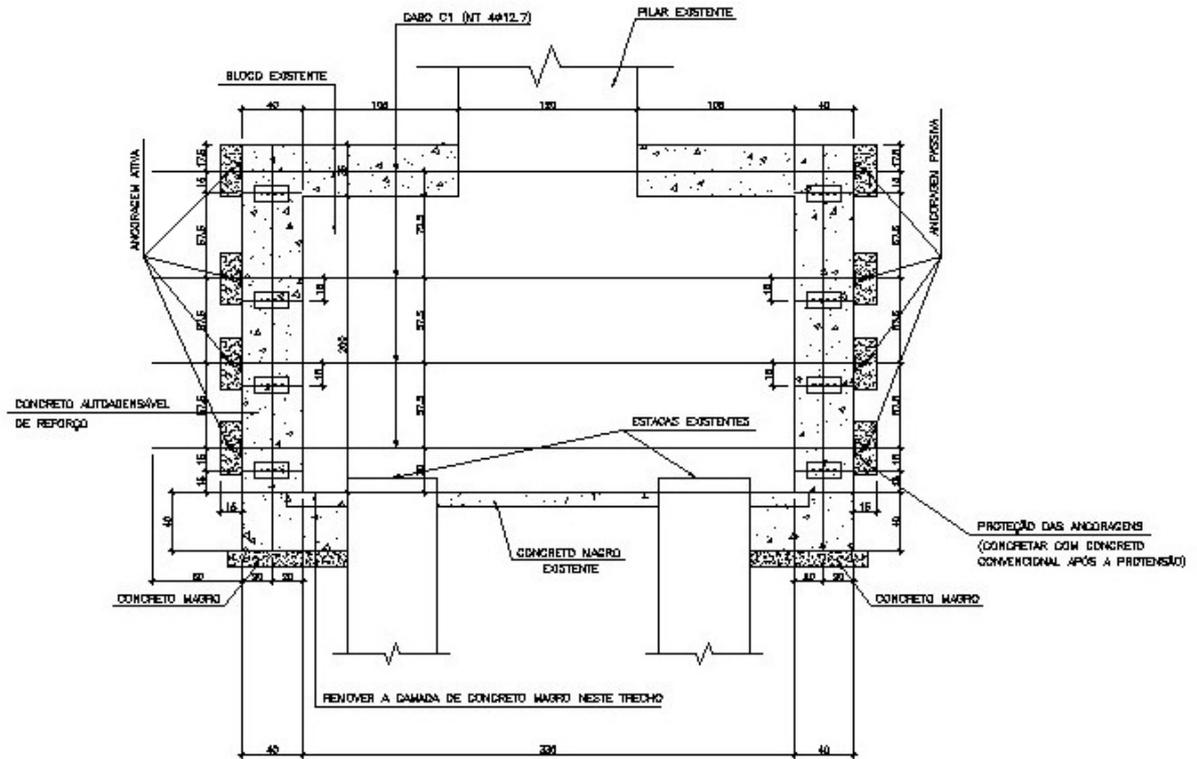


Figura 3.34 - Detalhe do reforço do bloco com concreto auto adensável e protensão com cabos horizontais ao longo do perímetro. (Fonte: VITÓRIO, 2014)



Figura 3.35 - Colocação das armaduras ativas e passivas do reforço. (Fonte: VITÓRIO, 2014)



Figura 3.36 - Detalhe dos cabos de protensão. (Fonte: VITÓRIO, 2014)



Figura 3.37 - Detalhe das armaduras passivas e dos conectores de aderência. (Fonte: VITÓRIO, 2014)



Figura 3.38 - Vista geral do pilar e do bloco. (Fonte: VITÓRIO, 2014)



Figura 3.39- Posicionamento do pilar e do bloco no canteiro estreito entre duas pistas. (Fonte: VITÓRIO, 2014)

### **Reforços causados por erros de sondagens geotécnicas**

As sondagens à percussão representam um importante elemento para a escolha do tipo de fundação e influem diretamente nas questões relacionadas à segurança e à economia de uma obra de engenharia civil.

O ensaio de simples reconhecimento (SPT) é utilizado para estimar a resistência do solo por meio do índice N que geralmente é utilizado para determinar a capacidade de carga e recalque de fundações com base em correlações empíricas ou semiempíricas.

Os resultados muitas vezes apresentam dispersões por causa de diferenças entre procedimentos executivos e nos equipamentos utilizados. Outros fatores que fazem com que esse tipo de ensaio seja muito criticado é a pouca evolução da tecnologia, utilizada sem grandes mudanças ao longo de décadas, e à baixa qualificação da mão de obra empregada na execução das sondagens.

Isso tudo faz com que algumas vezes aconteçam erros que podem vir a causar graves problemas estruturais e até o colapso de obras.

O caso mostrado a seguir refere-se a alça de um viaduto, projetada e construída em 2007. Trata-se de uma obra com três vãos de 30m e quatro apoios, cujas fundações dos pilares foram inicialmente projetadas em estacas pré-moldadas de concreto com comprimento estimado em 24m, de acordo com os furos de sondagem à percussão realizados em cada um dos apoios, que consideraram essa profundidade como a camada impenetrável do solo.

Durante a cravação foi observado que as estacas de um dos apoios atravessaram a camada considerada impenetrável pelas sondagens e atingiram uma profundidade da ordem de 40m. Diante disso, o projetista estrutural (o autor deste trabalho) foi consultado e determinou que fossem realizadas novas sondagens de contraprova por outra empresa. Os resultados das novas sondagens mostraram a ocorrência de um erro na primeira sondagem, pois havia na profundidade considerada inicialmente impenetrável, uma camada de areia média e grossa siltosa compacta com pedregulhos, cuja espessura ao longo do perfil do terreno variava de 2,00m a 3,00m e logo abaixo dessa camada havia uma camada de argila orgânica com 10m de espessura, de modo que o rompimento da camada dita impenetrável mostrou que o impenetrável real estava situado a uma profundidade de aproximadamente 40m.

Diante disso, a fundação foi revista, tendo sido desconsideradas as estacas que já estavam cravadas. Foi então reprojetoado um novo estaqueamento em perfis metálicos com 40m de comprimento.

Nas figuras 3.40 a 3.45, estão ilustrados alguns aspectos da obra concluída e do projeto de reforço realizado nas estacas e blocos.

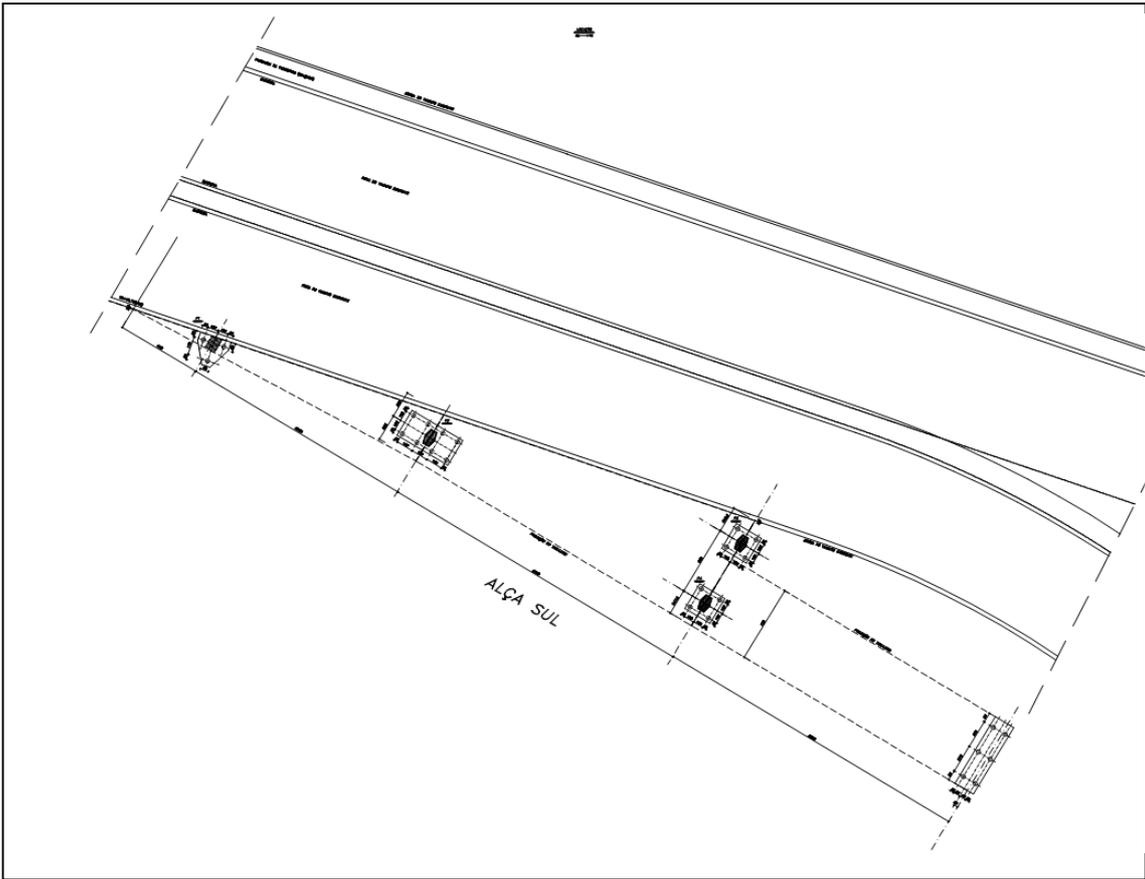


Figura 3.40 - Planta de fundação inicialmente projetada com estacas pré-moldadas. (Fonte: VITÓRIO, 2014)



Figura 3.41 - Vista dos apoios 1 e 2 após a conclusão da obra. (Fonte: VITÓRIO, 2014)



Figura 3.42- Vista do apoio 3 após a conclusão. (Fonte: VITÓRIO, 2014)

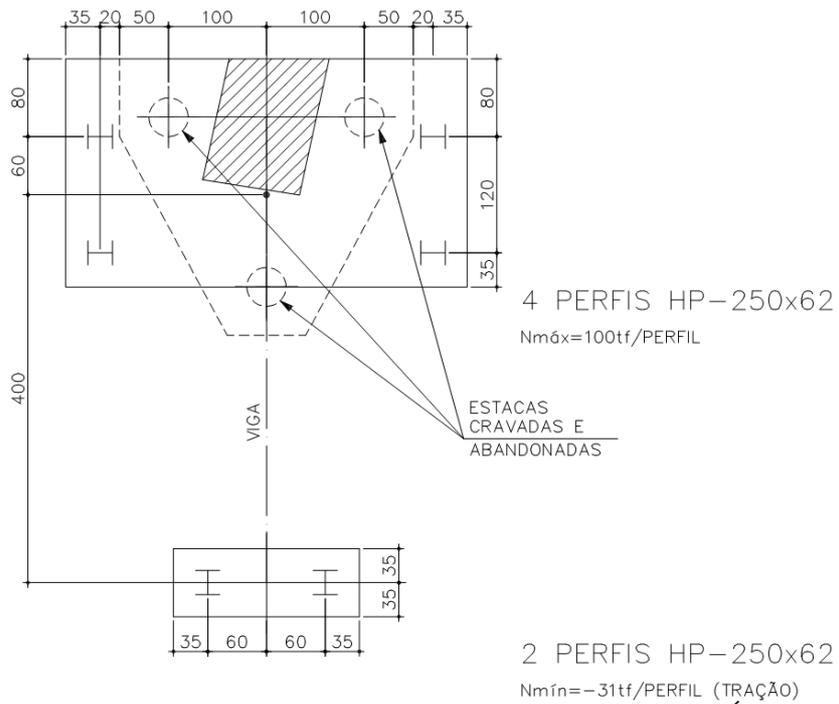


Figura 3.43 – Detalhe do reforço da fundação do apoio 1. (Fonte: VITÓRIO, 2014)

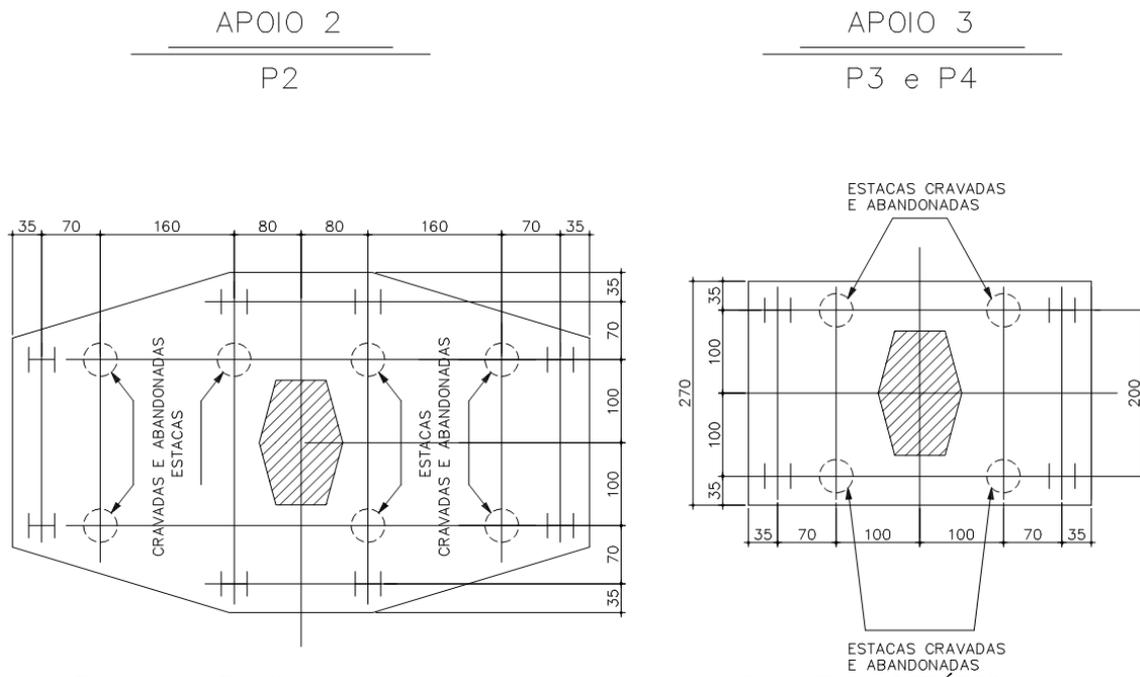
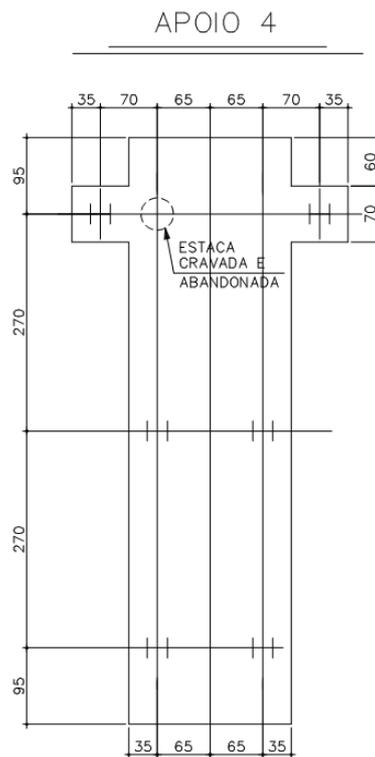


Figura 3.44 –Detalhes dos reforços das fundações dos apoios 2 e 3. (Fonte: VITÓRIO, 2014)



6 PERFIS HP-250x62  
Nm<sub>óx</sub>=96tf/PERFIL

Figura 3.45 – Detalhe do reforço da fundação do apoio 4. (Fonte: VITÓRIO, 2014)

## 4. APARELHOS DE APOIO E JUNTAS DE DILATAÇÃO

### 4.1. Aparelhos de apoio

A transmissão das cargas do tabuleiro para os pilares ou encontros se dá por meio de elementos de transição denominados aparelhos de apoio. Eles podem permitir alguns movimentos e impedir outros, conforme o tipo de estrutura.

Os aparelhos de apoio podem ser classificados em fixos, móveis e elastoméricos, conforme a figura 4.1.

Os aparelhos fixos permitem movimentos de rotação e impedem os de translação, transmitindo esforços verticais e horizontais. São utilizados na forma de articulações de concreto, também conhecidos como articulações Freyssinet que atualmente não são mais utilizados.

Os aparelhos móveis permitem movimentos de rotação e de translação horizontal, transmitindo apenas esforços verticais. São constituídos por pêndulos de concreto ou rolos metálicos.

Os apoios elastoméricos são aparelhos elásticos de borracha (Neoprene) que permitem pequenos movimentos horizontais e rotações. São constituídos por camadas de Neoprene coladas a chapas metálicas de pequena espessura. Por isso são conhecidos como aparelhos de neoprene fretado.

Devido às propriedades de elasticidade, à elevada resistência e à grande durabilidade, os aparelhos de apoio Neoprene fretado têm-se firmado cada vez mais como a melhor solução para os projetos de pontes rodoviárias típicas.

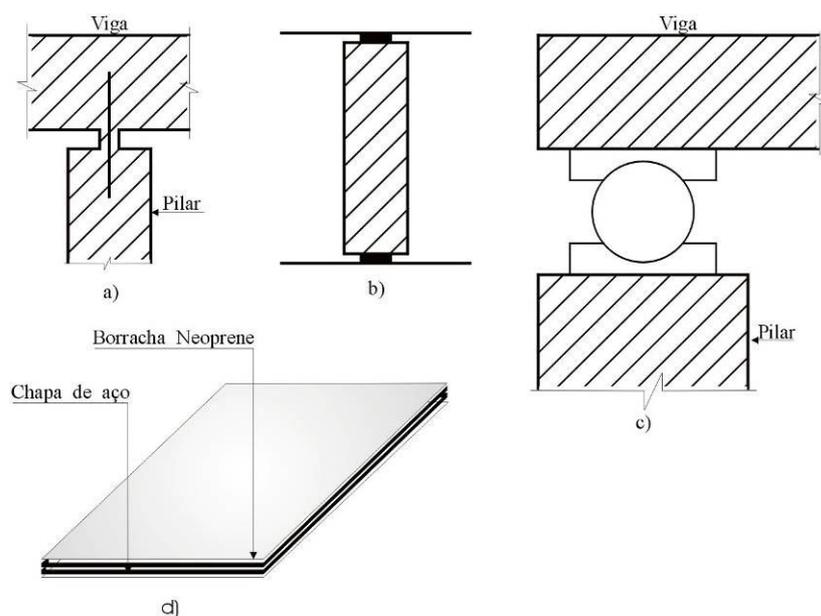


Figura 4.1 – Aparelhos de apoio: a) apoio fixo conhecido como articulação Freyssinet; b) apoio móvel em pêndulo de concreto; c) apoio móvel em rolo metálico; d) apoio elastomérico em neoprene fretado. (Fonte: VITÓRIO, 2002)

Na grande maioria das pontes convencionais são utilizados os aparelhos de neoprene fretado, por serem econômicos, duráveis, de fácil instalação e eficaz quanto à resistência aos esforços solicitantes.

Esse tipo de apoio é constituído por camadas de elastômero à base de policloropreno e de chapas de aço carbono, empilhadas alternadamente e aderidas por meio de vulcanização.

A figura 4.2 mostra o modelo mais usual de aparelho de neoprene; também estão representados os tipos de solicitações que são verificadas nesses tipos de aparelhos, que são sempre realizadas no estado limite de utilização.

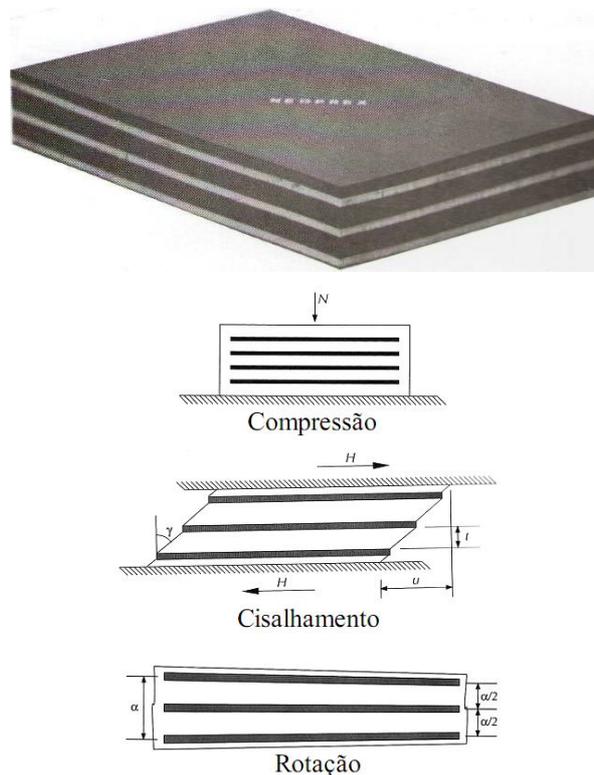


Figura 4.2 – Modelo e funcionamento dos aparelhos de neoprene quanto à compressão, cisalhamento e rotação (Fonte: Catálogo NEOPREX).

Para a análise do estado de conservação dos aparelhos de apoio devem ser observadas as seguintes condições:

- tipos de aparelho: fixos (articulações Freyssinet), móveis (pêndulos, rolos metálicos), elastoméricos (Neoprene), chumbo, teflon;
- textura, dimensões, posicionamento em relação aos apoios e infra-dorso da estrutura;
- compatibilidade com as deformações externas e internas da estrutura, deformações residuais, excentricidades em relação ao posicionamento projetado;
- estado de conservação (corrosão, ataque de agentes agressivos, deformação angular, ressecamento dos aparelhos de borracha sintética, fissuras nas articulações de concreto, esmagamentos, deformações incompatíveis);
- influência da protensão.

### Substituição dos aparelhos de apoio

Sempre que se constatar durante uma inspeção que os aparelhos de apoio não estão mais funcionando adequadamente, deverá ser providenciada a substituição dos aparelhos antigos por novos aparelhos, de modo que passem a transmitir os esforços conforme os estipulados no projeto da ponte.

A substituição geralmente é feita por meio de uma operação denominada “macaqueamento”.

No projeto de novas pontes e viadutos é obrigatório prever consoles na estrutura, sob os apoios das vigas, para a colocação dos macacos hidráulicos que irão levantar a superestrutura para retirar os aparelhos antigos e colocar os novos.

Nas obras antigas que são objetos de alargamento e reforço, devem ser acrescentados os consoles, geralmente nos pilares existentes para permitir a substituição.

Nas figuras 4.3 e 4.4 estão detalhadas a implantação de consoles em pontes novas e antigas para a substituição dos aparelhos de apoio. A figura 4.5 mostra uma operação de substituição.

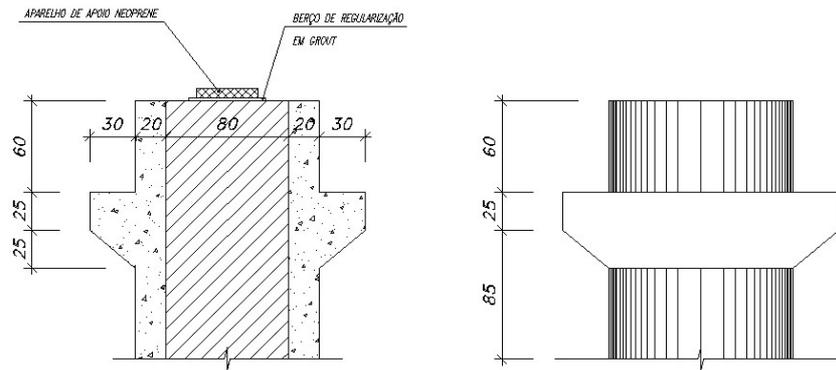


Figura 4.3 - Detalhe de reforço de pilar incluindo console para troca de aparelho de apoio.  
(Fonte: VITÓRIO, 2013)

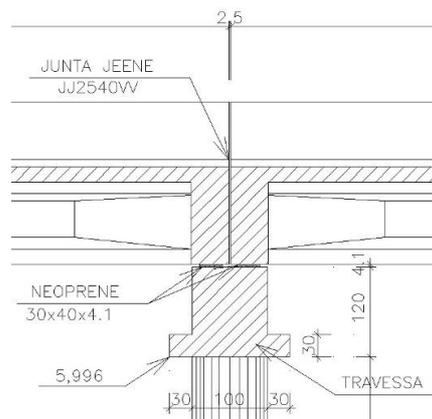


Figura 4.4 - Projeto de ponte nova prevenindo consolas para troca de aparelhos de apoio.  
(Fonte: VITÓRIO, 2013)



Figura 4.5 - Macacos hidráulicos apoiados sobre consolas para substituição dos aparelhos de apoio.

## 4.2. Juntas de dilatação

As juntas de dilatação são elementos colocados nas interrupções estruturais do tabuleiro, de modo a permitir os movimentos causados pela variação de temperatura, retração e fluência do concreto. Também servem para garantir a estanqueidade ao não permitir a infiltração de água para a estrutura.

Na figura 4.6 estão representados os elementos que constituem uma junta de dilatação de Obra de Arte Especial. A figura 4.7 mostra os movimentos mecânicos aos quais as juntas são submetidas.

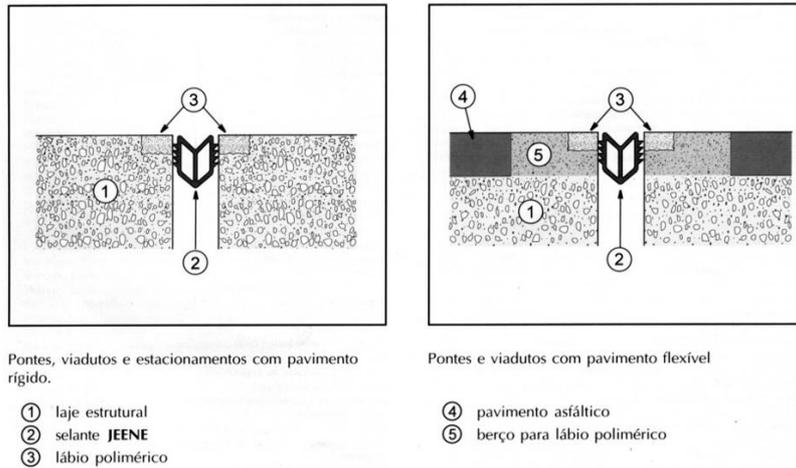


Figura 4.6 – Elementos constituintes de uma junta de dilatação (Fonte: Catálogo JEENE).

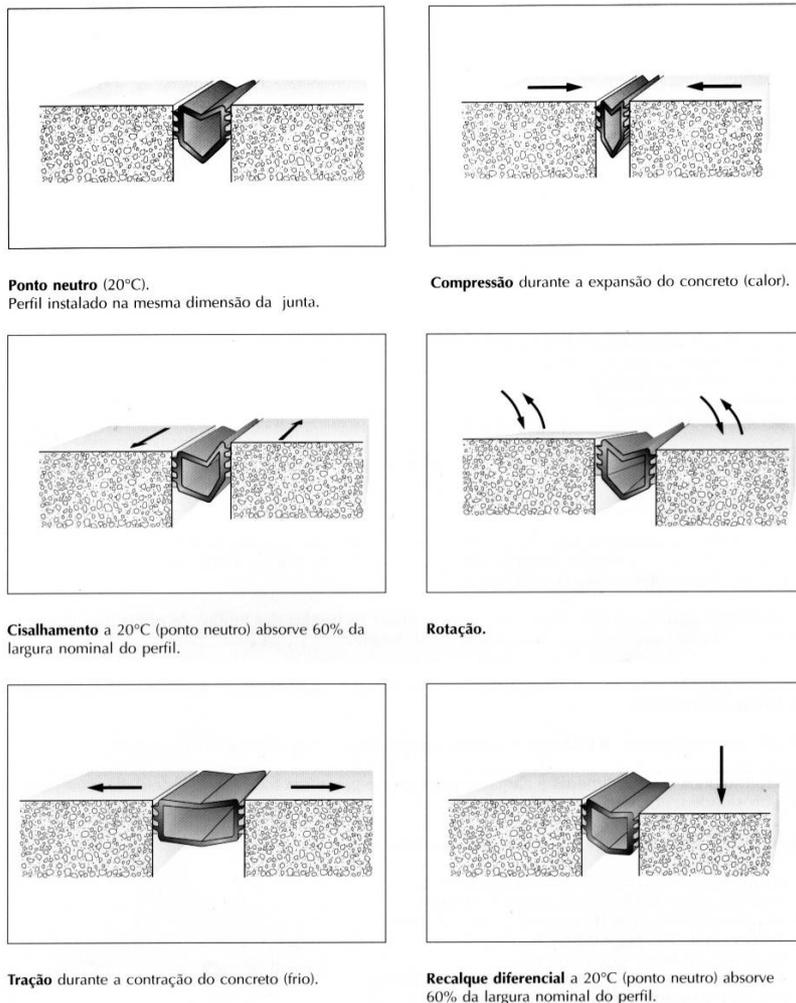


Figura 4.7 – Movimentos mecânicos aos quais uma junta de dilatação é submetida (Fonte: Catálogo JEENE).

Existe o consenso no meio técnico de que as juntas de dilatação (e os aparelhos de apoio) mesmo representando um pequeno valor em relação ao custo de uma ponte, respondem pela maioria dos problemas.

Ultimamente as juntas de dilatação vêm sendo citadas como se fossem verdadeiras “vilãs” das pontes e viadutos, principalmente por não exercerem a função de vedação, causando em consequência o aparecimento precoce de manifestações patológicas nas estruturas.

Existem situações em que as juntas apresentaram desgastes apenas com o tráfego provisório, antes mesmo de a obra ser liberada para o tráfego definitivo.

De modo geral, quando uma junta apresenta problemas é substituída por outra semelhante, que tempos depois também terá os mesmos problemas.

Existe ainda o desconforto causado ao tráfego pelo contato dos pneus com os berços de concreto e lábios poliméricos das juntas que muitas vezes são executados desnivelados com o pavimento.

A figura 4.8 mostra uma situação de avançado desgaste em junta de dilatação em obras com pouco tempo de uso.



Figura 4.8 – Destruição parcial de uma junta de dilatação. (Fonte: VITÓRIO, 2008)

## **5. UMA AMOSTRA DAS ATUAIS CONDIÇÕES DE CONSERVAÇÃO DAS PONTES DO RECIFE**

### **5.1. Aspectos históricos**

A água representa uma das presenças mais marcantes na paisagem do Recife que, além de ser uma cidade litorânea, caracterizada por belas praias, é recortada por rios e canais, nos quais existem numerosas pontes que interligam vias e bairros, compondo um importante acervo da engenharia, do urbanismo e da própria história.

A primeira ponte de que se tem referência na cidade foi edificada sobre o rio Capibaribe pelo Conde Maurício de Nassau durante a ocupação holandesa. A construção original foi iniciada em 1640 e concluída em 1643.

A partir de então, foram construídas outras pontes que interligam a parte central da cidade e se constituem em uma referência para o Recife, conhecido pelo imaginário popular como “*cidade dos rios e das pontes*”.

As pontes mais simbólicas, além da Maurício de Nassau, são:

- Ponte Seis de Março (Ponte Velha)
- Ponte da Boa Vista
- Ponte Buarque de Macedo
- Ponte Duarte Coelho
- Ponte Princesa Isabel
- Ponte do Limoeiro
- Ponte Doze de Setembro (Ponte Rodoferroviária)

Além dessas pontes simbólicas, situadas na parte central, existe uma significativa quantidade de pontes e viadutos nas diversas regiões da cidade, que foram sendo construídos para acompanhar a evolução urbana e melhorar a mobilidade da população.

Infelizmente, não é possível quantificar essas obras devido à ausência de dados cadastrais na Prefeitura do Recife.

### **5.2. Aspectos relacionados à falta de conservação**

As pontes e viadutos do Recife também padecem dos mesmos males que acometem as pontes brasileiras em geral e que estão resumidos na introdução deste trabalho.

É possível constatar pela simples observação visual que as pontes do Recife não passam por manutenções periódicas e que algumas intervenções de recuperação só são realizadas quando os danos já se encontram em estágio avançado.

Sabe-se também, que o poder público municipal não dispõe de um sistema de gestão das Obras de Arte Especiais que estão sob a sua jurisdição.

Pesquisas de Monografias realizadas por alunos de pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade de Pernambuco, NETO (2008), XIMENES (2010) e SILVA (2014), orientadas pelo autor, mostram um panorama das condições em que se encontram nos últimos anos as pontes da cidade do Recife, algumas delas de vital importância para a mobilidade urbana.

NETO (2008), analisou 25 pontes para estudar os problemas decorrentes da fixação de tubulações de água, esgoto, redes telefônicas, etc., nas estruturas dessas obras.

O trabalho concluiu que as manifestações patológicas devidas às fixações de tubulações estavam diretamente relacionadas a vícios de origem (ausência de uma concepção adequada para a transposição de tubulações pela estrutura da ponte), a vícios construtivos (execução de furos com equipamentos inadequados e deficiências na recomposição do concreto danificado) e à falta

de um dimensionamento adequado dos materiais empregados (tubulações, braçadeiras, parafusos, chumbadores, etc.).

Ficou também evidente que os problemas causados pela fixação das tubulações foram bastante agravados pelo fato de serem realizados sem o acompanhamento de profissionais especializados. Tais intervenções também não receberam manutenções ao longo dos anos, o que acelerou o estado de deterioração estrutural de significativa quantidade das pontes como mostram as figuras a seguir.



Figura 5.1 – Avançado estado de deterioração estrutural na ponte Engº Antônio de Goes sobre o rio Capibaribe, causado pelo vazamento das adutoras (Fonte: NETO, 2008).



Figura 5.2 – Na Ponte Princesa Isabel o suporte de concreto encontra-se em estado de ruína, devido ao vazamento da tubulação que não apresenta mais condição de operação (Fonte: NETO, 2008).

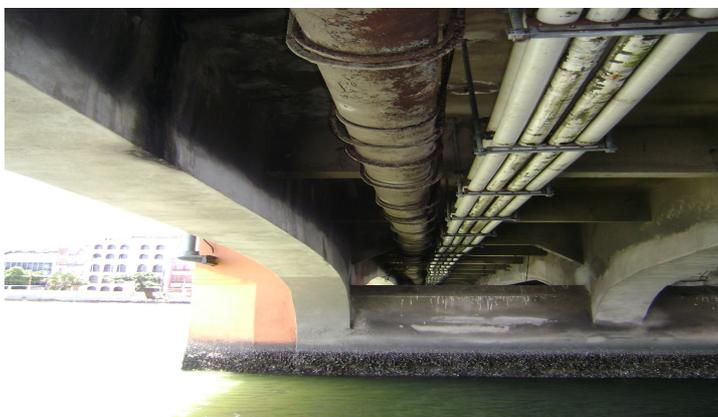


Figura 5.3 – Na Ponte Maurício de Nassau os furos dos tirantes de fixação da tubulação danificaram o concreto do tabuleiro (Fonte: NETO, 2008).



Figura 5.4 – Uma situação muito comum de fixação inadequada em ponte sobre o Canal de Setubal, evidenciando-se os danos causados à laje do tabuleiro pelos furos de ancoragem dos tirantes (Fonte: NETO, 2008).

XIMENES (2010), estudou as juntas de dilatação de dez Obras de Arte Especiais da cidade do Recife, quando evidenciou a grande incidência de manifestações patológicas geradas nas pontes e viadutos pela falta de manutenção de tais componentes.

O estudo das dez pontes e viadutos confirmaram a regra geral de que as deficiências nas execuções, associadas à falta de conservação das juntas, causam grandes danos estruturais ao tabuleiro e à mesoestrutura.

Um exemplo concreto é o sobressalto provocado pelo desnível do berço de concreto e dos lábios poliméricos, que amplificam o impacto das rodas dos veículos e aceleram o processo de fadiga na estrutura.

Outra questão é a falta de vedação, que causa a infiltração de água no tabuleiro, trazendo como consequência todas as patologias decorrentes desse fato.

A seguir são ilustrados alguns exemplos típicos de juntas de dilatação danificadas e das patologias causadas nas estruturas de pontes e viadutos do Recife.



Figura 5.5 – Lixiviação do concreto e aparecimento de vegetação na estrutura do Viaduto Tancredo Neves, causadas pela falta de conservação das juntas dos dentes Gerber (Fonte: XIMENES, 2010).



Figura 5.6 – Lábio polimérico e berço de concreto danificados e encobertos no Viaduto Roberto Pereira de Carvalho, com descolamento da junta, proporcionando acúmulo de detritos. Observar que foi feito recapeamento sobre a junta (Fonte: XIMENES, 2010).



Figura 5.7 – Situação típica de danos causados à estrutura por infiltrações nas juntas de dilatação pode ser observada no Viaduto da BR-101 sobre a Av. Caxangá (Fonte: XIMENES, 2010).

Na pesquisa de SILVA (2014), que teve como objetivo identificar as manifestações patológicas causadas pela ação da água em pontes e viadutos, foram vistoriadas treze obras, sendo onze pontes e dois viadutos.

Também nesse estudo, ficou evidenciada a falta de atenção para com as questões relacionadas à conservação das pontes do Recife, pois a pesquisa que pretendia apenas fazer uma análise das consequências da infiltração da água nos tabuleiros e encontros, além da ação das variações de maré sobre os pilares, acabou revelando um quadro preocupante sobre o avançado estado de deterioração de importantes componentes diretamente relacionados à estabilidade estrutural das obras inspecionadas.

De modo geral, o trabalho analisou os danos causados pelas infiltrações de água nas estruturas das pontes, cujos resultados podem ser observados na figura 5.8. Porém, os efeitos deletérios da ação das águas foram agravados pela falta de qualquer tipo de manutenção, seja preventiva ou até mesmo corretiva, conforme mostram as ilustrações fotográficas seguintes.

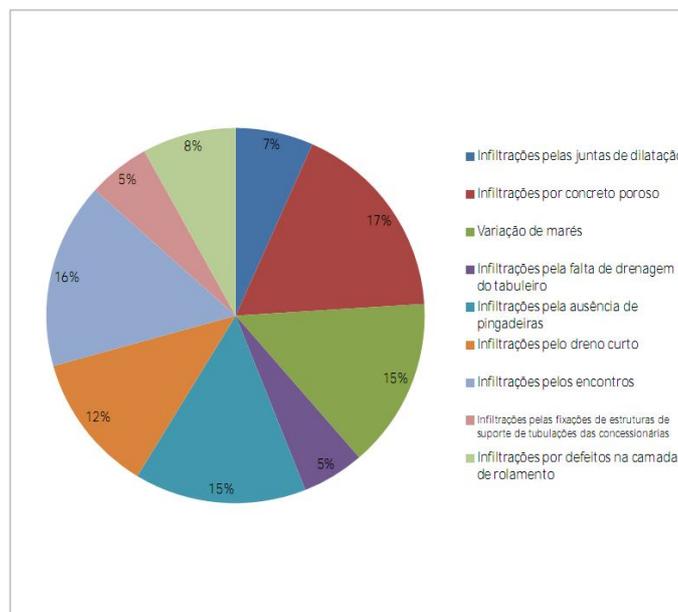


Figura 5.8 – Percentuais das causas das manifestações patológicas causadas pela água nas pontes vistoriadas (Fonte: SILVA, 2014).



Figura 5.9 – Estado avançado de corrosão dos pilares / tubulões, na ponte da Torre (Fonte: SILVA, 2014).



Figura 5.10 – Estacas e encontros com armaduras corroídas, deslocamento do concreto e lixiviação generalizada na ponte da Capunga (Fonte: SILVA, 2014).



Figura 5.11 – Grande deterioração das vigas de bordo na ponte Motocolombó (Fonte: SILVA, 2014).



Figura 5.12 – Ausência de pingadeira, deslocamento do concreto e corrosão das armaduras, caracterizando uma situação típica do tabuleiro do Viaduto das Cinco Pontas (Fonte: SILVA, 2014).



Figura 5.13 – Armaduras expostas e seccionadas nas travessas da ponte do Derby (Fonte: SILVA, 2014).



Figura 5.14 – Lixiviação do bloco de fundação e avançado estado de corrosão nas armaduras de pilar da ponte Papa João Paulo II (Fonte: SILVA, 2014).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT. NBR 7187 – **Projeto e execução de pontes de concreto armado e protendido**, Rio de Janeiro, 2003.
- ABNT. NBR 7188 – **Carga móvel rodoviária e de pedestres em pontes, viadutos, passarelas e outras estruturas**, Rio de Janeiro, 2013.
- ABNT. NBR 9452 – **Vistorias de Pontes e Viadutos de Concreto**, Rio de Janeiro, 1986.
- ABNT. NBR 6118 – **Projeto de estruturas de concreto – procedimento**, Rio de Janeiro, 2014.
- ABNT. NBR 8661 – **Ações e Segurança nas Estruturas – Procedimento**, Rio de Janeiro, 2008.
- ABNT. NBR 9607 – **Prova de Carga em Estruturas de Concreto Armado e Protendido**, Rio de Janeiro, 1986.
- DER-SP – **Projeto de Recuperação, Reforço e Alargamento de Obra de Arte Especial**, São Paulo, 2006.
- DNIT. – **Manual de Inspeção de Pontes Rodoviárias**, Rio de Janeiro, 2004.
- DNIT. – **Manual de Recuperação de Pontes e Viadutos Rodoviários**, Rio de Janeiro, 2010.
- DNIT. Norma 010/2004-PRO – **Inspeções em Pontes e Viadutos de Concreto Armado e Protendido – Procedimento**, Rio de Janeiro, 2004.
- EN1990 Eurocode – **Basis of structural design** CEN, 2001.
- MATHIVAT, J. – **Construcion de Puentes de Hormigon Pretensado Por Voladizos Sucessivos**, Barcelona, 1980.
- MENDES, P.T.C. – **Contribuição para um modelo de gestão de pontes de concreto aplicado à rede de rodovias brasileiras** (Tese de Doutorado), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.
- NETO, F. L. . – **Um Estudo de Casos Sobre as Patologias Causadas Por Tubulações nas Estruturas de Pontes e Viadutos** (Monografia de Especialização), Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco, Recife, 2008.
- ORTEGA, L.M. – **Inspeccion e inventário de puentes – Simpósio Nacional sobre conservacion, rehabilitacion y gestion de puentes**, Madrid, 1991.
- SILVA, A. S. A. – **As Manifestações Patológicas Causadas Pela Infiltração de Água nas Estruturas das Pontes e Viadutos da Cidade do Recife** (Monografía de Especialização), Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco, Recife, 2014.
- VERÍSSIMO, G.S.; CESAR, K.M.L. – **Concreto Protendido, Elementos Básicos** – Universidade Federal de Viçosa, 1998.
- VITÓRIO, J. A. P. – **Reforço de Fundações de Pontes e Viadutos Rodoviários**. Seminário Pernambucano de Estruturas de Fundações, Recife, 2014.

- VITÓRIO, J. A. P. – **Um Estudo Comparativo sobre métodos de alargamento de pontes rodoviárias de concreto armado com a utilização das normas brasileiras e Eurocódigos** (Tese de Doutorado), Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal, 2013.
- VITÓRIO, J. A. P., BARROS, R.M.M.C. – **Reforço de Fundações de Pontes e Viadutos – Três Casos Reais** – Anais do V Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas, Rio de Janeiro, 2012.
- VITÓRIO, J. A. P., BARROS, R.M.M.C. – **Análise Paramétrica de Projetos de Alargamento e Reforço de Pontes Rodoviárias de Concreto Armado** – Anais das XXXV Jornadas Sulamericanas de Engenharia Estrutural, Rio de Janeiro, Brasil, 2012.
- VITÓRIO, J. A. P., BARROS, R.M.M.C. – **Métodos mais Utilizados para Alargamento e Reforço de Obras de Arte Especiais no Brasil** – Anais do Encontro Betão Estrutural 2012, Porto, Portugal, 2012.
- VITÓRIO, J. A. P., BARROS, R.M.M.C. – **Análise dos danos Estruturais e das Condições de Estabilidade de 100 Pontes Rodoviárias no Brasil** – Anais do 3º Congresso Nacional Sobre Segurança e Conservação de Pontes, Porto, Portugal, 2013.
- VITÓRIO, J. A. P. – **Avaliação do Grau de Risco Estrutural de Pontes Rodoviárias de Concreto** – Anais do 50º Congresso Brasileiro do Concreto, Salvador, 2008.
- VITÓRIO, J. A. P. – **Acidentes Estruturais em Pontes Rodoviárias – Causas, diagnósticos e soluções** – Anais do II Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas, Rio de Janeiro, 2007.
- VITÓRIO, J. A. P. – **Vitorias, Conservação e Gestão de Pontes e Viadutos de Concreto**, Anais do 48º Congresso Brasileiro do Concreto, Rio de Janeiro, 2006.
- VITÓRIO, J. A. P. – **Pontes Rodoviárias – Fundamentos, Conservação e Gestão**, Livro editado pelo Conselho Regional de Engenharia, Arquitetura e Agronomia de Pernambuco, Recife, 2002.
- XIMENES, A. A. – **Análise das Juntas de Dilatação das Pontes e Viadutos da Região Metropolitana do Recife** (Monografia de Especialização), Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco, Recife, 2010.